

Original article

## Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A clinical trial by repeated measurement

Yoshikazu Yonei\*, Mari Ogura\*, Masayuki Yagi, Ikuro Kawasaki, Chieko Sakiyama, Yoshiko Kawaguchi, Masayuki Kurokawa, Tomoko Tsuji

\* equally contributed

Glycative Stress Research 2024; 11 (1): 51-61  
(c) Society for Glycative Stress Research

(原著論文：日本語翻訳版)

## ダチョウ肉摂取による血中アミノ酸の推移

米井嘉一\*、小椋真理\*、八木雅之、川崎郁朗、崎山千恵子、河口良子、黒川眞行、辻 智子

\* equally contributed

### 抄録

**【目的】** 鶏肉（特に胸肉）は低脂肪かつタンパク質含有量が高いことから、健康志向の人たちに人気の食材である。今回の試験では、持続可能な開発目標（SDGs）の観点からも注目のダチョウ肉に焦点を当て、摂取後の血中アミノ酸組成の変化を調べ、鶏肉との比較を行った。

**【方法】** 被験者は健康な男女9名（男性2名、女性7名、 $23.0 \pm 1.2$ 歳、BMI  $20.1 \pm 2.2$ ）とした。試験食品はタンパク質量（20g）を調整したダチョウ肉食（OM）と鶏肉（胸肉）食（CM）として、前半7日間CM摂取、1ヶ月の休止期間を経て、後半7日間OM摂取とし、それぞれ摂取1日、7日後に血液検査を施行した。

**【結果】** 試験食摂取7日後の血漿中アミノ酸組成は、OM摂取でタウリンが有意に増え、CM摂取でシトルリン・3-メチルヒスチジンが僅か増えたが、総アミノ酸量には差がなかった。血漿中アルデヒド（3-deoxyglucosone、glyoxal、methylglyoxal）には両者に差がなく、アルデヒドトラップ作用の違いはなかった。血液検査では、採血による鉄分喪失に伴いCM摂取時には赤血球数、血色素量、ヘマトクリット値が3～5%低下したが、鉄分含有量の多いOM摂取時には緩和された。試験期間中に有害事象はみられなかった。

**【結語】** 高タンパク質・低脂肪の鳥類の肉の中でも、ダチョウ肉は、鶏胸肉に比べて、タウリンと鉄分が豊富であり、健康志向の者への食材として有用であると考えられた。

**KEY WORDS:** ダチョウ肉、アミノ酸、タウリン、鉄、糖化ストレス

## はじめに

近年、食料事情を考える上で、世界規模での栄養状態の改善や飢餓リスク低減への貢献についても考慮が必要な時代になっている。穀物飼料で生産する畜肉よりも、タンパク質食としてより生産効率の良い、豆類を材料とするプラントベースドフードや培養菌糸体なども環境負荷の低い新たな食資源として研究されている。

本試験で取り上げたダチョウは環境負荷が少なく、サステナブル（持続可能）な家畜である。ダチョウなどの飛べない鳥は「走鳥類」と呼ばれ、「古顎類」という分類群に属する。アフリカに分布するダチョウは現生古顎類のなかで、最初に他の種族から分かれた。走鳥類が飛べないのは、かならずしも原始的なためではなく、生き残りをかけて地上生活に適応した結果である<sup>1,2)</sup>。

アフリカのサバンナで生き抜くために進化したダチョウは、腸が長く消化能力に優れ、豊富な腸内細菌によるアミノ酸生成量が多く、栄養素の吸収効率が高い。農林水産省資料「知ってる？日本の食料事情」によれば、畜産物1キログラムの生産に必要な穀物量（トウモロコシ換算）は、牛肉が11 kg、豚肉が7 kg、鶏肉が4 kgである<sup>3)</sup>。一方、ダチョウ肉は4 kgであるが（100 kgのダチョウから40 kgの肉が取れるとして換算）、主なエサがトウモロコシなどの穀物ではなく、人間が食べられないこと（牧草や食品工場で端材として出てくる野菜くずなど）が利点となっている。

