産卵鶏における Carotenoid 代謝に関する研究

II 蚕糞給与量を漸増した場合の卵の Carotenoids 及び vitaminA含量

山 田 英 世 ・ 斎 藤 道 雄

(名古屋大学農学部家畜飼養学教室)

Studies on the metabolism of carotenoid pigments in laying hens

II Changes in carotenoid and vitamin A contents of eggs laid by hens fed increasing amounts of silkworm feces.

HIDEYO YAMADA and MICHIO SAITO

(Department of Animal Feeding, Faculty of Agriculture, Nagoya University)

I 緒 言

著者らは前報告において、緑餌多給の場合の Carotenoids 代謝を研究し、卵に比較的多量の β -Carotene 及び Vitamin A が出ることを証明したが、一方において Xanthophyll そのものの卵に出る率が割に低くなることを報告した。今回は Carotenoids 給源を毎週変化させた場合、卵の Carotenoids 及び Vitamin A の含量がいかに変化するかを知らんとし新しい実験を計画したのである。

本実験では、緑餌の代りに蚕糞を使用することにした。その理由は、蚕糞が普通の緑餌よりも極めて多量の Carotenoids を含有するからである。そこで蚕糞を給与したり、あるいはそれを中絶したりすることにより、鶏の体内における Carotenoids の代謝を人工的に激しく変化させることができると考えたのである。

蚕糞は愛知県蚕業試験場豊橋分場の幹旋によつて供給されたが、この実験は1月～3月の寒冷期に行われたため、蚕糞はすべて前年に生産されたものである。実験動物は、前年四月孵化した白レグ種及び名古屋種各2羽で産卵盛期にあるものであつた。

蚕糞が鶏の飼料として適することは、しばしば報告されており、実際に農家でも広く利用されている。ことに蚕糞中の Xanthophyll が卵黄の色をよくすることが知られていて、このことは蚕業試験場でも実験報告²⁾がある。しかし従来の試験報告は、蚕糞中の Xanthophyll の効果だけを論じたもので、蚕糞の β -Carotene 並びに Vitamin A 生産効果についてはまだ研究されていない。そこで本実験では、この分野をも含めて、産卵鶏につき調査を行なつた。

II 実験方法

実験動物としては、産卵中の白レグ種及び名古屋種2

羽宛を選び、バッテリーに飼養し、緑餌を完全に断つて後2週間は配合飼料のみ給与した。ただしこの間 Carotenoid を含まない緑餌代用物として、大根を細断して与えた。しかしてこの間の最後の一週は、これを試験期間に見なし、Carotenoids 無給与区とした。次ぎの週(第2週)より下記のごとく蚕糞を給与し、漸次この給与量を増加し、第6週に給与を中止した。

第1週(1月31日～2月6日)蚕糞無添加区

第2週(2月7日～2月13日)蚕糞5%添加区

第3週(2月14日～2月20日)蚕糞10%添加区

第4週(2月21日～2月27日)蚕糞20%添加区

第5週(2月28日～3月6日)蚕糞30%添加区

第6週(3月7日～3月13日)蚕糞無添加区

第7週(3月14日～3月20日)蚕糞無添加区

第8週(3月21日～3月27日)蚕糞無添加区

各区で生産された卵は、一週間分を集めて、卵黄を分離し、これを混合して、その週間の分析材料とした。蚕糞の添加量が増加するに従つて卵黄の色は漸次濃きを増したが、この色の変化については、各個の卵について調査を行なつた。

III 蚕糞の成分

本実験に使用した蚕糞の成分につき、先づ一般分析を行なつた結果、次ぎのごとき成績を得た。

Table 1 Composition of silkworm feces (dried) used in the experiment.

General composition	water	13.86(%)
	Organic matter	61.52
	Crude protein	10.77
	Crude fat	3.58
	N-free extract	37.25
	Crude fiber	9.92
Carotenoids (in 100g of dried feces)	Crude ash	24.62
	Xanthophylls	45.091(mg)
	Cryptoxanthin	1.400
	β -Carotene	15.438

第1表によれば、蚕糞100g中の β -Carotene と Xanthophyll の比は約1:3である。しかしこれら二つの成分が単一のものでないことは、次ぎの実験で確かめられた

Carotencids の定量は、主として藤田³⁾の法によつたが、BICKOFF⁴⁾ STRAIN⁵⁾ 及び MOSTER⁶⁾ の新しい分析方法も併用した。まず藤田法に従つて、原料たる蚕糞を Methanol, Benzol により順次抽出し、抽出液に水を加えて Benzol 層を分離し、Alcoholic potash によつて一液冷鹼化する。次ぎに鹼化液に水を加えて Alkali 液を分離し、Benzol 層のみを集めて、水で洗滌したる後、 N_2 gas を通じ蒸発濃縮して内容を Petroleum-ether 溶液とする。この Petroleum-ether 液を用い、Alumina column を通じて Chromatography を行なつた。しかして常法に従い Xanthophyll, Cryptoxanthin 及び β -Carotene の3つの fraction に分け、各層を分離した。 β -Carotene は Petroleum-ether, Benzol (1:1) で流出し、光電比色計を用いて測定する。残つた二層は各々の Column を切断して分離し、Xanthophyll fraction は Methanol で溶出し、 $K_2Cr_2O_7$ 0.02%液を標準として Duboscq 比色計で測定、Cryptoxanthin 層は Methanol:Petroleum-ether:H₂O=1:1:1 を用いて Petroleum-ether に移行せしめ光電比色計によつて測定する。

