

平成29年度農畜産振興事業機構受託研究成果報告書

飼料米給与採卵鶏へのホヤ殻の飼料添加給与による卵黄色改善効果の検討

東北大学大学院農学研究科家畜生産機能開発学寄附講座
鈴木 啓一

要 約

産業廃棄物として廃棄処理されているホヤ殻の乾燥粉末を飼料米給与採卵鶏に添加給与による卵黄色の改善効果を検討した。アスタキサンチンを含むホヤ殻 A 区とプラズマローゲン抽出後のアスタキサンチンを含まないホヤ殻 B 区にそれぞれ 18 羽ずつ割り当て、飼料米を 60%含む飼料に 3% (A 区) と 4% (B 区) のホヤ殻を添加して給与した。アスタキサンチンを含むホヤ殻の給与により卵黄色の改善と腸内菌叢の乳酸菌などが増加する効果が得られ、未利用資源としての有効性が確認できた。

はじめに

宮城県は海産動物のホヤ (*Halocynthia roretzi*) の養殖水揚げ量が 8,663t (平成 22 年度) と全国の約 8 割を占めていた。2011 年の東日本震災による施設被害のためホヤの養殖生産量は激減したが、近年は 10,000t を超えるまで回復してきている。しかしながら、震災前は隣国の韓国への輸出量が生産量の約 6 割程度を占めていたが、放射線の風評により韓国への輸出は中止されたため、一部は焼却処分されている。また、一般に販売されているホヤはその外囊 (殻) は産業廃棄物として処理されている。石巻管内でホヤの中間卸業を営んでいる約 10 の会社ではホヤ殻を裁断した後、産業廃棄物処理業者に依頼し最終的には堆肥として処理されていると聞く。このための費用は年間数千万円であり、宮城県内全体ではさらに多くの処理費用が投資されているのが現状である。

我が国では食料自給率・食料自給力維持向上を図るため、飼料用米等の戦略作物の生産拡大が推進され飼料用米の生産が増加してきている。すでに牛、豚、鶏

の飼料として利用されてきており、玄米は輸入トウモロコシと同等の栄養価を持ち、トウモロコシと比較し牛肉、豚肉では筋肉中の脂肪酸のオレイン酸の割合を高める効果なども実証されている¹⁾。しかし、採卵鶏へ給与した場合、トウモロコシ主体の飼料と比べ卵黄色が淡くなる。そのため改善策としてパプリカ抽出液などが飼料に添加給与されている。

ホヤ殻は、動物性粗繊維、タンパク質がそれぞれ約 30%、37%と多く、また、ヨウ素 (115mg/100g) やカロテノイドが含まれている (鈴木ら、未発表)。本研究では、ホヤ殻の乾燥粉末を飼料米主体の採卵鶏の飼料に添加給与することで、成分として含まれているカロテノイドやヨウ素などによる卵黄色の改善効果を検証することを目的とした。これまで産業廃棄物として処分されていたホヤ殻を採卵鶏に添加給与することで採卵鶏の卵黄色の改善が可能となれば、震災復興を目指す宮城県ホヤ生産者と販売業者に対する支援となること、食糧自給率を目指す養鶏生産者にとっては飼料米給与による卵黄色の改善効果が期待されるなど研究成果の社会的な貢献は大きいと考える。

材料と方法

本試験は東京農業大学の動物実験に関する規定に基づき東京農業大学厚木キャンパスの東京農業大学農学部畜産学科中小家畜舎で行った。また、使用した採卵鶏は、コマーシャルレイヤーであるボリスブラウンであり、124 日齢で 36 羽導入し、試験区と対照区にそれぞれ 18 羽ずつ振り分けた。126 日齢から予備飼育を行い、223 日齢からホヤ殻飼料を給与し、252 日齢までの 30 日間採卵した。