骨格筋については、翼や胸筋は退化したが、天敵から逃げるために、骨格および大腿・臀部骨格筋は走行能力増強のために進化した<sup>4,5)</sup>。そのためダチョウ肉（もも肉）には筋力と持久力を維持するための栄養成分が蓄えられている可能性がある。

今回の試験では、ダチョウ肉を摂取した時の血中アミノ酸組成の変化を調べ、鶏肉との比較を行った。

## 方法

### 試験実施体制

本試験は、試験者の人権および安全性と試験データの信頼性の確保を図るため、試験に関与しない第三者で構成される、一般社団法人糖化ストレス研究会「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会での審議、承認（承認番号2022-007、2022年11月7日）を経て、2022年12月～2023年1月に同志社大学生命医科学部アンチエイジングリサーチセンター（試験責任医師：米井 嘉一）にて、試験実施計画書に基づき実施された（UMIN試験ID: UMIN000049501）。試験実施にあたり、ヘルシンキ宣言（2013年WMAフォルタレザ総会「ブラジル」で修正）および人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針（令和3年文部科学省・厚生労働省・経済産業省告示第1号）に基づく倫理的原則を遵守した。

## 対象

試験説明会を実施した上で、本試験の参加を事前に文書で同意かつ以下の除外基準に抵触していない20歳以上40歳以下の健康な男女9名を被験者として組み込んだ。

- ① 現在、何らかの疾患を患い薬物治療を受けている者
- ② 肝、腎、心、肺、血液等の重篤な障害の既往歴・現病歴のある者
- ③ 高度の貧血がある者
- ④ 試験食品にアレルギー症状を起こす恐れのある者、また、その他食品、医薬品に重篤なアレルギー症状を起こす恐れのある者
- ⑤ プロテインなどの高タンパク質食を日常的に摂取している者
- ⑥ 妊娠中、授乳中あるいは妊娠の可能性のある者
- ⑦ 現在、他ヒト臨床試験に参加している者、他ヒト臨床試験参加後、3ヶ月間が経過していない者
- ⑧ 以下のサプリメント・健康食品を日常的に摂取している者（ビタミン類、葉酸、鉄）
- ⑨ その他、試験責任医師が本試験の対象として不適当と判断した者

本試験は9名で試験を開始し、最終検査日（Visit-6）に2名が本試験とは無関係の事由で止むを得ず検査を受診できなかったが、試験後の症例検討会においてすべての試験者を解析対象とし、一部のデータの採取が不可能となったものは欠損データとして処理した。

### 試験デザイン

試験食品は、株式会社吉野家ホールディングス（東京都中央区）から提供されたダチョウ肉（ostrich meat）を使用したハム（タンパク質量20 g）をダチョウ肉食（OM）とし（Fig. 1）、鶏肉（胸肉）を使用したサラダチキン（CM、市販品、タンパク量20 g）を対照食品（Control meal）として使用した。OMおよびCMの栄養成分をTable 1に示した。またOM 100 gあたりのアミノ酸含有量をTable 2に示した。

試験スケジュールをFig. 2に示す。被験者にはまず試験開始前日（-1 day）および試験開始日（0 day、Visit-1およびVisit-4）の夕食は指定（サトウのご飯200 gおよびふりかけ）の基本食（Basic meals; BM）とカップ味噌汁を摂取させた。被験者は試験食品摂取開始当日の朝食は摂取せずに来所し（Visit-2およびVisit-5）、来所後にOM（Visit-5）またはCM（Visit-2）をBMとともに摂取した。その後5日間、被験者は朝食時にOMまたはCMをBMとともに摂取した。6日目（6 day）の夕食は-1 day、0 dayと同じBMとカップ味噌汁を摂取した上で、摂取7日目には朝食は摂取せずに来所し（Visit-3およびVisit-6）、来所後にOM（Visit-6）またはCM（Visit-3）をBMとともに摂取した。Visit-1およびVisit-4の検査は来所後に身体計測と採血を実施した。Visit-2、Visit-3、Visit-5、Visit-6の検査は身体計測を実施後に前述の通りに試験食品を摂取、その後3時間の待機時間を設けたのち、採血を実施した。



Fig. 1. Appearance of test food (ostrich meat).

