

Laboratorio de la Sección de Química Biológica
del Instituto Español de Fisiología y Bioquímica (C. S. I. C.)

El metabolismo de *Bombyx mori* L. VIII. Oligoelementos

por M. Comenge Gerpe y M. Dean Guelbenzu

(Recibido para publicar el día 12 de mayo de 1951)

En varios trabajos anteriores, uno de nosotros (M. C.) en colaboración con distintos autores, hemos investigado el metabolismo de prótidos, glúcidos, lípidos y algunos aminoácidos del *Bombyx mori*.

En la presente nota nos referimos al metabolismo de los oligoelementos de dicho insecto.

Es un hecho bien conocido por los naturalistas, el de la adaptación de una larva a una sola especie vegetal: *Bombyx pitocampa* Fabr. al pino, *Pieris brassicae* a la col, *Liparis salicis* L. al chopo. Estas asociaciones hacen pensar en el parasitismo de ciertos hongos sobre especies vegetales autotrofas.

Bombyx mori L. se nutre exclusivamente de hojas de morera. Esta particularidad nos ha conducido al tema de nuestra investigación que puede resumirse en la pregunta: ¿Qué hay de más o de menos en la hoja de morera que la hace suficiente para nutrir la larva del gusano de seda, con exclusión de las hojas de las demás especies vegetales?

Primeramente hemos hecho el estudio de los oligoelementos contenidos en las larvas de todas las edades del gusano de seda; al mismo tiempo las hemos comparado con la hoja de morera que le alimenta, determinando en ella también los oligoelementos. Por otra parte hemos hecho una tentativa de cría con hojas que tienen afinidades botánicas con la morera, como *Maclura aurantiaca*, *Ficus carica* y *Brousonetia papyrifera* y hemos buscado la diferencia que pueda justificar la aversión de la larva por estas hojas.

Así nuestro trabajo se divide en dos partes: a) estudio de los oligoelementos en las diversas edades del gusano de seda, de la hoja de morera que le nutre, de los excrementos y de la hoja roída

por la larva por saber si ésta hace una selección; b) estudio comparativo de los oligoelementos de las hojas de *Morus alba*, *Brousonetia papyrifera*, *Maclura aurantiaca* y *Ficus carica*.

Métodos

La técnica analítica empleada fué la incineración de los materiales en crisol de porcelana y análisis ulterior por el método espectrográfico por emisión con excitación por arco, con electrodos de soporte de carbón puro. Para ciertos elementos, hemos efectuado el análisis semicuantitativo, siguiendo la técnica habitual. Material fotográfico: film Kodak rígido.

Prueba biológica. — Las larvas de *Bombyx mori* L., fueron sometidas a un régimen exclusivo de hojas de *Morus alba*, *Maclura aurantiaca*, *Brousonetia papyrifera* o *Ficus carica* en lotes diferentes de cien larvas cada uno.

Resultados

Los resultados son los siguientes: Dos larvas solamente, alimentadas con *Maclura aurantiaca* llegaron al estado de insecto perfecto. Al contrario, las alimentadas con *Ficus* y *Brousonetia* murieron en dos o tres días.

Sin embargo, la composición de estas hojas es muy análoga a la hoja de morera. El análisis espectrográfico de las cenizas de estas hojas proporciona los resultados siguientes:

CUADRO I

Resultado del análisis espectrográfico de las cenizas de varias hojas empleadas para alimentar el Bombyx mori, L.

	Morus alba	Brunetia papyrifera	Ficus carica	Maclura aurantiaca
Ag.	$< 10^{-5}$	+	\pm	10^{-5} a 10^{-6}
Al.	+	+	+	+
Ba.	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
Ca.	+	+	+	+
Co.	(-)	(-)	(-)	(-)
Cu.	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
Fe.	10^{-2} a 10^{-3}	$< 10^{-2}$	$< 10^{-2}$	$< 10^{-2}$
K.	+	+	+	+
Li.	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
Mg.	+	+	+	+
Mn.	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$
Mo.	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5} a 10^{-6}
Na.	+	+	+	+
Ni.	$< 10^{-4}$	$> 10^{-5}$	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
P.	+	+	+	+
Pb.	$< 10^{-3}$	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$	$< 10^{-3}$
Si.	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	$< 10^{-1}$
Ti.	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$	$> 10^{-4}$
V.	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}

La diferencia que se observa depende únicamente de la presencia o ausencia de plata. Según la técnica empleada, sólo las hojas que la contienen se muestran capaces de llevar la larva hasta el estado de insecto perfecto. Por el contrario, las hojas en las cuales la presencia de plata es dudosa son incapaces de alimentar al insecto.