本試験では、ホヤ殻に含まれる成分の何が卵黄色を改善するのかを明らかにするため、予めホヤ殻に含まれる成分を調査した。ところでホヤには人の認知症の予防・改善効果があると考えられているプラズマローゲンが含まれており²⁾、ホヤからプラズマローゲンを抽出した残渣物が出る。そこで、プラズマローゲン抽出後のホヤ殻も入手し、卵黄改善効果があるかどうかを確認する必要がある。そのため、化学成分の分析と同時に、卵黄色改善効果が期待される物質であるカロテノイド成分も分析した。プラズマローゲンを抽出したホヤ殻 B と未抽出のホヤ殻 A を乾燥粉砕したものを図 1 に示した。ホヤ殻 A、B は、いずれも宮城県内の加工業者から集めた物を裁断して天日乾燥した後、5mm 程度の大きさに切断したものである。プラズマローゲンを抽出したホヤ殻 B は未抽出のホヤ殻 A と比べ外観に赤色が認められなかった。化学成分の分析の結果、プラズマローゲン抽出後のホヤ殻 B と比較し、未抽出ホヤ殻 A には、総キサントフィル、アスタキサンチンがそれぞれ 71.50mg/100、10.1mg/100g 含まれており、プラズマローゲン抽出後のホヤ殻 B の 2.86mg/100、0.09mg/100 よりかなり多く含まれている

ことが明らかとなった（表 1）。

表 1. ホヤ殻の化学成分キサントフィル、アスタキサンチン含量

項目		ホヤ殻	ホヤ殻
		A	B
水分	%	6.80	19.30
粗タンパク質	%	38.30	31.40
粗脂肪	%	0.80	0.10
粗繊維	%	30.70	13.60
粗灰分	%	16.70	27.70
ナトリウム	%	1.74	7.72
塩分 (NaCl) として	%	4.42	19.60
リン	%	0.10	0.18
鉄	mg/100g	793	125
カルシウム	%	3.70	1.28
マグネシウム	%	0.44	0.53
銅	mg/kg	13.60	13.40
亜鉛	mg/100g	9.10	21.00
マンガン	mg/100g	7.22	7.63
総キサントフィル	mg/100g	71.50	2.86
アスタキサンチン	mg/100g	10.10	0.09

ホヤ殻A: 天日乾燥、粉砕

ホヤ殻B: プラズマローゲン抽出後、乾燥粉砕

そこで、本試験では、プラズマローゲン未抽出のホヤ殻 A と抽出後のホヤ殻 B をそれぞれ飼料添加給与し、これらの成分以外の何らかの物質が卵黄色改善の効果があるかどうかを確認することとした。なお、ホヤ殻の化学成分、総キサントフィル、アスタキサンチン濃度の分析は一般財団法人日本食品分析センターに依頼した。

ホヤ殻 A 添加区とホヤ殻 B 添加区には主原料としてモミ米を 60% とし、大豆粕の配合も同じ割合とした。ホヤ殻 A 添加区とホヤ殻 B 添加区にはそれぞれ 3%、4% のホヤ殻粉末を添加給与した。給与した飼料成分を表 2 に示した。

