

特殊卵の開発の現状と問題点

奥村 純市

名古屋大学大学院生命農学研究科

はじめに

卵は本来鶏が子孫を残すために生むものであり、鶏の体をつくるのに必要な成分はそっくり卵の中に含まれているので、卵の成分含量は比較的一定の範囲内にある。しかし、「飼料の成分内容を特異的に変えたり、ある種の抗原を与えたり、飼育環境を変えたりなどした鶏の生む卵」は、その成分含量や食品機能性などの点で通常の卵と異なるので、「特殊卵」と呼ばれて一般卵と区別して差別化卵として取り扱われている。飼料の成分内容のうち、ビタミンまたはミネラルを特異的に変えて、卵に含まれている対応成分がどのくらい変動するかを表1に掲げた。

卵の品質、なかでも卵の物理的性質の変化および、卵に含まれる化合物や卵の栄養価の修飾・変化が主題となっており、卵を「nutraceuticals」（薬用食物）として「特殊卵」を用いる方法が話題であり、これらは今後開発が進むであろう。

現在日本でどの程度の特殊卵が鶏卵市場を構成しているかを示したのが図1である。テーブルエッグ130万トンのうち、30万トンがいわゆる付加価値卵として販売されている。

卵の栄養価と現代サイエンス

鶏卵が孵化すると鶏になることから分かるように、鶏の体をつくるのに必要な成分はそっくり卵の中に含まれており、栄養的にはオールマイティーに近い。どのくらいオールマイティーかを、1日2個普通の卵を食べたら、ヒトの栄養素必要量をどれだけ満たせるかで示したのが表2である。必須アミノ酸のバランスが良く、タンパク質の栄養価は高い。そのタンパク質が1日2個普通の卵を食べたら20%満たされる。脂質、ビタミン、ミネラルなども豊富である。ヒトに不足しがちな鉄が20%、ビタミンAが25%、ビタミンDが20%、ビタミンB₂（リボフラビン）が30%も卵2個食べることにより満たされる。これらのうち、脂質およびビタミンとミネラル

の一部は、それらの飼料成分の内容または含量を変えることにより変動させることが可能（表1参照）であり、この性質を利用した「特殊卵」が作られる。

卵殻色による栄養価の違いについては、一般消費者は褐色卵の方が白色卵より栄養価があるのではないかという感覚が、日本のみでなく世界的であるようであるが、褐色卵と白色卵に含まれる栄養素、化合物などの物質で科学的に差があるものはまだ見つかっていないのが現状である。

有精卵と無精卵の栄養価についての消費者の評価も、有精卵が無精卵より栄養価が高いと一部で思われているが、有精卵と無精卵に含まれる物質で化学的に差があるものはまだ見つかっていない。しかし有精卵だけから生命が誕生するのは事実であり、科学が進めば何かの物質が見つかる可能性はあるのかも知れない。蛇は、青大将でも有精卵と無精卵を区別することができ、両者の卵が選択出来れば必ず有精卵を食べる。これは蛇は熱を感受する器官があるので、有精卵が発する熱を蛇が感受するためであろう。

卵黄色をビタミンAの色であると思っている方もあるが、ビタミンAは無色である。卵黄色はビタミンA前駆体のカロチンやキサントフィル類の色素の色である。

特殊卵と成分移行のメカニズム

特殊卵と成分移行のメカニズムは、無機成分の移行は無機栄養素の吸収・輸送のメカニズムを通して、脂溶性成分の移行はリポタンパク質の吸収・輸送のメカニズムを通して行われ、卵黄由来免疫グロブリン、IgY、は抗原抗体反応で作成されて血中から卵黄に選択的に移行するが、その機構については不明である。

機能性食品としての卵

機能性食品は、従来から注目されている食品の栄養素供給の機能（第一次機能）、美味しいという嗜好面で生体の感覚に訴える機能（第二次機能）のほかに、第三次機能として、“日常の食生活の中で摂取することにより病