Esto se comprueba por el análisis espectrográfico de las diferentes fases del gusano de seda, como puede verse en los siguientes cuadros:

CUADRO II
Fases de elementos del gusano de seda. — Elementos: Proporción en que se encuentran en 1 gr. de ceniza

Fases del gusano de seda	Ag.	Al.	Ba.	Ca.	Cu.	Fe.	K.	Li.	Mg.	Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Si.	Ti.	V.
1 Eclación	±	±	+	+	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³ 10 ^{-4a}	+	10 ³	10 ⁻⁵	+	10 ⁴	+	10 ⁻³	10 ⁻¹	>10 ⁻⁴	±
2 Primera edad	>10 ⁻⁵	±	±	±	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³	+	10 ³	10 ⁵	-	10 ⁴	+	10 ³	10 ² 10 ^{3c}	±	-
3 Segunda edad	>10 ⁻⁵	+	±	±	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³	+	10 ⁻³	10 ⁻⁵	+	10 ⁴	+	10 ⁻⁴	10 ²	±	-
4 Tercera edad	>10 ⁻⁵	+	±	±	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	>10 ⁻⁴	+	10 ⁻³	10 ⁻⁵	+	10 ⁴	+	10 ⁻⁴	10 ⁻²	±	-
5 Cuarta edad	±	+	±	+	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	±	10 ⁻³ 10 ^{-4a}	+	10 ⁻³	10 ⁻⁵	+	<10 ⁻⁴	+	10 ⁻⁴	10 ²	±	-
6 Quinta edad	±	±	±	±	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³ 10 ^{-4a}	+	10 ³	10 ⁻⁵	+	10 ⁴	+	10 ⁻⁴	10 ¹ 10 ^{-2a}	±	-
7 Crisálida	±	+	±	+	>10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	>10 ⁻⁴	+	10 ⁻³	10 ⁵	+	<10 ⁻⁴	+	10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	±	-
8 Macho antes de acoplar	±	+	+	+	>10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³	+	10 ⁻³	10 ⁵	+	10 ³ 10 ^{4a}	+	10 ⁴	10 ¹ 10 ^{-2a}	>10 ⁻⁴	±
9 Macho después de acoplar	±	+	+	+	>10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³	+	10 ⁻³	10 ⁵	+	10 ³ 10 ^{4a}	+	>10 ⁻⁴	10 ¹ 10 ^{-2a}	10 ⁻⁴	-
10 Hembra antes de acoplar	±	+	±	+	>10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³	+	10 ³	10 ⁻⁵	+	10 ³ 10 ^{4a}	+	10 ⁴	10 ¹ 10 ^{-2a}	>10 ⁻⁴	±
11 Hembra después de acoplar	±	+	±	+	>10 ⁻⁴	10 ² 10 ^{-3a}	+	10 ⁻³	+	10 ³	10 ⁻⁵	+	10 ³ 10 ^{4a}	+	>10 ⁻⁴	10 ⁻¹ 10 ^{-2a}	>10 ⁻⁴	±
12 Huevos	±	+	±	+	>10 ⁻⁴	10 ⁻² 10 ^{-3a}	+	>10 ⁻⁴	+	10 ⁻³	10 ⁻⁵	+	10 ⁻⁴	+	>10 ⁻⁴	10 ⁻² 10 ^{-3a}	±	-
Límite de sensibilidad	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻²	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶

CUADRO III

Análisis del alimento. Hojas de morera enteras, correspondientes a las distintas fases del gusano de seda.
Elementos — Proporción en que se encuentran en un gramo de cenizas de hojas

