

# 蓖麻蚕在变态期间代谢作用的研究

## IV. 游离和结合脂肪及其与糖元含量的关系\*

張清剛 刘芳 馮慧

(中国科学院动物研究所)

**摘要** 本文研究了蓖麻蚕在不同发育阶段组织中游离和结合脂肪的含量变化及其与糖元含量的关系。发现雄体游离脂肪含量均高于雌体，结合脂肪则低于雌体。雌雄个体中的游离和结合脂肪均随发育期变化而含量不同；结合幼虫饥饿实验，表明游离脂肪是可以被动用的作为能源的物质之一。通过对游离脂肪组分和化学常数测定，结合脂肪酸的纸上层析，确定其主要由脂肪酸甘油酯组成，在六种高级脂肪酸组分中以亚麻酸的含量最高。

蓖麻蚕在发育期间，雌雄组织中糖元含量均低于游离脂肪而高于结合脂肪。雌体含量比雄体高。无论在发育期或在幼虫饥饿期间，糖元的积累与利用均比游离脂肪早。文内并讨论了脂肪和糖元在蓖麻蚕生长和生殖中的作用。

### 一、引言

脂肪和糖元在昆虫能量代谢中的重要作用虽然已为不少科学工作者所证实。但是，先前的绝大多数的工作，集中在游离脂肪的研究方面。近年来，Niemi<sup>erko</sup> (1958)和 Moran (1959)分别就家蚕和黄粉蚜的游离和结合脂肪进行了研究。他们提取脂肪的方法虽然不同，但所获结果表明，游离和结合脂肪含量在昆虫变态期间均有变化；并证明游离脂肪是昆虫的能源物质之一。但是均没有指明雌雄两性的差异。与此同时，Демяновский 等 (1956)以柞蚕为材料，确定其在变态期间雄体脂肪含量高于雌体，而未提及结合脂肪。其后，Смолин 等 (1957)又对柞蚕体中的糖元进行了测定。至于游离和结合脂肪在雌雄两性个体发育中的作用以及它们与糖元含量的关系的资料尚属不多。

本工作以蓖麻蚕为材料，研究其两性个体中游离和结合脂肪的含量变化及其组分，并讨论其与糖元的关系。目的在于了解它们在蓖麻蚕的能量与生殖代谢中的概况。

### 二、材料与方 法

实验用材料为在室温下饲养的青黄和印花黄品种蓖麻蚕。蚕种由上海实验生物研究所供给。1至5龄幼虫在每龄末期取样，自第5龄幼虫起分别雌雄测定。蛹保存在 $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 恒温箱内，每隔一天取样一次。材料先经 $80^\circ\text{C}$ 烤干研细，在索氏提取器中用乙醚抽提约20小时(温度为 $50^\circ\text{C}$ 左右)，即获得游离脂肪。再用此样品，以95%乙醇和无水乙醚(3:1=体积之比)混合，在 $85-90^\circ\text{C}$ 水浴中抽提约20小时，即得结合脂肪。

将蛹期的游离脂肪进行碘值、酸值、酯值和硫氰值的测定，并按伯川氏方法测定饱和

\* 工作期间，承蒙钦俊德教授提供许多宝贵意见并修改文稿，徐慕禹同志协助供应试验材料，特此致谢。

高級脂肪酸的含量 (Ермаков 等, 1952)。另將游離脂肪用鹼皂化, 定量分出不皂化物, 並將皂化物中的脂肪酸部分做成鉛鹽析出 (Белозерский 等, 1951), 結合高級脂肪酸的紙上層析 (張清剛、馮慧, 1964), 再按 Kaufmann 和 Baltes (1937) 的公式計算各不飽和脂肪酸組分。

糖元測定: 先將蟲體組織用 30% KOH 水解至透明無顆粒, 再按 Кузин 等 (1944) 的乙醇沉淀法提取組織糖元; 用 Seifter 法測定糖元含量 (Асатиани, 1956)。