なお Alumina による Chromatogram において、最上層の Xanthophyll fraction を次ぎに述べる方法によつて再検討してみた。即ち Xanthophyll fraction を Methanol で溶出し、これを N_2 gas 中で蒸発濃縮した後、Hexane に移し換え、今度は Sucrose: Celite (3:2) の Column を通して Chromatography を行なうのである。このときは上から Yellow-Deep Yellow-Yellow-

Deep Yellow の4層に分かれた。これを Hexane: Alcohol (99.5:0.5) で develop したところ Faint Yellow-Deep Yellow-Faint Yellow-Orange の4層に分かれ、下層は顕著な Orange を出現した。そこで一応上部の Yellow 層 (Faint Yellow を含む) と下部の Orange 層を取り、両方とも Methanol で溶出させ、次ぎに蒸発濃縮して Petroleum-ether に相を換え、Beckman の Spectrophotometer で吸収帯を測定した。その成績によると、上部の Yellow 層では 440m μ , 470m μ の所に、下部の Orange 層では 444m μ , 475m μ の所に peak を認めた。

さらに先きの Alumina による Chromatogram において、最下層の β -Carotene fraction についても再検討を試みた。却ちこの β -Carotene fraction を Benzol: Petroleum-ether (1:1) で溶出し、 N_2 gas を通じて蒸発濃縮し、内容を Hexane に移しかえ、MgO: Celite (1:1) を用いて Chromatography を行なつた。この場合 Brown-faint zone-Orange-Deep orange-Yellow の5層に分離した。文献に徴するに、この層は上方より、Cryptoxanthin, monohydroxy - α -Carotene-like, β -Carotene, neo- β -Carotene B 及び α -Carotene のごとく考えられた。これについては、さらに Beckman 装置を用いて目下調査中である。

本代謝試験においては、この各部をとりあえず β -Carotene (fraction) として取り扱い計算した。

IV 蚕糞給与時の産卵鶏の状況

試験鶏の産卵状況 (卵黄の量も含めて) を調査した成績は、第2表の通りである。

Table 2 Egg production of hens on experiment.

Birds Production a week	Bird A (White Leghorn)		Bird B (White Leghorn)		Bird C (Nagoya)		Bird D (Nagoya)	
	egg	egg yolk	egg	egg yolk	egg	egg yolk	egg	egg yolk
Experimental periods								
(% addition of silkworm feces)	pieces	g	pieces	g	pieces	g	pieces	g
First week (none)	4	72.70	6	109.65	5	100.00	5	92.20
Second week (5%)	5	93.60	4	70.30	4	78.40	3	59.00
Third week (10%)	5	91.80	5	88.20	3	65.20	3	61.30
Fourth week (20%)	2	36.20	3	48.50	5	101.80	3	60.90
Fifth week (30%)	2	35.70	1	16.15	3	58.70	2	39.80
Sixth week (none)	4	77.55	0	0	3	57.90	5	96.50
Seventh week (none)	4	76.80	5	89.50	3	61.95	3	57.75
Eighth week (none)	4	77.60	4	71.6	4	82.52	3	59.70
Ninth week	5	—	4	—	5	—	5	—

産卵率は、試験の初期においては、両品種とも70~80%を維持していたが、蚕糞の添加量が増加するに従つて低下した。その理由は、蚕糞の添加が下痢を誘発したからである。却ち5%の添加で既に名古屋種の1羽(D)に軽い下痢を起こし始めたが、2~3日で治癒した。この場合、白レグ種の2羽(A及びB)と名古屋種の1羽

(C)には下痢を認めなかつた。従つてこの程度の添加量では、大体差し支えないと考えられたが、一般的に見て好ましからざる状態を生じた。即ち5%の添加によつて食欲の減退が見られ、給与した日量を完全には摂取しなくなつたのである。そこで蚕糞を配合飼料に混じて強制的に摂取させる方法を取つた。食欲不振は両品種に同

時に現われ、名古屋では産卵率も低下する傾向がこの際見られた。すなわち白レグ種の方が蚕糞添加の場合、比較的悪影響が少なく、適応性もあるように見える。同一量の蚕糞添加において、白レグ種には食慾上の変化が少なかったことがその後、別の実験によつて確かめられた。

次に添加量を10%に増したところ、名古屋種は2羽とも蚕糞に慣れたようで下痢を起こさなかった。白レグ種には依然として変化がなかったが、蚕糞の給与は強制的に行なわねばならなかった。

次に添加量を20%に増加すると、両品種とも、同時に軽度の下痢を起した。そこで下痢止めのため骨炭を与えたところ、効果があつて健康は回復した。この場合、卵率は低下したが、特に白レグの方で低下が目立つて現われた。

次に添加量を30%に増加するに至つて、両品種ともに強度の下痢が始まつた。骨炭の給与によつても下痢はやまず、産卵率はさらに低下するに至つた。そこで30%を最高添加量と認め、蚕糞の給与試験を打ち切つて、蚕糞無添加区に返した。