	Ag.	Al	Ba.	Ca.	Cu.	Fe.	K.	Li.	Mg.	Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Si.	Ti.	V
1.ª edad...	$< 10^{-5}$	+	±	÷	$\geq 10^{-4}$	10^{-2} a 10^{-3}	+	10^{-3} a 10^{-4}	+	$> 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	10^{-4}	+	10^{-4}	$\geq 10^{-1}$	$> 10^{-4}$	±
2.ª edad...	10^{-5}	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	10^{-2} a 10^{-3}	+	10^{-4}	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	10^{-4}	+	10^{-4}	$\geq 10^{-1}$	$> 10^{-4}$	-
3.ª edad...	10^{-5}	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	10^{-2} a 10^{-3}	+	10^{-3} a 10^{-4}	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	10^{-4}	+	10^{-4}	$\geq 10^{-1}$	$> 10^{-4}$	-
4.ª edad...	$< 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	10^{-2} a 10^{-3}	+	10^{-3} a 10^{-4}	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	10^{-4}	+	10^{-4}	$\geq 10^{-1}$	$> 10^{-4}$	±
5.ª edad...	$< 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	10^{-2} a 10^{-3}	+	10^{-4}	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	10^{-4}	+	10^{-4}	$\geq 10^{-1}$	$> 10^{-4}$	-
Límite de sensibilidad	10^{-6}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-4}

CUADRO IV

Análisis de la hoja no ingerida

Elementos. — Proporción en que se encuentran en 1 gr. de cenizas

Hojas de morera	Ag.	Al.	Ba.	Ca.	Cu.	Fe.	K.	Li.	Mg.	Mn.	Ma.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Si.	Ti.	V.
1.ª edad	$< 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2} a}{10^{-3}}$	+	$\frac{10^{-3} a}{10^{-4}}$	-	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	$< 10^{-4}$	+	$10^{-4} \geq 10^{-1}$	$10^{-1} > 10^{-4}$	10^{-4}	±
2.ª edad	$< 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2} a}{10^{-3}}$	+	$\frac{10^{-3} a}{10^{-4}}$	+	$> 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	$< 10^{-4}$	+	$10^{-4} \geq 10^{-1}$	$10^{-1} > 10^{-4}$	10^{-4}	±
3.ª edad	$< 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2} a}{10^{-3}}$	+	$\frac{10^{-3} a}{10^{-4}}$	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	$< 10^{-4}$	+	$10^{-4} \geq 10^{-1}$	$10^{-1} > 10^{-4}$	10^{-4}	±
4.ª edad	$> 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2} a}{10^{-3}}$	+	$\frac{10^{-3} a}{10^{-4}}$	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	$< 10^{-4}$	+	$10^{-4} \geq 10^{-1}$	$10^{-1} > 10^{-4}$	10^{-4}	±
5.ª edad	±	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2} a}{10^{-3}}$	+	10^{-4}	+	$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	+	$< 10^{-4}$	+	$10^{-4} \geq 10^{-1}$	$10^{-1} > 10^{-4}$	10^{-4}	±

CUADRO V

Análisis de mudas y capullos

Elementos. — Proporción en que se encuentran en un gramo de cenizas

	Ag.	Al.	Ba.	Ca.	Cu.	Fe.	K.	Li.	Mg.	Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Si.	Tl.	V
1. Mudas de crisálidas.....	-	+	±	+	10^{-4} >	10^{-3}	+	10^{-3} a 10^{-4}	+	10^{-3} 10^{-4} a	-	+	±	+	10^{-5}	10^{-2} >	±	-
2. Mudas de gusano.....	-	+	±	+	10^{-4} >	10^{-3}	+	10^{-3} a 10^{-4}	+	10^{-3}	-	+	±	+	10^{-5}	10^{-1} 10^{-2} a	±	-
3. Capullos de seda.....	-	+	±	+	10^{-4} >	10^{-2} 10^{-3} a	+	10^{-3} a 10^{-4}	±	10^{-3}	-	+	±	+	> 10^{-5}	10^{-1}	-	-
Límite de sensibilidad..	10^{-6}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}