### 三、結 果

#### (一) 蓖麻蠶的游離脂肪和結合脂肪

從圖 1 結果中看出: 蓖麻蠶在發育期間, 雌雄游離脂肪的含量均比結合脂肪的含量高。游離脂肪與結合脂肪在雌雄個體中的相對含量是完全不同的: 雄體中的游離脂肪含量高于雌體, 特別是在成蟲羽化前後, 雄體游離脂肪比雌體高約一倍; 結合脂肪的含量則為雌體高于雄體。

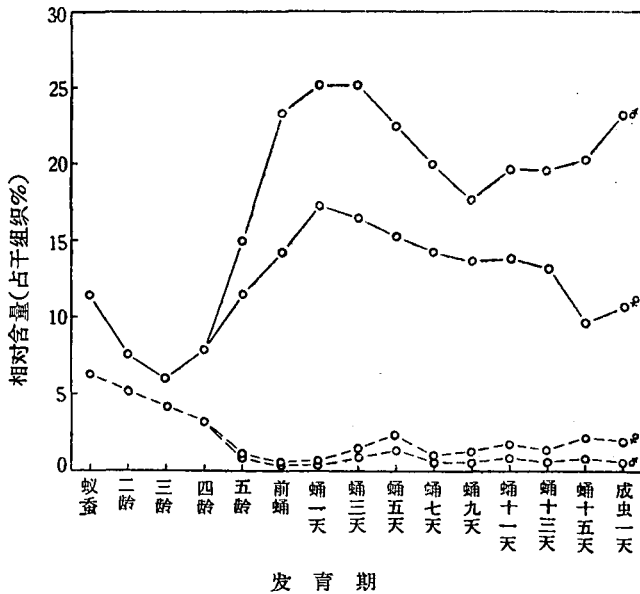


圖 1 蓖麻蠶發育期間游離和結合脂肪含量變化  
○——○ 游離脂肪; ○---○ 結合脂肪

游離和結合脂肪的含量變化與雌雄個體發育有密切關係: 在幼蟲孵化初期, 游離和結合脂肪含量一般較高, 這點可能是反映了卵期脂肪代謝的特點。以後, 隨著幼蟲食量的增加, 生長十分迅速, 因而脂肪含量便相對地減少; 3 齡以後, 幼蟲體中的游離脂肪便逐漸積累。

自前蛹到化蛹的變態初期, 幼蟲組織劇烈分解, 結合脂肪減少到最低限度, 而游離脂肪則不斷增加。根據翟啟慧 (1963) 對蓖麻蠶可溶性蛋白質的研究表明, 變態初期的蓖麻蠶體內亦因組織分解而出現大量的可溶性蛋白質, 並出現脛和胰這些蛋白質分解的中間產物。因此, 在此同期, 結合脂肪的減少與游離脂肪的大量增加亦就更易理解了。

化蛹期間, 若以蛹的發育中期為分界綫, 在化蛹以後的前半段期間, 游離和結合脂肪在雌雄個體中的變化比較一致, 即雌雄體內的游離脂肪不斷減少, 結合脂肪趨于增加。自化蛹中期以後的一段時期內, 游離和結合脂肪含量在雌雄個體中的變化便朝著相反方向發展: 雄體游離脂肪顯著增加, 雌體則趨于減少; 雄體結合脂肪變化較為平穩, 雌體則稍有上升。可能表明蓖麻蠶在成蟲性狀發育過程中, 具有不同的脂肪代謝特點。

值得提出的是由於本試驗是用整體昆蟲進行測定, 所獲結果在一定程度上對於了解不同脂肪在雌雄個體中的變化全貌是有助於的。但是, 由於試驗材料包括了昆蟲的各個組織和器官, 因而亦會部分地沖淡了脂肪等物質在機體內代謝的實際情況。現以蛹化前