その結果、白レグ種は直ちに健康回復し、産卵率は上昇した。名古屋種の方は2週目に至つて漸く完全に下痢が止まつたが、これによつても、蚕糞による下痢の場合白レグ種の方が回復が早いことが判明した。ただし名古屋種は、下痢の場合にも産卵を続け、一羽は蚕糞無添加区に返されると同時に産卵を一時増加した。しかし一般にその後2週間は産卵が多くなく、4週間目に至つて初めて両品種とも完全に産卵率を回復した。

v 蚕糞添加時の卵黄の Carotene 及び Vitamin A 含量

蚕糞無添加区と蚕糞添加区の各週の産卵につき、卵黄の Carotenoid と Vitamin A 含量の測定を要なつた。その成績は第3表の通りである。

第3表のとおり、蚕糞5%添加の影響は、翌週(第3週)から卵黄に現われ、卵黄100g中の Xanthophyll は約2倍に増量した。さらに添加量を増すに従つて、卵黄の Xanthophyll も増加し、最高は卵黄100g中9.6~10.8 mg に達したが、これは通常の含量の3倍ないし3倍半に当つている。しかるに卵黄の β -Carotene は、蚕糞の添加によつて多少増加し、あるものでは最高量が卵黄100g中0.85~0.93mgに達しているが、一般にはさほど増加していない。また卵黄中の Vitamin A に至つては、蚕糞給与によつて名古屋種のただ1羽に増加(20%程度)を見ただけで、その他ではほとんど変化を認めなかった。

次に添加量30%から急に蚕糞の添加をやめた場合、卵黄において、色素量の変化は一週後に顕著に現われ、Xanthophyll の量は急激に減少した。(ただし白レグ種の一羽は休産したため、この鶏には2週後に変化が現われた。)なお β -Carotene も減少したが、Xanthophyll のように顕著ではない。Vitamin A の量には、ほとんど変化を認めなかった。

第3表は卵黄100g中の Carotenoid 及び Vitamin A の含量を示したものである。この値に、第2表に示す毎週の卵黄生産量を乗じ、試験中の各週における生産卵

Table 3 Carotenoids and Vitamin A Contents of eggs produced during experiment.
(contents expressed in 100g. of egg yolk.)

Bird content*	Bird A (White Leghorn)			Bird B (White Leghorn)			Bird C (Nagoya)			Bird D (Nagoya)		
	X	C	A	X	C	A	X	C	A	X	C	A
Experimental periods	mg	mg	I. u.	mg	mg	I. u.	mg	mg	I. u.	mg	mg	I. u.
First week (none) **	—	—	—	2.731	0.271	950	4.834	0.465	1,050	5.071	0.495	1,100
Second week (5%)	2.139	0.268	1,125	2.470	0.233	900	3.506	0.343	950	3.155	0.375	1,025
Third week (10%)	4.016	0.375	1,025	4.517	0.495	675	4.164	0.440	1,300	6.272	0.568	1,150
Fourth week (20%)	5.635	0.388	750	7.785	0.495	1,150	5.956	0.465	800	7.305	0.675	1,325
Fifth week (30%)	9.595	0.798	1,100	5.115	0.850	850	6.800	0.935	1,000	10.758	0.318	1,337
Sixth week (none)	7.785	0.478	1,050	no production			6.206	0.318	950	9.245	0.340	1,350
Seventh week (none)	3.153	0.275	1,115	9.543	0.480	1,250	1.919	0.280	1,125	2.705	0.315	975
Eighth week (none)	1.399	0.245	1,050	2.272	0.243	900	1.321	0.240	950	1.671	0.248	875

* X: xanthophylls. C: β -carotene. A: vitamin A.

** % addition of silkworm feces in parentheses.

(卵黄)に現われる Carotenoid 及び Vitamin A の絶対量を計算すると、第4表のごとき結果となる。

第4表のとおり、週によつて産卵率を異にするが蚕糞添加によつてその翌週の産卵に Carotenoids が増加している。ただし白レグ種の一羽(B)は、30%の添加により翌週の産卵が休止したため、卵に出る Carotenoids

の増加は3週目に現われている。添加を中止した(蚕糞無添加区に返した)ときの影響は、多くは翌週に現われている。

なお卵を出す各週の Carotenoids 量は、次に述べる給与飼料との関係を考慮しなければ興味ある考察はできない。

Table 4 Total production of Carotenoids and vitamin A in the egg yolk.

Bird	Bird A (White Leghorn)			Bird B (White Leghorn)			Bird C (Nagoya)			Bird D (Nagoya)		
	X*	C*	A*	X	C	A	X	C	A	X	C	A
Contents	mg	mg	I.u.	mg	mg	I.u.	mg	mg	I.u.	mg	mg	I.u.
Experimental period												
First week (none)	—	—	—	2.994	0.297	1,042	4.834	0.465	1,050	4.676	0.456	1,014
Second week (5%)	2.002	0.251	1,053	1.736	0.164	632	2.747	0.269	745	1.862	0.221	605
Third week (10%)	3.686	0.344	941	3.984	0.437	596	2.715	0.287	848	3.845	0.348	705
Fourth week (20%)	2.040	0.140	272	3.776	0.240	558	6.063	0.473	814	4.448	0.411	807
Fifth week (30%)	3.425	0.245	393	0.826	0.137	137	3.992	0.549	587	4.282	0.127	532
Sixth week (none)	6.037	0.371	814	no production.			3.593	0.184	550	8.920	0.328	1,300
Seventh week (none)	2.421	0.211	856	8.541	0.430	1,119	1.189	0.173	697	1.562	0.182	563
Eighth week (none)	1.086	0.190	815	1.627	0.174	664	1.090	0.198	784	0.997	0.148	522

* See tab. 3.