Table 1. Nutritional composition.

	Control food Steamed chicken (87 g)	Test food Smoked ham (91 g)
Water (g)	62.4	62.2
Energy (kcal)	96	112
Protein (g)	20.0	20.0
Carbohydrate (g)	1.6	4.4
Fat (g)	1.1	1.5
Sodium (mg)	282	783

Table 2. Amino acid composition.

Amino acid content per 100 g ostrich meat	
Arginine	1.32 g
Lysine	1.85 g
Histidine	0.56 g
Phenylalanine	0.94 g
Tyrosine	0.73 g
Leucine	0.75 g
Isoleucine	1.02 g
Methionine	0.55 g
Valine	1.08 g
Alanine	1.23 g
Glycine	0.93 g
Proline	0.91 g
Glutamic acid	3.78 g
Serine	0.94 g
Threonine	0.98 g
Aspartic acid	1.91 g
Tryptophan	0.29 g
Cystine	0.27 g
Taurine	0.12 g

		Visit - 1		Visit - 2					Visit - 3	
		day - 1	day 0	day 1	day 2	day 3	day 4	day 5	day 6	day 7
Phase I	Breakfast	Meals as usual		No meal※	Steamed chicken + Steamed rice					No meal※
	Lunch	Meals as usual								
	Dinner	Designated meals		Meals as usual					Designated meals	Meals as usual
		Visit - 4		Visit - 5					Visit - 6	
		day - 1	day 0	day 1	day 2	day 3	day 4	day 5	day 6	day 7
Phase II	Breakfast	Meals as usual		No meal※	OM + Steamed rice					No meal※
	Lunch	Meals as usual								
	Dinner	Designated meals		Meals as usual					Designated meals	Meals as usual

Fig. 2. The test schedule.

No meal ※ = Participants did not eat at home, but took the test meal (Steamed chicken+Steamed rice or OM+Steamed rice) after coming to the testing site. OM, ostrich meat.

## 評価項目

### 身体計測

身体計測としては、身長、体重、体脂肪率、体格指数 (body mass index; BMI) を計測した。身体組成検査はTANITAマルチ周波数体組成計 MC-780A-Nポータブルタイプ (株式会社 タニタ、東京) を用いた。

### 血液検査

血液試料を用いて末梢血液検査、生化学検査を行った。今回の評価項目はアミノ酸分析、ビタミンB12、グルコース、血漿中アルデヒド (3-deoxyglucosone; 3DG、glyoxal; GO、methylglyoxal; MGO)、血液学的検査 (白血球数、赤血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリット、mean corpuscular volume; MCV、mean corpuscular hemoglobin; MCH、mean corpuscular hemoglobin concentration; MCHC、血小板数) である。血液試料を用いた検査のうち、血中アルデヒドは同志社大学生命医科学部糖化ストレス研究センター (京都府京田辺市) で、その他の項目は株式会社 LSIメディエンス (東京) にて測定した。

### 統計解析

統計解析には、統計解析ソフトウェア エクセル統計 (社会情報サービス、東京) を使用して、paired-t testを実施した。危険率5%未満を有意差ありとした。特に外れ値は設定しなかった。ただし、検査上のトラブルなどでデータが取得できない、またはデータの信頼性に大きな問題が生じた場合は欠損値として取扱い、代替値は用いなかった。

## 結果

### 一般背景

解析対象者9名の一般背景は、男性2名、女性7名、年齢  $23.0 \pm 1.2$  歳、身長  $162.0 \pm 7.7$  cm、体重  $52.7 \pm 6.6$  kg、体脂肪率  $26.0 \pm 6.6$  %、BMI  $20.1 \pm 2.2$  であった (Table 3)。

Table 3. Anthropometry.