后蓖麻蚕整体与脂肪体中的游离脂肪测定结果为例(表 1), 不难看出其差异。

表 1 蓖麻蚕在蛹化前后整体和脂肪体中游离脂肪的含量比较(克/100 克)

发育期	整 体		脂 肪 体*	
	雌	雄	雌	雄
眠 前	9.66	9.32	19.83	20.07
五 龄 起 蚕	5.14	6.90	14.68	18.14
五 龄 二 日	11.08	12.05	22.60	29.50
五 龄 四 日	11.09	12.75	38.88	46.48
五 龄 六 日	12.40	14.82	48.01	53.34
上 簇	7.92	10.23	49.94	58.96
吐 完 絲	9.36	13.07	40.68	50.55
前 蛹	14.09	23.41	35.22	44.67
刚 化 蛹	17.27	25.25	33.08	44.77

\* 本结果引自第 1 篇报导。

### (二) 蓖麻蚕的糖元含量

从蓖麻蚕在发育期间糖元含量与游离脂肪变化比较中(图 2), 蓖麻蚕的糖元含量均

低于游离脂肪的含量。雌雄糖元含量与游离脂肪相反, 即糖元含量以雌体高于雄体, 游离脂肪则雄体高于雌体。蓖麻蚕自卵孵化以后, 随着幼虫的生长, 糖元和游离脂肪逐渐累积贮存, 其中, 糖元在第 3 龄幼虫期即开始累积, 而游离脂肪则是在第 4 龄幼虫, 糖元的累积比游离脂肪早一个龄期。糖元含量在老熟幼虫时达最高, 游离脂肪则在化蛹初期最高。此外, 在变态初期和中期, 雌雄体内糖元均有升高现象。根据 Правдина 等(1958)对柞蚕的研究, 认为蚕蛹变态初期和中期时的糖元升高现象是糖元内源性合成的结果。蓖麻蚕成虫羽化以后, 雌体糖元比雄体高约一倍左右。糖元在雌雄两性个体中的含量差异, 可能与其生殖特点有关。

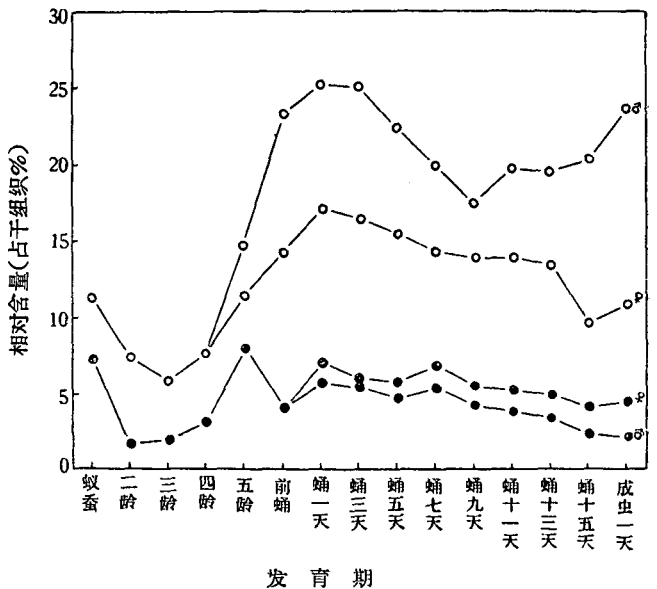


图 2 蓖麻蚕发育期间游离脂肪与糖元含量变化  
○——○ 游离脂肪; ●——● 糖元

从蓖麻蚕对糖元、游离脂肪的消耗利用上来看: 在停食吐丝以后到化蛹期间, 糖元消耗 50.3%, 游离脂肪则稍有增加(在吐丝过程, 脂肪体中的游离脂肪是减少的, 详细结果见表 1)。在整个蛹期, 雌体糖元的消耗为 44.32%, 游离脂肪为 45.17%; 雄体糖元的消耗为 62.08%, 游离脂肪为 19.72%。根据上述按占干组织百分比计算的结果表明, 蛹期的糖元消耗为雄体大于雌体; 游离脂肪消耗则为雌体大于雄体。