VI 摂取された Carotenoids から卵に出る Carotenoids 及び Vitamin A の割合

前節によつて、蚕糞給与時に卵黄に出る Carotenoids 及び Vitamin A の絶対量を知つた。そこで次ぎの問題は、この成績を摂取 Carotenoids の量と結びつけて、卵に出る割合を調査することである。すでに蚕糞中の Carotenoids の含量については明きらかにしたので、さらに試験中に給与した配合飼料についてその含量を調べたところ、第5表の通りとなった。

Table 5 Contents of carotenoids of the combined concentrates used in experiments.

	Content in 100g of the concentrates
	mg
Xanthophylls	1.063
Cryptoxanthin	0.036
β-Carotene	0.030

次ぎに、実際に鶏に給与した配合飼料と蚕糞の量は、第6表に示す通りである。

第6表の飼料給与量から Carotenoid 給与量を計算す

Table 6 Amounts of feeds given each week. (g)

Bird	Bird A (White Leghorn)		Bird B (White Leghorn)		Bird C (Nagoya)		Bird D (Nagoya)	
	Conc.*	D.S.F.*	Conc.	D.S.F.	Conc.	D.S.F.	Conc.	D.S.F.
Experimental periods								
First week (none)	680	0	680	0	766	0	717	0
Second week (5%)	696	35	686	35	822	42	760	42
Third week (10%)	510	70	640	70	772	84	702	84
Fourth week (20%)	563	140	598	140	617	168	600	168
Fifth week (30%)	654	210	505	210	592	210	525	210
Sixth week (none)	700	0	699	0	840	0	838	0
Seventh week (none)	700	0	698	0	838	0	840	0
Eighth week (none)	700	0	700	0	840	0	840	0

* Conc. : combined concentrates. D.S.F. : dried silkworm feces.

Table 7 Amounts of feed carotenoids given each week. (mg)

Bird		Bird A (White Leghorn)			Bird B (White Leghorn)			Bird C (Nagoya)			Bird D (Nagoya)		
Experimental periods	Feeds Carotenoids	Conc.*	D.S.F.*	Total	Conc.	D.S.F.	Total	Conc.	D.S.F.	Total	Conc.	D.S.F.	Total
1st week (none)	X*	7.231	0	7.231	7.231	0	7.231	8.146	0	8.146	7.625	0	7.625
	C*	0.326	0	0.326	0.326	0	0.326	0.368	0	0.368	0.344	0	0.344
2nd week (5%)	X	7.401	15.782	23.183	7.295	15.782	23.077	8.741	18.938	27.679	8.082	18.938	27.020
	C	0.334	5.648	5.982	0.329	5.648	5.977	0.395	6.778	7.173	0.365	6.778	7.143
3rd week (10%)	X	5.423	31.564	46.987	6.806	31.564	38.370	8.209	37.876	46.086	7.465	37.876	45.432
	C	0.245	11.297	11.542	0.307	11.297	11.604	0.371	13.556	13.927	0.337	13.556	13.893
4th week (20%)	X	5.987	63.127	69.114	6.359	63.127	69.486	6.561	75.753	82.314	6.380	75.753	82.133
	C	0.270	22.593	22.863	0.287	22.593	22.880	0.296	27.112	27.408	0.288	27.112	29.992
5th week (30%)	X	6.955	94.691	101.646	5.370	94.691	100.071	6.295	94.691	100.986	5.583	94.691	100.274
	C	0.314	33.890	34.204	0.242	33.890	34.132	0.284	33.890	34.174	0.252	33.890	34.142
6th week (none)	X	7.444	0	7.444	7.433	0	7.433	8.933	0	8.933	8.911	0	8.911
	C	0.336	0	0.336	0.336	0	0.336	0.403	0	0.403	0.403	0	0.403
7th week (none)	X	7.444	0	7.444	7.423	0	7.423	8.917	0	8.917	8.933	0	8.933
	C	0.336	0	0.336	0.336	0	0.336	0.402	0	0.402	0.403	0	0.403
8th week (none)	X	7.444	0	7.444	7.444	0	7.444	8.933	0	8.933	8.933	0	8.933
	C	0.336	0	0.336	0.336	0	0.336	0.403	0	0.403	0.403	0	0.403

* See tab. 3

ると、第7表の通りとなる、ただしこの表の β -Carotene 給与量には、Cryptoxanthin の給与量の半分が加算されている。これは次表に示す provitamin A 量と一致させるためである。

第7表に示された給与量と第4表にある卵黄中の含量から、卵に出る Carotenoids の率を計算することがで

きる。この場合、卵には β -Carotene (Cryptoxanthin を含む) から Vitamin A に転換した部分もあるので、計算はやや複雑になる。そこでまず Xanthophyll と β -Carotene とを別々に取り扱って計算することにしたその成績は第8表の通りである。

まず Xanthophyll の卵黄出現の状況から吟味してみ

Table 8 Comparison of xanthophylls and vitamin A potency between feeds given and eggs produced each week of experiment.