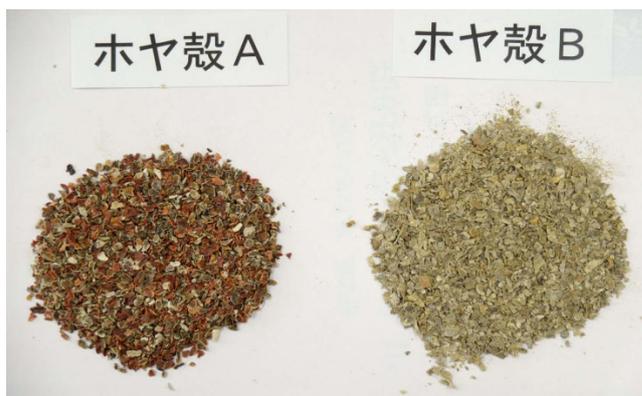


図1 ホヤ殻 A、ホヤ殻 B

ホヤ殻 Aは乾燥粉碎したもの、ホヤ殻 Bはプラズマローゲン抽出後乾燥粉碎したものの

表2. ホヤ殻 A、B 区の飼料構成

名 称	配合割合 %	
	ホヤ殻 A	ホヤ殻 B
モミ米	60.00	60.00
生コメヌカ	1.00	0.00
大豆カス	16.24	16.24
ナタネカス	2.00	2.00
グルテンミール	2.50	2.50
魚粉(CP65)	1.00	1.00
ホヤ殻粉末	3.00	4.00
L-リジン	0.03	0.03
DL-メチオニン	0.06	0.06
飼料用油脂	3.80	3.80
炭カル(粉)	3.10	3.10
炭カル(粒)	6.20	6.20
食塩	0.28	0.28
リンカル	0.65	0.65
塩化コリン	0.02	0.02
プレミックス	0.12	0.12
計	100	100

30 日の試験期間の産卵成績（卵重、日平均産卵個数、平均産卵数）と、産卵した卵質の判定は NABEL 社の卵質測定装置 DET6000 により判定した。卵黄色に

については、卵黄色を 15 段階に分けた色として設定されている「ロッシュヨークカラーファン」(図 2) が一般的に用いられており、これを用いて判定した。また、卵黄に含まれるヨード、アスタキサンチン濃度の測定は一般財団法人日本食品分析センターに分析を依頼した。



図 2. ロッシュヨークカラーファン

試験の最終段階で採糞し、糞の菌叢解析を行った。菌叢の解析は、以下の方法により行った。T-RFLP 法により糞便からゲノム DNA を抽出し、制限酵素 (MSPI) で切断し、それぞれ 3130 型 DNA シークエンサーによって泳動して切断したフラグメントを分離し、その後、フラグメント解析して図にまとめた。特定の制限酵素で切って、もし菌特異的な配列を持てば、そのサイトで切れるので独特のフラグメントピークパターン (OTU) が検出できる。総ピーク面積を 100 として、各ピーク面積の割合を示した。

結 果

1. 産卵成績

試験期間の産卵成績を表 3 に示した。飼料給与量は両区で差が認められなかった。一個当たりの卵重も差が認められなかったが、一日当たりの卵重量、卵個数はホヤ殻 A 区がホヤ殻 B 区より有意に高い値を示した。

表 3. ホヤ殻給与試験産卵成績

		試験区				有意性
		ホヤ殻A		ホヤ殻B		
飼料給与量	g/日	2383.3	522.6	2270.6	486.3	ns
卵重量	g	1050.5	212.6	902.2	190.6	**
個数	個	17.6	3.4	15.2	3.2	**
卵重/個	g	59.5	2.5	59.3	2.4	ns

Ns : 有意差なし ** : 1 水準で有意さ有り

表 4 にはホヤ殻 A 区と B 区の卵質の成績を示した。卵重、卵白高、ハウユニット (HU)、卵殻強度、卵殻厚について区間差は認められなかった。しかし、卵黄色については、ホヤ殻 A 区が B 区より有意に高い値を示した。

表 4. ホヤ殻給与試験卵質成績

形質	単位	試験区				統計的 有意性
		ホヤ殻 A		ホヤ殻 B		
卵重	G	60.40	4.96	62.46	3.80	ns
卵白高	mm	8.59	0.98	8.58	0.85	ns
卵黄色		12.29	1.11	2.74	0.55	***
HU		92.42	4.56	91.89	4.21	ns
卵殻強度	kg	4.09	1.12	4.47	0.35	ns
卵殻厚	mm	0.36	0.02	0.35	0.02	ns