(三) 飢餓处理对脂肪和糖元含量的影响

将 5 龄盛食期的蓖麻蚕幼虫进行飢餓处理 4、8 和 24 小时,并在飢餓 24 小时后恢复

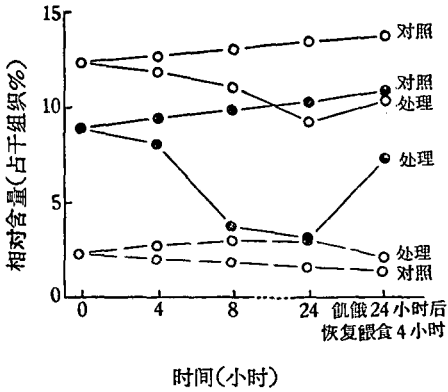


图 3 飢餓处理对脂肪和糖元含量影响

- 游离脂肪
- 糖元
- - ○ 结合脂肪

喂食 4 小时;另以不經飢餓处理的同龄幼虫为对照。分别测定它们的游离脂肪、结合脂肪和糖元含量变化,结果见图 3。从结果中看出,飢餓 4 小时的时候,糖元消耗 19.62%,游离脂肪消耗仅 4.95%;在飢餓 8 小时以后,糖元消耗达 58.74%,游离脂肪则为 10.15%,糖元消耗远比游离脂肪为高。到飢餓 24 小时以后,糖元消耗已不很显著,表明幼虫体内可消耗的贮存糖元可能已经达到最低限度,而游离脂肪消耗约 25%。此外,若将飢餓 24 小时以后的幼虫再恢复喂食 4 小时,发现其糖元含量的累积比游离脂肪迅速,在短短的 4 小时内,糖元增加 1.4 倍,游离脂肪仅增加 13.2%。表明蓖麻蚕幼虫在飢餓期间,糖元首先被利用,然后再消耗脂肪。值得注意的是结合脂肪在飢餓期间并未减少,并且还因幼虫体内糖元和游离脂肪等的消耗而使其含量相对地升高。从而进一步证实结合脂肪可能并不直接参与昆虫的能量代谢。

(四) 蓖麻蚕游离脂肪组分的分析

将化蛹至中期的蓖麻蚕,分别雌雄,用乙醚进行脂肪抽取,所获游离脂肪在室温下均为棕黄色粘状油。将其进行一般化学常数的分析测定,结果如表 2。

表 2 蓖麻蚕游离脂肪的一般常数\*

虫 别	皂化物 (%)	不皂化物 (%)	碘 值	酸 值	酯 值	皂化值
雌	97.78	2.22	184.71	2.39	183.53	185.92
雄	96.93	3.07	152.14	4.40	118.20	122.60

\* 化蛹至中期的游离脂肪。

从结果中表明蓖麻蚕的游离脂肪是以皂化物占绝大部分,不皂化物所占比例甚小,表明其脂肪组分绝大部分为脂肪酸甘油酯。此外,蓖麻蚕游离脂肪中的碘值较高,表明其不饱和脂肪酸含量较多。

为了进一步了解蓖麻蚕游离脂肪中的脂肪酸组分,将所获游离脂肪经皂化处理,分离出脂肪酸进行纸上层析,证明其含有硬脂酸和棕榈酸,可能还含有微量的豆蔻酸;另有三种不饱和脂肪酸:即油酸、亚油酸和亚麻酸(张清刚,馮慧,1964)。至于其组分则根据不皂化物与饱和脂肪酸的百分比及游离脂肪的碘值和硫氰值,再按照 Kaufmann 和 Baltes (1937)公式计算。结果见表 3。