(A) Xanthophylls in feeds and eggs

Bird	Bird A (White Leghorn)		Bird B (White Leghorn)		Bird C (Nagoya)		Bird D (Nagoya)	
Xanthophylls	feeds	eggs	feeds	eggs	feeds	eggs	feeds	eggs
Experimental periods	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
First week (none)	7.231	—	7.231	2.994	8.146	4.834	7.625	4.676
Second week (5%)	23.183	2.002	23.077	1.736	27.679	2.749	27.020	1.862
Third week (10%)	46.987	3.686	38.370	3.984	46.086	2.715	45.342	3.845
Fourth week (20%)	69.114	2.040	69.487	3.776	82.314	6.063	82.133	4.448
Fifth week (30%)	101.646	3.425	100.071	0.826	100.986	3.992	100.274	4.282
Sixth week (none)	7.444	6.037	7.433	—	8.933	3.593	8.911	8.920
Seventh week (none)	7.444	2.421	7.423	8.541	8.917	1.189	8.333	1.562
Eighth week (none)	7.444	1.086	7.444	1.627	8.933	1.090	8.933	0.997

(B) Provitamin A in feeds given, and provitamin A and vitamin A in eggs produced

Bird	Bird A (White Leghorn)		Bird B (White Leghorn)		Bird C (Nagoya)		Bird C (Nagoya)	
Provitamin A in priods	feeds	eggs*	feeds	eggs*	feeds	eggs*	feeds	eggs*
Experimental periods	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
First week (none)	—	—	0.326	0.297 (1042)	0.368	0.465 (1050)	0.344	0.456 (1014)
Second week (5%)	5.982	0.251 (1053)	5.998	0.164 (632)	7.173	0.269 (745)	7.143	0.221 (605)
Third week (10%)	11.541	0.344 (941)	11.604	0.437 (596)	13.927	0.287 (848)	13.893	0.348 (705)
Fourth week (20%)	22.863	0.140 (272)	22.880	0.240 (558)	27.408	0.473 (814)	29.992	0.411 (807)
Fifth week (30%)	34.204	0.245 (393)	34.132	0.137 (137)	34.174	0.549 (587)	34.141	0.127 (532)
Sixth week (none)	0.336	0.371 (814)	0.336	no production	0.403	0.184 (550)	0.402	0.328 (1300)
Seventh week (none)	0.336	0.211 (856)	0.336	0.430 (1119)	0.402	0.173 (697)	0.403	0.182 (563)
Eighth week (none)	0.336	0.190 (815)	0.335	0.174 (664)	0.402	0.198 (784)	0.403	0.148 (522)

* Vitamin A contents in I.U. are showh in parentheses.

よう。蚕糞5%添加の影響は翌週の産卵に現われている。この場合 Xanthophyll の給与量は一週23~27mgであるが、卵に出る量は2.7~3.9mg で、給与量の10~17%となつてゐる。添加量を10%に増加すると Xanthophyll の給与量は一週38~47mg となるが、卵に出る量はその翌週に至つて2.0~6.1mg となり(ただし白レグの1羽の例外を除く)給与量の4~14%に相当する。添加量を20%に増加すると、Xanthophyll の給与量は一週69~82mg となるが、このとき各羽とも下痢を起こし産卵率が低下し始め、その翌週には卵に出る Xanthophyll の量が減じて3.4~4.3mg になつた(ただし白レグの1羽の例外を除く。)が、これは給与量の4.9~5.2%に当る。添加量が30%となると、Xanthophyll の給与量は

一週100mg になるが、これが卵に出る量は、3.6~8.9mg となつて、これは給与量の3.6~9%である。この場合白レグの1羽は休卵し、翌々週になつて卵を産んだが、その場合、与えた100mg に対し8.5mg すなわち8.5%が卵に出ている。しかし蚕糞の給与中止により、大部分は翌週から、一部は翌々週から卵の Xanthophyll の量が減じてゐる。

次に β -Carotene の卵黄出現状況を吟味して見よう。蚕糞5%添加の影響は、各鶏とも翌週に現われている。この場合 β -Carotene の給与量は一週6~7mg となるが、翌週卵に出た量は2.9~4.4mg で、給与量の約4~5.8%に過ぎない。同じ5%添加の場合に卵に出る Xanthophyll 割合10~17%に比べると遙かに低い。添加

量を10%にすると、 β -Carotene の給与量は一週 11.5～14mgとなるが、翌週卵に出た量は、白レグで0.14～0.24 mg, 名古屋種で0.41～0.47mgであつた。これは給与量の1.2～3.4%である。添加量を20%にすると、 β -Carotene の給与量は一週23～30mgとなるが、翌週卵に出た量は0.13～0.55mg すなわち0.4～2%であつた。添加量を30%にすると、 β -Carotene の給与量は一週 34mgで、これが翌週卵に出る量は0.18～0.37 mgで、給与量の、0.5～1.3%に当る。いずれの場合も、 β -Carotene がそのまま卵黄に出現する率は Xanthophyll より常に低い。

次に、与えられた β -Carotene が卵の Vitamin A になつて転出する量も吟味する要がある。既に第3表に示すごとく、普通の飼料給与時には、卵黄中に出る Vitamin A の量は、 β -Carotene 相当価に換算すれば、実在する β -Crotene 量より常に多い。即ち卵黄 100g 中 β -Carotene が 0.16～0.27mg 存在するのに対して、Vitamin A は0.18～0.32mg であるが、 β -Carotene 相当価にすれば0.36～0.63mg である。即ち卵に出る Vitamin A は、 β -Carotene の約2倍を含有していることになる。しかるに既に述べたように、配合飼料に蚕糞を添加して β -Carotene の給与量を増加すると、卵黄の