		Mean	SD
Age	year	23.0	± 1.2
Height	cm	162.0	± 7.7
Weight	kg	52.7	± 6.6
Body fat	%	26.0	± 6.6
BMI		20.1	± 2.2

n = 9. BMI, body mass index; SD, standard deviation.

### アミノ酸分析

各Visit時に実施した血中アミノ酸分析において (Table 4, Fig. 3)、OM摂取群では摂取前 (Visit-4) に比較してタウリン、トレオニン、アスパラギン、プロリン、グリシン、アラニン、シトルリン、バリン、シスチン、メチオニン、イソロイ

シン、ロイシン、チロシン、 $\beta$ -アラニン、フェニルアラニン、オルニチン、1-メチルヒスチジン、ヒスチジン、リジン、3-メチルヒスチジン、トリプトファン、アルギニンが摂取1日目 (Visit-5) および摂取7日目 (Visit-6) で有意に増加した。また、グルタミンとフィッシャー比で摂取前 (Visit-4) に比較して摂取7日目 (Visit-6) で有意に増加した。

摂取7日目にOM摂取群とCM摂取群との間に群間有意差を認めた項目は、タウリン、シトルリン、3-メチルヒスチジンであった。タウリンは、摂取1日目 (Visit-2, 5) および摂取7日目 (Visit-3, 6) とともにOM摂取群で増加していた ( $p < 0.01$ )。3-メチルヒスチジンは、摂取1日目 (Visit-2, 5) および摂取7日目 (Visit-3, 6) で有意に増加していたが ( $p < 0.01$ )、変化量はわずかであった。シトルリンは、摂取7日目 (Visit-3, 6) でCM摂取群に有意な増加が認められた ( $p < 0.05$ )。総アミノ酸量 (測定項目の総和) は両群間で有意差はなかった。

### ビタミンB12

ビタミンB12はCMの摂取7日目 (Visit-3) で摂取前 (Visit-1) と比較して有意に増加したが、OM摂取群との間に群間有意差はなかった (Table 5)。

### 血糖 (PG)

血糖 (PG) はOMの摂取1日目 (Visit-5) で摂取前 (Visit-4) と比較して有意に低下し、CM摂取群との間に群間有意差を認めた ( $p < 0.01$ , Table 5)。CM摂取群は摂取7日目 (Visit-3) で摂取前 (Visit-1) と比較して有意に低下したが、群間有意差はなかった。

### 血中アルデヒド (3DG、GO、MGO)

血中アルデヒドのうち、3DG、GOについてはOM摂取群、CM摂取群ともに有意な変化は認められなかった。MGOは、CMの摂取1日目 (Visit-2) で摂取前 (Visit-1) と比較して有意に増加したが変化量に群間差はなかった (Table 6)。

### 血液学的検査

末梢血液の変化をTable 7とFig. 4に示す。CM摂取群は、摂取1日目 (Visit-2) および7日目 (Visit-3) の赤血球数、血液色素量、ヘマトクリット値が、摂取前 (Visit-1) と比較して有意に減少していた。摂取7日目 (Visit-3) における変化率は、赤血球数が-3.4%、血液色素量が-5.0%、ヘマトクリット値が-3.4%であった。