HU : ハウユニット ns : 有意差無し *** 0.1 レベルで有意差あり

両区の卵を図 3 に示した。ホヤ殻 B 区と比べ明らかに卵黄色が改善されていることがわかる。

図 3. ホヤ殻 A、ホヤ殻 B 添加給与の卵



ホヤ殻 A は乾燥粉碎したもの、ホヤ殻 B はプラズマローゲン抽出後乾燥粉碎したもの

表 5 には、卵黄 5 個分のヨウ素とアスタキサンチン含量を示した。ヨウ素については、ホヤ殻 A 区の $128 \mu\text{g}/100\text{g}$ が B 区の $91 \mu\text{g}/100\text{g}$ より高い値を示したが、反復した測定をしていないため統計的有意差は明らかでない。また、アスタキサンチン含量はホヤ殻 B 区では検出されず、ホヤ殻 A 区では $0.4\sim 0.5\text{mg}/100$

含まれ、ホヤ殻 B 区では検出しなかったことから、ホヤ殻のアスタキサンチンが卵黄色の改善に寄与していることが示唆された。

表 5. ホヤ殻給与試験卵黄に含まれるヨウ素、アスタキサンチン含量

		ホヤ殻 A-1	ホヤ殻 A-2	ホヤ殻 B-1	ホヤ殻 B-2
ヨウ素	μg/100g	128	—	91	—
アスタキサンチン	mg/100g	0.04	0.05	検出せず	検出せず

2. 糞菌叢の比較

ホヤ殻 A 区と B 区から採材した 3 羽ずつの糞をまとめて菌叢を解析した結果を図 4 に示した。この図からホヤ殻 A 区とホヤ殻 B 区の菌叢が明らかに異なることがわかる。図は下の部分ほど割合の高い菌の属を示してある。特に、B 区は、*Ignatzschineria*、*Ruminococcus*、などが A 区と比べ割合が高いこと、割合は低いが多く存在している、ホヤ殻 A 区では、*Lactobacillus*、*Erysipelothrix*、*Enterococcus*、*Aeriscardovia*、*Bigifonsvyrthium* などが B 区と比べ割合が増えており、菌の種類が減少していることが明らかとなった。

考 察

本研究では、ホヤ殻のキサントフィル量とアスタキサンチンのみしか測定しなかったが、一般のホヤ殻 A には、プラズマローゲンを抽出した後のホヤ殻 B と比べ、25 倍と 112 倍のキサントフィルとアスカキサンチンが含まれていることが確認できた。そして、ホヤ殻 A を給与した採卵鶏の卵黄部分にはアスタキサンチンが含まれているが、ホヤ殻 B ではほとんど検出できなかったことから、ホヤ殻 A のアスタキサンチンが卵黄部分に移行したことが確認できた。

従って、ホヤ殻を給与することで、飼料米給与により淡い卵黄色が改善された原因はホヤ殻に含まれるキサントフィル類のアスタキサンチンの効果と思われる。ホヤ殻の総キサントフィル量は 71.5mg/100g、アスタキサンチンは 10.1mg/100g だった (表 1)。カンタキサンチン、フコキサンチンなども卵黄色を改善したことも考えられるが分析は出来なかった。卵黄の黄色化の原因をアスタキサンチンによると考えると、飼料へのホヤ殻添加量は 3%、一日約 130g 程度の摂取量だったので、摂取したホヤ殻 A は一日当たり約 4g であり摂取アスタキサンチン量は 0.4mg/日となる。ホヤ殻を摂取した鶏の卵黄中のアスタキサンチン量は 0.05mg/100g 程度 (表 5) だったので卵黄への移行率は 12.5%となる。岡田³⁾はアスタキサンチンで卵黄色の色揚げを行う場合の飼料中濃度は、飼料の主原料であるトウモロコシに由来するキサントフィル次第だが、2~6ppm(0.2~