β -Carotene 量は幾分増加する（しかし平常の2倍以上にはならない。）というが卵黄の Vitamin A には、ほとんど増加の徴が見られないのである。ただし名古屋種の一羽(D)だけは、蚕糞30%を添加したとき、翌週の Vitamin A 生成量が増加したが、これは例外であつたのである。従つて蚕糞の量を増加しても、卵黄の Vitamin A 量が増加しなければ、与えられた β -Carotene からの Vitamin A 転換率は低下することになる訳である。これらの関係を表にすれば、次の通りである。

蚕 糞 添加量	β -Carotene 給 与 量 (一週間)	卵黄の Vitamin A 生成量 (β -Caro- tene 相当価)	転換率
5 %	6～7mg	0.36～0.56mg	6.0～9.5
10	11.5～14	0.16～0.49	1.4～3.5
20	23～30	0.24～0.35	1.0～1.3
30	34	0.33～0.78	1.0～2.3

以上によつて、蚕糞添加量を増加しても、卵に出る Xanthophyll, β -Carotene, 及び Vitamin A の生産率は漸次低下するという事実が判明したのである。

以上の実験成績から、各 Carotenoids の給与量と卵黄に出現する割合を取りまとめてみると、第9表の通りとなる。

Table 9 Rate of transfer of carotenoids from silkworm feces to eggs (containing the rate of conversion of biologically effective carotenes of silkworm feces into vitamin A of eggs.)

Kind of carotenoids given	Amount of Carotenoid given to a bird for a week. (Addition of dried silkworm feces to feed. %)	Rate of transfer (or rate of conversion) to eggs (%)
Xanthophylls	23～27mg (5)	Xanthophylls 10～17 (Av. 14.3)
	38～47 (10)	" 4～14 (" 9.4)
	69～82 (20)	" 4.9～5.2 (" 5.0)
	100 (30)	" 3.6～8.9 (" 6.1)
Provitamin A (β -Carotene + $\frac{\text{Cryptoxanthin}}{2}$)	6～7 (5)	β -Carotene 4～5.8 (Av. 5.5)
	12～14 (10)	" 1.2～3.4 (" 2.6)
	23～30 (20)	" 0.4～2.0 (" 1.2)
	34 (30)	" 0.5～1.3 (" 1.0)
Provitamin A (β -Carotene + $\frac{\text{Cryptoxanthin}}{2}$)	6～7 (5)	Vitamin A 6.0～9.5 (Av. 7.1)*
	12～14 (10)	" 1.4～3.5 (" 2.9)*
	23～30 (20)	" 1～1.3 (" 1.1)*
	34 (30)	" 1～2.3 (" 1.7)*

* The Conversion rate was based on the calculation of vitamin A as original β -Carotene unit. (1 I. u. of vitamin A = 0.6 μ g β -Carotene = 0.3 μ g pure vitamin A.)

これによれば、Xanthophyll も Provitamin も一定量以上給与すると卵に出る率が漸減するが、両者を比較すれば、常に Xanthophyll の方が卵に出現する割合が多い。なお Provitamin から卵の Vitamin A に転化する割合は Provitamin のままで卵に出る割合より常に高い。即ち Provitamin を Vitamin A に転化する鶏の性能は根強いものがあるようである。

参考として、蚕糞給与の増減によつて卵黄の色が変化する状態を観察した。その結果は従来の報告と大差なく給与後3日目位の産卵から黄色度を増加してオレンジ色

となる。すなわち色の変化は給与を始めたその週から認められが、顕著となるのは翌週である。また給与を中止した場合も、卵黄の色は3日目位から減じ始める（表面は減じ内部はまだ黄色を保つ）顕著な減色は翌週となる。従つて変化を起こした週の翌週の卵を平均して調べるのが正確である。しかし休卵した場合は、Carotenoid 給与の2週間後に初めて影響を表すことがあり得る。この関係は別表で示す通りである。

VII 考 察

Fig. 1 Color Change of Egg Yolk during Experimental Periods

Breed and Bird	period of experiment	White Leghorn			Nagoya		
		Bird A		Bird B	Bird C		Bird D
Exp. weeks		Fy*	Fy	Fy	Fy	Fy	Fy
First week (Silkworm faeces 0%)	Jan. 31th—Feb. 7th	2.1	2.3	1.31	2.1	1.31	2.6
Second week (5%)	Feb. 8th—Feb. 13th	Fy	Fy	Fy	Fy	Fy	Y
Third week (10%)	Feb. 14th—Feb. 20th	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.12
Fourth week (20%)	Feb. 21st—Feb. 27th	Y	Y	Y	Y	Y	O
Fifth week (30%)	Feb. 28th—Mar. 6th	2.14	2.17	2.14	2.15	2.16	2.20
Sixth week (0%)	Mar. 7th—Mar. 13th	O	O	O	O	O	O
Seventh week (0%)	Mar. 14th—Mar. 20th	2.22	2.27	2.24	2.21	2.22	2.26
Eighth week (0%)	Mar. 21st—Mar. 27th	R ₀	R ₀	R ₀	R ₀	R ₀	R ₀
Ninth week (0%)	Mar. 28th—Apr. 2nd	3.1	3.3	3.1	3.2	3.7	3.1
* Faint yellow		R ₀	O	no production	R ₀	R ₀	O
		3.7	3.9		3.9	3.9	3.13
		3.14	3.16	R ₀	3.15	3.15	Y
		Fy	Fy	O	Fy	Fy	3.18
		3.21	3.24	3.23	3.21	3.21	Fy
		Fy	Fy	Fy	Fy	Fy	3.25
		3.28	3.29	3.31	3.28	3.28	Fy
		4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.2

Number shown under egg color indication means the date of egg production.
e.g. 2.1 means February First.