从表 3 结果中进一步证实蓖麻蚕的不饱和脂肪酸的比例甚高,其中以亚麻酸的含量最高。从不同昆虫脂肪中的高级脂肪酸组分比较中看到,它们的组分很近似,但各个脂肪酸所占比例在不同昆虫中是不相同的。

表3 蓖麻蚕脂肪酸组分与其它昆虫的比较 (%)

脂 肪 酸		蓖麻蚕蛹*(♀)	家蚕蛹(♀)	柞蚕蛹(♀)	蝗虫(♀)
饱 和	C <sub>14</sub>	} 21.65	} 20.0	} 19.63	1.4
	C <sub>16</sub>				27.3
	C <sub>18</sub>				5.8
不 饱 和	C <sub>18</sub> 一烯	19.87	35.0	32.32	45.7
	C <sub>18</sub> 二烯	12.57	12.0	14.25	12.9
	C <sub>18</sub> 三烯	43.26	28.0	33.82	6.9
	C <sub>18</sub> 四烯				0.2
资 料 来 源		本 文	引自 Chauvin “昆虫生理学”(1949)	Демяновский 等 (1956)	Fawzi 等 (1961)

\* 本数值根据雌雄蛹混合游离脂肪的常数测定结果换算:

饱和脂肪酸: 21.65%; 不皂化物: 2.65%; 碘值: 158.32; 硫氮值: 107.75。

#### 四、讨 论

本工作系用变态期间的蓖麻蚕整体组织进行研究, 因而分析样品中包含有各个组织和器官。根据 Moran (1959) 对黄粉蚧变态期间脂肪的研究, 发现游离脂肪远比结合脂肪为高, 并且变化显著, 他认为游离脂肪是可动用的脂肪, 结合脂肪则与组织生长发育有关。我们通过饥饿试验初步证实了这一论点; 同时亦看到雌雄两性个体中所含游离和结合脂肪恰相反, 表明游离和结合脂肪在雌雄个体发育中的作用可能是不完全相同的。

根据许多人的研究 (Niemierku, 1958), 鳞翅目成虫在飞翔过程中, 消耗的能源物质主要是游离脂肪。由此推测, 蓖麻蚕雄成虫一般比雌虫来得活跃, 可能与其游离脂肪的较高比率有关。此外, 化蛹到中期以后, 雄体游离脂肪的不断增加还可能与成虫生殖系统的发育有关系。这点, 在 Fawzi 等 (1961) 以及其他作者对蝗虫和家蚕脂肪的研究中, 均讨论到脂肪可能与雄体精子形成有关。

关于游离脂肪与糖元含量间的关系, 在蓖麻蚕幼虫进食、饥饿、吐丝和化蛹期间均证明糖元的积累和利用比游离脂肪为早。从而间接地证明糖元与脂肪相互转化的依从关系。

根据我们对蓖麻蚕游离脂肪的组分分析, 表明其高级脂肪酸种类与其它几种昆虫近似, 但含量则因不同种类的昆虫而异。总的说来, 大多数昆虫体内的不饱和脂肪酸含量远比饱和脂肪酸高, 其原因何在是值得进一步探讨的。此外, 脂肪性质还与昆虫的发育期不同而变化。例如, Демяновский 等 (1956) 对柞蚕变态期间脂肪性质的研究表明, 柞蚕在不同发育阶段, 其脂肪中的碘值、酸值、皂化值等均有变化, 表明其脂肪酸组分的变化; 同时, 该作者还认为脂肪中的脂肪酸组分还与雌虫卵粒中的脂肪组分有关。因此, 进一步研究昆虫变态期间脂肪酸的组分变化, 对于阐明雌雄两性的生殖生理可能是很有意义的。