0.6mg/100g)程度でRCF=12~14の卵黄が得られ、卵黄への移行率をおおむね15%程度であるとしている。本試験の結果では12.5%の移行率だが、この程度で卵黄色の改善を果たすことが出来ることが明らかとなった。なお、アスタキサンチン以外のキサントフィル成分として含まれると予想されるカンタキサンチン、フコキサンチンによる卵黄色改善効果も期待できると思われるが、今後の課題である。

ホヤ殻 A を給与した採卵鶏の卵黄にはアスタキサンチンが含まれており、鶏卵自体の抗酸化機能と同時に、アスタキサンチン入り鶏卵をヒトが食することで卵に移行したアスタキサンチンを摂取することができるので鶏卵の販売価値を高く設定できることが期待できる。なお、ホヤの中身成分の分析も行ったが、アスタキサンチン濃度は0.39mg/100gであり、殻に含まれる含量(10.10mg/100g)の4%程度と少ないことがわかり、ホヤの中身を摂取することでヒトがアスタキサンチンを摂取することは期待できないことも明らかとなった。

本試験では、数羽の糞を採材して菌叢解析を行った結果、アスタキサンチンを含むホヤ殻 A を添加した場合、糞中の *Lactobacillus*、*Erysipelothrix*、*Enterococcus*、*Aeriscardovia*、*Bigifonsvyrantium* などの割合が増えると同時に、菌の種類が減少した。例数が少なく再現性を確認する必要があるが、ホヤ殻を飼料添加することで明らかに腸内の菌叢を変えることが可能であることが示唆された。これらの菌の増加が鶏の生体内でどのような影響をもたらしているのかについては、さらに例数を増やすと同時に、今後、菌叢の変化に伴う免疫能や血中、臓器の抗酸化機能などを確認することでホヤ殻のさらなる機能を確認する必要がある。

以上の結果から、従来産業廃棄物として有料で廃棄処理されていたホヤ殻にアスタキサンチンが含まれ、これが飼料米給与採卵鶏の卵黄色を改善する効果のあること、腸内菌叢の乳酸菌割合を増加させるなどの効果のあることが明らかとなった。現在、飼料米給与の採卵鶏への卵黄色改善のため赤いパプリカから抽出した物を飼料に添加しているといわれている。赤パプリカにもキサントフィル類が含まれており、これにより卵黄色の改善がもたらされていると考えられるが、産業廃棄物として有料で処理されている未利用資源としてのホヤ殻を有効利用することで卵黄色の改善されることが明らかとなった。ホヤ殻を飼料添加物として周年で利用するためには、含水率が85%もあるホヤ殻を乾燥粉砕して貯蔵する必要がある。養殖生産量の1万tから発生するホヤ殻が1000tだと想定すると、乾物量は100t程度となる。事業化のためには、乾燥粉砕のためのコストとホヤ殻販売金額とのバランスが重要となるため、乾燥などが可能な既存の施設を利用した方法が検討されるべきと思われる。

参考文献

- 1) 農林水産省ホームページ、飼料米の利用・需要拡大に向けた取り組み事例
(平成 28 年 4 月、
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-47.pdf
- 2) Shinji Yamashita・Susumu Kanno・Ayako Honjo・Yurika Otoki・Kiyotaka Nakagawa・Mikio Kinoshita・Teruo Miyazawa、Analysis of Plasmalogen Species in Foodstuffs、Lipids (2016) 51:199-210 DOI 10.1007/s11745-015-4112-y.
- 3) 岡田 徹、第 3 章アスタキサンチンの効果、3.8 畜水産分野での利用、p107-117、矢澤一良編著、アスタキサンチンの科学、成山堂書店、平成 21 年.

謝 辞

本試験の飼養試験は東京農業大学畜産学科教授信岡誠治博士、糞の菌叢解析は宮城大学食産業学部教授須田義人博士の協力により行われた。両教授に深甚の謝意を表す。また、ホヤ殻の乾燥粉碎について協力いただいた有限会社クリーン北上、ナーリン株式会社に謝意を表す。