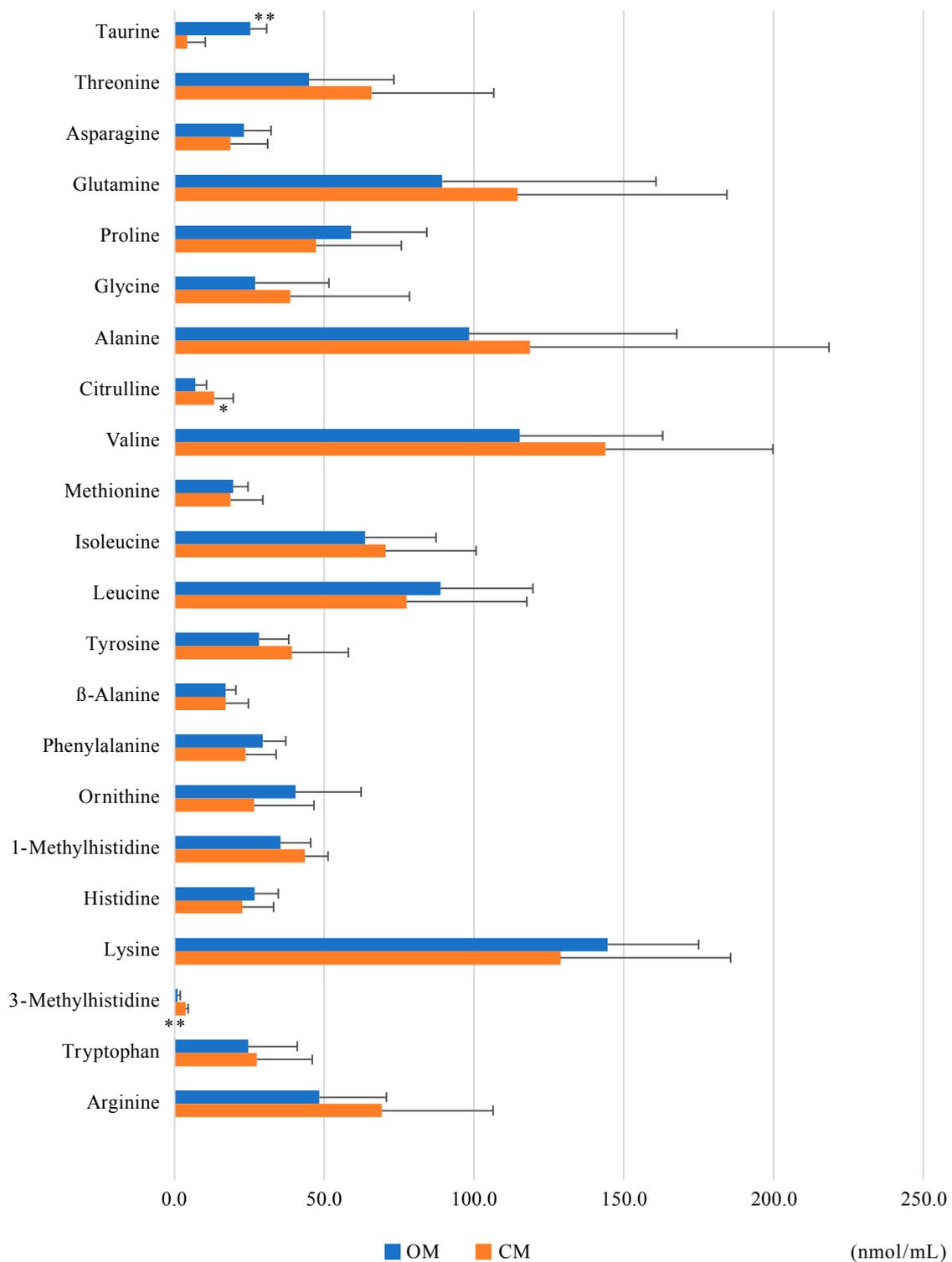
一方、OM摂取群ではこれら3項目の減少が緩和された。赤血球数は、摂取前 (Visit-4) と比較して摂取1日目 (Visit-5) では有意に減少していたものの、摂取7日目 (Visit-6) では有意な減少は見られなかった (Fig. 4-a)。また、血液色素量およびヘマトクリット値は、いずれの時点でも摂取前 (Visit-4) と比較して有意な減少は見られなかった (Fig. 4-b, c)。

CM摂取群との群間比較においては、赤血球数の摂取7日目 (Visit-6) では有意差はなかったものの、赤血球数の摂取1日目 (Visit-5)、血液色素量および赤血球数の摂取1、7

Table 4. Plasma amino acid concentration.