#### 参 考 文 献

- 张清刚、刘 芳、冯 慧 1963 蓖麻蚕在变态期间代谢作用的研究 I. 蛹化前后脂肪体和血淋巴主要成分的变化。昆虫学报 12(4):412—22。  
张清刚、冯 慧 1964 蓖麻蚕蛹体高级脂肪酸的纸上层析。昆虫学报 13(5):761—64。  
翟启慧 1963 蓖麻蚕可溶性蛋白质的研究。昆虫学报 12(5—6):543—51。  
Chauvin, R. 1949 Physiologie de l'Insecte, 中译本, 忻介六、罗祖玉译, 昆虫生理学。1956 科学出版社。

- Fawzi, M., H. Osman und G. H. Schmidt 1961 Analyse der Körperfette von Imaginalen Wandenheuschrecken der Art *Locusta Migratoria Migratoriodides* L. (Orth.). *Biochem. Zeit.* **334**:441—50.
- Kaufmann, H. P. & J. Baltes 1937 Die Bestimmung der Hydrierjodzahl und ihre Anwendung bei der Analyse des Essangöls. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **70**:2537—44.
- Moran, M. R. 1959 Changes in the fat content during metamorphosis of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. *Jour. N. Y. Ent. Soc.* **67**:9—10.
- Niemierko, W. 1958 Some aspects of lipid metabolism in insects. *4th International Congress of Biochem.* **12**:185—97.
- Асатиани, В. С. 1956 Методы биохимических исследований. Москва. 中译本, 四川医学院生化教研组译, 生物化学检查法。1960 人民卫生出版社。
- Белозерский, А. Н. и Н. И. Проскуряков 1951 Практическое руководство по биохимия растений. Москва. 中译本, 曹宗巽等译, 植物生物化学实验指导。1956 高等教育出版社。
- Демянский, С. Я. и В. А. Зубова 1956 Жиры в организме дубового шелкопряда. *Биохимия*, **21**:676—82.
- Ермаков, А. И. и др. 1952 Методы биохимического исследования растений. 中译本, 吴相钰等译, 植物生物化学研究法。1956 科学出版社。
- Кузин, А. М. и Э. А. Макаева 1944 Ферментативный метод определения гликогена в крови и тканях. *Биохимия*, **9**:14—21.
- Правдина, Н. Ф. и А. Н. Смолин 1958 Синтез и распад гликогена в организме куколки дубового шелкопряда в период метаморфоза. *Уч. Зап. МГПИ им. В. И. Ленина*, СХЛ, в 9, 255—60.
- Смолин, А. Н. и Г. Гудалина 1957 Гликоген в тканях куколки дубового шелкопряда в период метаморфоза. *Уч. Зап. МГПИ им. В. И. Ленина*, **98**, в 9, 129.

## STUDIES ON METABOLISM OF ERI-SILKWORM DURING METAMORPHOSIS

### IV. FREE AND BOUND LIPIDS AND THEIR RELATIONS TO THE CONTENT OF GLYCOGEN

CHANG CHING-KAN, LIU FANG AND FENG HUI  
(Institute of Zoology, Academia Sinica)

The relation between the quantitative changes of free and bound lipids and glycogen during various post-embryonic stages of the Eri-silkworm has been studied. The percentages of free lipids in the tissues of the males are always higher than that of the females; but the percentages of the bound lipids in the tissues of the males are lower. The contents of free and bound lipids of both sexes change according to various stages of development. Fasting experiments with the fifth instar larva indicate that free lipids could be utilized as an energy source. A determination of chemical constants of the free lipids showed that their main constituent is triglycerides of fatty acids. Among the six higher fatty acids found in the paper chromatographic analysis, the amount of linolenic acid is the highest. In all the stages of development of the Eri-silkworm, the contents of tissue glycogen in both sexes are always lower than those of the free lipids, but higher than those of bound lipids. The glycogen contents of the females are higher than those of the males. The accumulation of glycogen during development and the utilization of glycogen during fasting were found both to precede those of the free lipids. The influences of fat and glycogen on growth and reproduction have also been discussed.