蚕糞の添加は卵の色を濃くする上に極めて有効なものであるが、これは蚕糞中の Xanthophyll が極めて鋭敏に卵に排出させられるからである。蚕糞を5%添加すればその中の Xanthophyll は10~17%卵黄に排出される。もし蚕糞の添加量を5%よりも多くすると、Xanthophyll の卵黄出現率は次第に低下し、遂に6%程度しか卵黄に出現しないようになる。実用的に見て、卵の色付け用の目的に対しては、蚕糞の添加は5%でも多すぎるように考えられ、2~3%で充分である。

しかし蚕糞中には Xanthophyll 以外に Provitamin A を含有しているので、この物質が卵の Vitamin A potency を増す意味をもっている。そこで蚕糞を5%以上添加した場合の影響を調べたところ、第3表に示すごとく、卵黄の Provitamin 含量の増加は顕著でなく、さらに卵黄の Vitamin A 含量に至つては、ほとんど増卵する見込がないことが判つた。即ち蚕糞の β -Carotene 又は Provitamin が卵に出現する率は、蚕糞多給によつて減少し、この減少する率は、Xanthophyll の減少する率よりさらに高いものがあつた。それに加えて蚕糞の多給は下痢を伴い、産卵率を減少するので、色々な点で損となることが明瞭となつた。

もつとも蚕糞の給与を中止すると下痢は止まり、産卵は元に戻るが、卵の色は急激に淡くなる（他に緑餌を与えぬ場合）。しかしこの場合、卵黄において Xanthophyll と β -Carotene 量は減つても、Vitamin A 量が急に減少することはない。即ち鶏は体内で Vitamin A 生成の強い性能をもっていることを知つたのである。

なお蚕糞多給の成績と先に報告した緑餌多給の成績とを比較したところ、よく似た事実が発見された。即ち緑餌多給の場合は Xanthophyll の卵黄出現率は2.3~5.3%で、能率は良い方でなかつたが、Provitamin の卵黄出現率は2.2~6.1%で、Xanthophyll と大差がなかつた。これは Provitamin の給与絶対量が Xanthophyll に比して少なかつたことが一つの原因と考えられる。蚕糞の場合は、これを緑餌多給の場合と同じ Xanthophyll 量にすると（Xanthophyll 一週140~196mg、一日20~28mg）、蚕糞30%以上添加区に相当するので、Xanthophyll の卵黄出現率が低くなるのは当然である。この場合 Xanthophyll 出現率は両者良く似ている。

次に β -Carotene 給与量を緑餌多給の場合と同じ量にすると（ β -Carotene 一週14mg、一日2.1mg）蚕糞10%添加区に相当する。この場合蚕糞の Provitamin の卵黄出現率は1.2~3.4%附近で、緑餌の場合の2.2~6.1%であつた。この場合も両者大体良く似ていて、差といえば、蚕糞より緑餌の方が β -Carotene の卵黄出現率が少し良い程度である。これは緑餌と蚕糞との間の成分や性

質（下痢傾向）の差異によるものであろう。

次に β -Carotene から卵黄 Vitamin A に転化する割合は、蚕糞の場合が1.4~3.5%で、緑餌多給の場合が1.6~5.4%で、蚕糞の方が少し低いが、大体良く一致した。即ち、Xanthophyll と Carotene も給与絶対量が同じである場合は、卵黄における出現率がほぼ一致する結果を得たのは興味深いことである。

一般に Carotenoid の吸収については、その飼料中に含まれる Vitamin C, Vitamin E, Cholin の含量や脂肪差、蛋白質差並びに Carotenoid の物理状態（油溶又は水溶）などの影響があるといわれている。なお最近 β -Carotene の吸収と Xanthophyll との競合問題もある。この問題についても、緑餌と蚕糞の差異が考えられるがこれはさらに研究して見たいと思う。しかし本報告では偶然前報告と同じ結果を得たのは、Carotenoid の絶対量の問題ばかりでなく、吸収に対する他の副条件も一致したためと考えられる。目下我々は蚕糞や緑餌の β -Carotene 給与と別個に純粋 β -Carotene を給与して卵に出現する割合を研究しているが、この場合の成績は自然物給与の場合と著しく違つた方向に進んでいる。この結果は後に報告することとする。

VIII 摘 要

1. 鶏の餌に蚕糞を添加すれば、従来の報告にあるごとく3日目ごろより卵黄の色が濃くなり始め、翌週の産卵には顕著に Carotenoid 色素が増加する。この場合卵黄の Carotenoid 色素中特に Xanthophyll 含量が最も鋭敏に増加し、次いで β -Carotene が増加を示し、Vitamin A の増加は最も微量であつた。

2. 卵黄の Carotenoid 及び Vitamin A 含量の変化は、鶏に与える蚕糞の量によつて非常に違つた結果を示している。蚕糞5%添加のときは卵黄100g中の Xanthophyll 量が2倍となつた。蚕糞の添加量を増して30%としても、卵黄の Xanthophyll の増加は3~3.5倍で止まつた。卵黄の β -Carotene の含量は、蚕糞5%添加のとき約50%増加したが、蚕糞をこれ以上増しても2倍に達する程度であつた。卵黄の Vitamin A 含量は、蚕糞5%添加のときにはほとんど変化を示さず、これ以上添加しても、わずかに一羽で20%増加した程度であつた。