CUADRO VI
Análisis de los excrementos
Elementos. — Proporción en que se encuentran por gr. de ceniza

	Ag.	Al.	Ba.	Ca.	Cu.	Fe.	K.	Li.	Mg.	Mn.	Mo.	Na.	Ni.	P.	Pb.	Sn.	Tr.	V.
1.ª edad ...	10^{-5}	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2}}{10^{-3}}$ ^a	+	$\frac{10^{-3}}{10^{-4}}$ ^a	+	$< 10^{-3}$	±	+	$< 10^{-4}$	+	10^{-3}	$\geq 10^{-1}$	10^{-4}	—
2.ª edad ..	10^{-5}	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2}}{10^{-3}}$ ^a	+	$\frac{10^{-3}}{10^{-4}}$ ^a	+	$< 10^{-3}$	±	+	$< 10^{-4}$	+	$> 10^{-4}$	$\geq 10^{-1}$	10^{-4}	—
3.ª edad ...	10^{-5}	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2}}{10^{-3}}$ ^a	+	$\frac{10^{-3}}{10^{-4}}$ ^a	+	10^{-3}	±	+	$< 10^{-4}$	+	$< 10^{-4}$	$\geq 10^{-1}$	10^{-4}	—
4.ª edad ...	$> 10^{-5}$	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2}}{10^{-3}}$ ^a	+	$\frac{10^{-3}}{10^{-4}}$ ^a	+	$> 10^{-3}$	±	+	$< 10^{-4}$	+	$< 10^{-4}$	$\geq 10^{-1}$	10^{-4}	—
5.ª edad ...	10^{-4}	+	±	+	$\geq 10^{-4}$	$\frac{10^{-2}}{10^{-3}}$ ^a	+	$\frac{10^{-3}}{10^{-4}}$ ^a		$> 10^{-3}$	±	+	$< 10^{-4}$	+	$< 10^{-4}$	$\geq 10^{-1}$	$> 10^{-4}$	—
Límite de sensibilidad	10^{-6}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-6}

Discusión y conclusiones

No puede asegurarse la ausencia de rayas espectrales de la plata 3280,683 y 3382,891 \AA en ninguno de los espectrogramas estudiados, excepto en las mudas y en los capullos. Hay mayor proporción de plata en las tres primeras edades a partir de la eclosión. Comienza a eliminarse desde el comienzo de la cuarta edad, lo cual explicaría la disminución de este metal en las fases sucesivas.

La cantidad de plata contenida en los excrementos es, en nuestra opinión, la demostración de un exceso en la hoja, cuyo exceso se eliminaría exclusivamente por vía digestiva, puesto que ni la seda, ni la piel la contienen.

Además de los elementos plásticos Ca, K, Mg, Na y P, nos encontramos en todas las cenizas analizadas los oligoelementos siguientes: Al, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb. y Si; Ba aparece en proporciones que representan el límite de sensibilidad del método empleado.

Co debe encontrarse en proporciones inferiores al límite de sensibilidad.

Todas las cenizas estudiadas tienen más Mn que Cu y menos que hierro ($\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cu}$).

La proporción de Ni, Mo y V es inferior a las de los metales anteriormente citados.

Las cantidades de Ti son análogas o superiores a las de Cu.

Fe, Mn, Ni, Pb y Ti están en menor proporción en las mudas que en las larvas y el insecto perfecto; las rayas correspondientes a Ag, Mo y V no aparecen en los espectrogramas de las mudas.

Se puede decir lo mismo de los capullos si se exceptúa Fe y Mn.

Summary

Study is made by the spectrographic method of the elemental composition of the silk worm during its different larval phases and in relation to the food ingested with the object of ascertaining the causes of the adaptation of the larva to the mulberry leaf. Leaves of *Maclura aurantiaca*, *Broussonetia papyrifera* and *Ficus carica* do not serve as food for the worm and do not seem to differ from the natural food (*Morus alba*) but by the absence or lesser contents in silver of the former. In all the larval phases silver is found predominating in the first three ages, after which elimination of the same is initiated. Mulcs and cocoons lack silver.

Some considerations are made about the oligoelements in the *Bombix mori*.