		Group	Before and after analysis									Between-group analysis			
			Before intake (day 0)			day 1			vs day 0	day 7			vs day 0	day 1	day 7
			n	Mean	SD	n	Mean	SD	p value	n	Mean	SD	p value	p value	p value
Taurine	nmol/mL	OM	9	45.38 ± 4.54	9	59.22 ± 8.02	<b>0.000</b>	7	70.17 ± 6.68	<b>0.000</b>	<b>0.009</b>	<b>0.000</b>			
		CM	9	45.54 ± 3.00	9	51.49 ± 5.57	<b>0.003</b>	9	49.70 ± 6.22	0.089					
Hydroxyproline*	nmol/mL	OM	9	11.73 ± 9.35	9	9.41 ± 2.66	0.453	7	12.66 ± 6.96	0.195	0.102	0.719			
		CM	9	8.31 ± 2.28	9	10.92 ± 1.99	<b>0.008</b>	9	10.91 ± 2.99	<b>0.044</b>					
Threonine	nmol/mL	OM	9	128.37 ± 27.04	9	162.84 ± 29.53	<b>0.001</b>	7	170.89 ± 47.13	<b>0.008</b>	<b>0.018</b>	0.297			
		CM	9	111.39 ± 26.19	9	176.14 ± 34.11	<b>0.000</b>	9	177.20 ± 34.48	<b>0.002</b>					
Serine	nmol/mL	OM	9	130.58 ± 22.80	9	138.27 ± 25.40	0.130	7	138.57 ± 29.11	0.161	<b>0.022</b>	0.522			
		CM	9	121.87 ± 13.67	9	152.79 ± 26.93	<b>0.005</b>	9	139.51 ± 25.17	0.070					
Asparagine	nmol/mL	OM	9	47.60 ± 6.66	9	64.47 ± 8.82	<b>0.000</b>	7	69.39 ± 14.14	<b>0.001</b>	0.268	0.474			
		CM	9	45.04 ± 5.04	9	68.04 ± 13.42	<b>0.001</b>	9	63.70 ± 12.96	<b>0.003</b>					
Glutamine	nmol/mL	OM	9	22.69 ± 6.80	9	18.41 ± 3.54	0.092	7	21.06 ± 5.80	0.168	<b>0.003</b>	0.064			
		CM	9	19.34 ± 4.71	9	23.32 ± 4.28	<b>0.001</b>	9	20.84 ± 4.91	0.264					
Glutamic acid	nmol/mL	OM	9	534.03 ± 68.40	9	556.99 ± 51.19	0.105	7	607.99 ± 78.28	<b>0.022</b>	<b>0.011</b>	0.520			
		CM	9	500.97 ± 64.50	9	603.58 ± 72.86	<b>0.003</b>	9	615.40 ± 78.43	<b>0.002</b>					
Proline	nmol/mL	OM	9	140.16 ± 37.75	9	169.91 ± 30.81	<b>0.007</b>	7	184.71 ± 40.88	<b>0.001</b>	0.157	0.437			
		CM	9	136.19 ± 46.98	9	183.94 ± 47.05	<b>0.001</b>	9	183.43 ± 43.51	<b>0.002</b>					
Glycine	nmol/mL	OM	9	233.74 ± 46.51	9	257.37 ± 48.08	<b>0.042</b>	7	255.30 ± 37.70	<b>0.036</b>	<b>0.027</b>	0.533			
		CM	9	214.47 ± 27.72	9	282.19 ± 44.70	<b>0.002</b>	9	253.10 ± 52.39	<b>0.025</b>					
Alanine	nmol/mL	OM	9	355.99 ± 82.39	9	426.56 ± 58.66	<b>0.007</b>	7	452.86 ± 91.19	<b>0.013</b>	0.159	0.673			
		CM	9	342.46 ± 94.89	9	468.60 ± 57.97	<b>0.004</b>	9	461.09 ± 66.96	<b>0.010</b>					