3. 蚕糞の給与を中止すれば、3日目ごろの産卵から

卵黄の色を減じ、翌週の産卵には Xanthophyll 含量が急激に減ずる。 β -Carotene 含量も翌週は減少する。しかし卵黄の Vitamin A 含量にはほとんど変化なく、Provitamin の給源を絶つても、まだ3週間は Vitamin A 含量減少の傾向を示さなかつた。

4. 飼料をして与えた Carotenoids の卵に出現する率は、給与量に比例して漸減の傾向を表わした。Xanthophyll を一週25mg（一日3.6mg）与えたときは約10~17%卵に出るが、これ以上与えれば出現率は低下し、一週100mg（一日14mg）与えても3.6~8.9%しか卵に出ない。Provitamin の方は、これを一週6.5mg（一日0.9mg）与えたときは約6%卵に出るが、これ以上与えれば出現率は同様に低下し、一週34mg（一日5mg）与えたときはわずか0.5~1.3%しか卵に出ない。Provitamin は、また Vitamin A に転化する率においても同じような傾向を示し給与量が一週6.5mg（一日0.9mg）のときの転化率は6.5~9.5%であり、これが一週34mg（一日5mg）に増すと、その率はわずか1~2.3%となつた。以上のごとき卵黄出現率の成績は、先に報告した緑餌多給の場合と全く一致した。

5. 蚕糞は下痢を起こさせる性質があり、飼料に5%添加すれば、下痢の外に食欲が減退し、その結果産卵率が低下する傾向がある。そのため Vitamin A 生成能力も低下する。ただし蚕糞の給与を中止すれば直ちに常態に還る。蚕糞5%以上を給与することは、養鶏上有利ではない。色付けの目的なら2~3%で充分である。

（鶏の産卵栄養に関する基礎研究第6回）

（1956.4.2受付）

文 献

1. 斎藤道雄, 山田英世 本誌 (1956)
2. 末永孝主 蚕業試験場彙報第59号 (1941):
3. 藤田秋次 ビタミンの化学的定量法 (1948)
4. BICKOFF, E. M., LIVINGSTON, A. L., BAILEY, G. F. & THOMPSON, C. R. J. Agric. Food Chem., 2: 563, (1954)
5. STRAIN, H. H. J. Amer. Chem. Soc., 70: 1672, (1948)
6. MOSTER, J. B., QUACKENBUSH, F. W. & PORTER, J. W. Arch. Biochem., 38: 287, (1952)

Résumé

As silkworm feces contain a large quantity of carotenoid pigments, they can be used in poultry feeding as a pigmentation agent for egg yolk and also as an effective source of vitamin A for eggs.

A study was conducted to know in what degree the carotenoid pigments of silkworm feces can be utilized for egg production and how much vitamin A will be formed in eggs from these pigments. Two

breeds of laying hens were used in this experiment, that is, White Leghorn and Nagoya. Both breeds showed the average rate of egg production of 70 percent. The results are summarized as follows.

1. When silkworm feces were given to laying hens, in addition to the ordinary concentrates in which yellow corn was replaced by white corn, the egg color began to increase on the third day after dosage and this color change was completed in the following week. Examination of the egg yolk thus changed indicated a marked, less conspicuous and little increase in the amounts of xanthophyll, β -carotene and vitamin A, respectively.

2. The degree of change in the color of egg yolk depends on the dose of silkworm feces. The addition of 5 percent of silkworm feces to the poultry feed doubled the original xanthophyll content of the egg yolk, but that of more than 5 percent of silkworm feces resulted in showing the law of diminishing return. As for the influence on the β -carotene content of the egg yolk, the 5 percent addition of silkworm feces to the feed caused a smaller (only 50%) increase in this carotenoid of the egg than an increase in xanthophyll. An additional dosage of more than 5 percent of silkworm feces resulted in the similar tendency of the law of diminishing return in the β -carotene content of the egg, as shown in the xanthophyll content. On the other hand, the 5 percent addition of silkworm feces to the feed showed almost no response in the vitamin A content of the egg yolk. Even in the case of a

30 percent addition of silkworm feces to the feed caused almost no change in the vitamin A content of the egg yolk in all the four experimental birds except one which showed only 20 percent increase of the vitamin A content of the egg yolk in this case.

3. Sudden stop of dosage of silkworm feces was followed by the decrease in the xanthophyll content of the egg which started on the third day after the stoppage and which continued for the next week. The β -carotene content of the egg also decreased in the same way, but rather to a smaller extent than did the xanthophyll content. On the contrary, the vitamin A content of the egg yolk did not show any decrease for three weeks after the cessation of carotene supply.

4. The rate of transfer of carotenoids from silkworm feces to the egg was calculated as well as the rate of conversion of biologically effective carotenes of silkworm feces into vitamin A of the egg. The data are indicated in table 9.

5. Although silkworm feces are an excellent feed supplying carotenoid pigment for poultry, as shown in the above experiment, the use of this stuff in more than 5 percent of poultry feed is not profitable for laying purposes, because the silkworm feces contain an unknown substance which causes diarrhea in birds in the case of excess dosage and induce the reduction of egg production and vitamin A formation. For the purpose of pigmentation, an addition of 1 to 3 percent of this stuff to poultry feed is recommendable.