表 1. ビタミン, ミネラル含量を変えることによるデザイナーエッグ作成の根拠
産卵鶏飼料により鶏卵 (60 g) に含まれるビタミン, ミネラルの変動幅

ビタミン	含有量	ミネラル	含有量
ビタミン A (I.U.)	0.5~416	カルシウム (mg)	32
ビタミン D (I.U.)	5.0~880	リン (mg)	118
ビタミン E (μg)	297~1,400	マグネシウム (mg)	30
ビタミン K (μg)	44~300	ナトリウム (mg)	70
チアミン (μg)	38~340	カリウム (mg)	76
リボフラビン (μg)	76~300	塩素 (mg)	70
ニコチン酸 (μg)	32~38	イオウ (mg)	98
パントテン酸 (μg)	464~810	鉄 (mg)	1.0~5.0
ビオチン (μg)	8.6~14.0	銅 (mg)	0.05~0.33
ビタミン B ₁₂ (μg)	130~730	ヨウ素 (mg)	0.004~0.01
葉酸 (μg)	4.2~4.4	マンガン (mg)	0.005~0.025
ピリドキシン (μg)	130~150	亜鉛 (mg)	0.7~1.0
コリン (μg)	238~300		

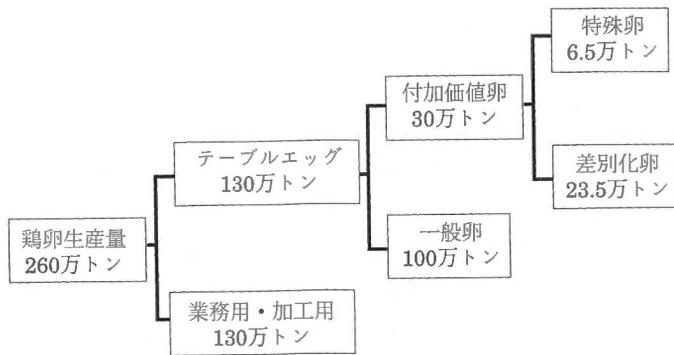


図 1. 日本の鶏卵消費の構成比

表 2. 卵 1 日 2 個食べるとヒトの栄養素必要量の
どれだけを満たせるか

栄養素	卵 1 日 2 個食べたときの 成人栄養素必要量充足率 (%)
タンパク質	20
エネルギー	8
カルシウム	10
リン	20
鉄	20
ビタミン A	25
ビタミン D	20
チアミン (B ₁)	10
リボフラビン (B ₂)	30
ナイアシン	15

気 (特に生活習慣病) のリスクを軽減させる食品”と定義された機能があり, 1984 年に“三次機能”と“機能性食品”が世界に先駆け日本で命名され, 現在では国際的にも広く認知されている。食品由来の免疫調節因子, ホルモン調節因子, 神経調節因子, 循環調節因子, 消化調節因子といった三次機能成分の生理学類型を体系規範とする“機能性食品科学”が誕生しており, 「特殊卵」も機能性食品としての役割が大きい。

デザイナーエッグ

飼料の成分内容を特異的に変えたり, ある種の抗原を与えたり, 環境を変えたりなどの変化を産卵鶏に与えると, その卵は, その成分含量や食品機能性などの点で通常の卵と異なるので, 「特殊卵」と呼ばれている。一方, 産卵鶏飼育者はその様な卵を前もって企画デザインして

生ませるので「デザイナーエッグ」とも呼ばれる。主なものには次のようなものがある。

ビタミンE強化卵

ビタミンEは細胞膜に広く分布し、細胞膜の構成成分である多価不飽和脂肪酸やビタミンAなどの酸化を防止し、細胞の老化を防いでいる。鶏卵中には主に卵黄にビタミンEが含まれ、飼料のビタミンEが移行するので、ビタミンE強化卵が作成されている。

EPA（エイコサペンタエン酸）、DHA（ドコサヘキサエン酸）強化卵

リノール酸などのn-6脂肪酸が我々の食事で過剰であるとの考え方からn-3脂肪酸強化卵がつけられている。リノール酸は必須脂肪酸であり必要不可欠の栄養素であるが、その過剰摂取の弊害には、リノール酸の代謝産物であるアラキドン酸やプロスタグランジン類あるいはヒスタミンの産生量が増加すること、血中脂質量（コレステロール、中性脂肪）の上昇がある。その結果、リノール酸などのn-6脂肪酸の過剰摂取によりアレルギー反応性の亢進、心筋梗塞や脳梗塞などの血栓性疾患、さらには癌発生率の増加を引き起こすと考えられている。

EPA、DHAはn-3脂肪酸であり、魚油などに豊富に含まれる。EPA、DHAは、1) リノール酸をはじめとするn-6脂肪酸の代謝およびプロスタグランジンの合成を阻害することにより、アレルギー反応性を低下させ、2) 血中コレステロールおよび中性脂肪低下作用により血栓性疾患を抑制し、3) 細胞膜構成成分でもあることから、細胞膜の流動性が高まり、シナプス間の情報伝達を活性化することが期待される。その結果、記憶力の向上、視力の向上が期待できる。

ヨウ素強化卵

ヒトのヨウ素必要量は約0.1mg/日といわれている。摂取したヨウ素は甲状腺ホルモンであるサイロキシンの重要な成分となる。甲状腺ホルモンの分泌低下は、体温調節機能や精神活動に障害が現れる。一方、過剰分泌では生体代謝が促進され、酸素消費量の増大、心拍数の増加、体温上昇がおこる。ヨウ素強化卵は、鶏卵1個あたり約0.8mgのヨウ素を含有し、有機ヨウ素として取り込まれている。その生理機能として、高コレステロール、皮膚炎、成人病、アレルギー疾患などの改善が報告されている。

鉄強化卵

鉄はカルシウムとともに欠乏しやすいミネラルとして位置づけられている。鉄は血液中のヘモグロビンの構成成分として酸素の運搬を担うとともに、筋肉のミオグロビンにも含まれ、酸素貯蔵体として機能している。

デザイナーエッグの一つの特徴として、栄養剤のような摂取の仕方ではどうしても過剰摂取の問題が避けて通れないが、デザイナーエッグでは卵は本来、鶏の子孫保存のためのものということもあり、強化した栄養素等の過剰摂取の問題がないのが特徴である。

今後はフッ素を強化して子供の歯の健康を考える卵とか、ビタミンDを強化して日光浴など難しい寝たきり老人の健康を考える卵がでてくるかも知れない。

しかし安全物質だけが卵に移行するのではない。もし飼料中にアフラトキシンが存在すればもちろん卵に移行するので、飼料の安全性は常に重要である。

Nutraceuticals（薬用食物）としての卵

卵黄由来免疫グロブリン、IgY

卵黄には多くの抗体が含有されており、その抗体を作るには、20-30 μ gのタンパク質があれば1羽の鶏の免疫に十分であり、投与後20日から81日目の卵62個から4gの免疫グロブリンがとれ、特異抗体130mgがとれるという（図2）。

この特異抗体は免疫検査試薬（臨床検査試薬）、受動免疫薬などとして、免疫研究試薬、あるいは人間や動物の治療薬として利用される。例えば、特異系統の腸微生物に産卵鶏を暴露して、その産卵鶏の卵より特異抗体を取り出して子豚に投与すると、通常豚で高い死亡率を示す微生物に対して免疫が出来たと報告されている（Marquardt, 1998）。異なる微生物を用いて、同様の結果が子牛でIgY卵を給与して得られている（Mime, 1998）。

乳房炎は非常に重要な乳牛の病気である。牛乳中の体細胞数が乳房炎の一つの指標となっている。*Staphylococcus aureus*と*Streptococcus agalata*で産卵鶏を3週間、計算値で200ppmの飼料中レベルで免疫して得られた卵を乾燥卵黄として乳牛に与えると、無処理の対照

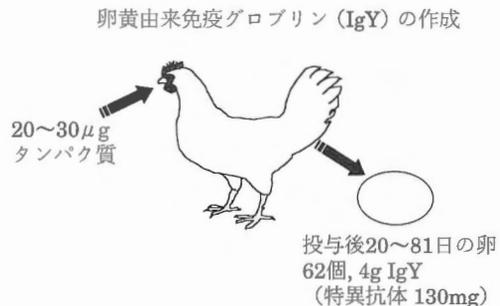


図2. 卵黄由来免疫グロブリン (IgY) の作成方法

牛に比べ有意に体細胞数が減少したと報告されている (Coleman, 1998)。これらの豚, 子牛, 乳牛で示されたように, その効果を示すのに IgY は必ずしも卵から分離, 抽出する必要はない。卵そのものを投与して効果が認められている。この乳房炎治療法はアメリカ農務省で承認されている方法である。

IgY 卵の最近のトピックはなんと言っても HIV (エイズ) ウイルスであろう。HIV ウイルス処理した産卵鶏から得られる卵は, HIV ウイルスの抗体をもった卵であるので, この卵を集めて HIV ウイルス保有患者に給与すれば, 疾病症状の緩和をもたらす可能性があると思われる。

IgY は HIV 感染に対し, 3 通りの作用機序があるだろうと推測されている。すなわち, 1) HIV ウイルスの生活周期の決まった目標を攻撃することが出来る, 2) 腫瘍壊死因子 α のような, HIV の複製に必要な媒介物を阻害する, 3) 腸管内で日和見細菌と癒着しないように必要な免疫を支援する。

IgY 卵の最近のもう一つのトピックスは, 人体から取り出し分離したピロリ菌と大腸菌を混合して注射した産卵鶏から, 胃ガンなど消化器系の発病率を低下させるという IgY 卵を得て, 既に韓国のベンチャー企業により発売になったということである。

卵黄からとれる IgY は, 広範囲にいろいろな診断, 予防, 治療の目的で使われている (Mime and Yoshimura, 1998)。IgY のヒトに対する医薬としての応用では, IgY を注射するか, IgY の入った卵黄濃縮物をカプセルに入れて胃内で酸により分解されないようにして経口投与する。しかし動物実験の結果からは液状または乾燥卵黄で経口投与が可能であるとしている。IgY 治療の大きな特徴の一つは, 抗生物質治療で起こるような抗体に対する耐性が腸管内微生物などで起こらないことである。

共役リノール酸 (conjugated linoleic acid : CLA)

共役リノール酸を卵黄に含有するようにした卵も, もう一つの卵の薬としての有力な利用法として注目されている。リノール酸は炭素原子 18 個の必須脂肪酸で二重結合が 2 カ所あり, 自然界の多くの脂肪酸はシス型の位置関係になっている。リノール酸は動物体内でもう一つの必須脂肪酸のアラキドン酸を作り, さらに各種プロスタグランジン, ヒスタミンなどの生理活性物質を作っている。

問題はこのリノール酸が飼料に過剰にあるときで, 過剰摂取の弊害として, プロスタグランジン類およびヒスタミンの産生量と活性の増加, 血中脂質 (コレステロール, 中性脂肪) 含量の上昇があり, その結果, 癌発生率の増加, アレルギー反応性の亢進, 血栓症 (心筋梗塞, 脳梗塞) 疾患の増加がおこる。

一方, 共役リノール酸は, リノール酸と同様に炭素数 18 個の二重結合 2 個を有する脂肪酸であるが, 二重結合の位置およびシス型, トランス型の位置関係が異なっているもので, 現在のところ 13 種見いだされている。

共役リノール酸は 1966 年反芻胃内で発見されており, 1978 年ウイスコンシン大学の M.W. Pariza により肉, 魚を調理する過程で発ガン性物質のみならず抗発ガン物質が存在することが確認され, その抗発ガン物質が共役リノール酸であることが同定された。反芻動物の産物である牛乳, 牛赤身肉にも入っていることが確認されている (Watkins *et al.*, 1998)。共役リノール酸は乳ガン発症, 前胃腫瘍形成あるいは皮膚癌の進行を抑制し, ガン細胞増殖を抑制する作用があり, さらに脂質代謝改善作用, 動脈硬化抑制作用, 免疫賦活作用, 骨代謝改善作用などが認められている。このように, リノール酸の過剰問題と共役リノール酸の医薬効果から, 産卵鶏飼料に共役リノール酸を配合して, その卵黄に含まれる共役リノール酸の効果に期待するのがこれからの新しい nutraceutical であろう。

今後の新しい製品の見通しは無限にある。トランスジェニック動物を用いる研究者達は産卵鶏の染色体の遺伝子にコレステロール合成を阻止する遺伝子を入れてコレステロールのない卵を作ることが出来るとしている。この作用機構は飼料に特殊の化合物を入れることにより可能となろう。お医者さんが解熱剤のアスピリンを飲むよりも, デザイナーエッグを一日二個食べる事を勧める時代が来るのも夢ではない。卵を使った nutraceuticals の時代はそんなに遠くはないであろう。

主要な参考文献

- 奥村純市, 1994, 産卵鶏の育成と飼養, 木香書房, 東京。
 Hauman BF. 1996, INFORM 7 : 152.
 Second International Symposium on Egg Nutrition and Newly Emerging Ovo-Biotechnologies. 1998, Banff, AB, Canada.