Citrulline	nmol/mL	OM	9	25.52 ± 3.14	9	29.91 ± 6.42	<b>0.044</b>	7	32.03 ± 5.55	<b>0.004</b>	0.077	<b>0.045</b>			
		CM	9	24.00 ± 4.16	9	33.76 ± 6.95	<b>0.002</b>	9	37.27 ± 6.52	<b>0.000</b>					
α-Amino-n-butyrac acid	nmol/mL	OM	9	21.38 ± 4.78	9	20.57 ± 4.16	0.367	7	21.69 ± 5.38	0.857	<b>0.024</b>	0.872			
		CM	9	19.43 ± 7.71	9	22.07 ± 7.34	<b>0.042</b>	9	19.41 ± 3.92	0.989					
Valine	nmol/mL	OM	9	204.36 ± 25.92	9	263.79 ± 27.75	<b>0.002</b>	7	317.89 ± 46.54	<b>0.001</b>	<b>0.012</b>	0.329			
		CM	9	190.30 ± 24.60	9	306.29 ± 29.35	<b>0.000</b>	9	334.10 ± 47.93	<b>0.000</b>					
Cystine	nmol/mL	OM	9	37.97 ± 6.44	9	34.08 ± 6.38	<b>0.000</b>	7	45.09 ± 6.87	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	0.177			
		CM	9	33.80 ± 5.74	9	40.07 ± 6.08	<b>0.015</b>	9	38.72 ± 5.80	<b>0.022</b>					
Methionine	nmol/mL	OM	9	27.87 ± 3.61	9	42.76 ± 6.32	<b>0.000</b>	7	46.60 ± 7.42	<b>0.000</b>	0.311	0.862			
		CM	9	26.37 ± 3.59	9	45.23 ± 8.84	<b>0.000</b>	9	45.08 ± 10.81	<b>0.001</b>					
Isoleucine	nmol/mL	OM	9	62.74 ± 8.53	9	101.76 ± 17.80	<b>0.000</b>	7	126.77 ± 23.50	<b>0.001</b>	<b>0.041</b>	0.654			
		CM	9	53.14 ± 9.23	9	116.47 ± 20.99	<b>0.000</b>	9	123.57 ± 26.12	<b>0.000</b>					
Leucine	nmol/mL	OM	9	109.44 ± 14.52	9	158.41 ± 24.81	<b>0.001</b>	7	194.99 ± 29.30	<b>0.000</b>	0.186	0.575			
		CM	9	107.59 ± 16.54	9	179.30 ± 30.00	<b>0.001</b>	9	185.06 ± 34.10	<b>0.001</b>					
Tyrosine	nmol/mL	OM	9	63.77 ± 8.20	9	81.42 ± 15.56	<b>0.008</b>	7	90.44 ± 11.44	<b>0.000</b>	0.126	0.217			
		CM	9	57.74 ± 7.51	9	86.80 ± 11.73	<b>0.000</b>	9	96.83 ± 20.26	<b>0.000</b>					
Alanine*	nmol/mL	OM	9	5.30 ± 0.00	9	17.96 ± 4.41	<b>0.000</b>	7	22.01 ± 3.40	<b>0.000</b>	<b>0.042</b>	0.998			
		CM	9	7.56 ± 0.77	9	26.14 ± 5.58	<b>0.000</b>	9	24.62 ± 7.46	<b>0.000</b>					
Phenylalanine	nmol/mL	OM	9	61.21 ± 7.34	9	77.79 ± 7.29	<b>0.000</b>	7	89.30 ± 12.07	<b>0.000</b>	0.673	0.262			
		CM	9	60.30 ± 7.56	9	78.57 ± 8.64	<b>0.001</b>	9	84.06 ± 11.85	<b>0.000</b>					
Mono-ethanolamine	nmol/mL	OM	9	9.02 ± 1.38	9	9.02 ± 0.98	1.000	7	9.01 ± 0.69	0.736	0.467	0.617			
		CM	9	9.29 ± 0.81	9	9.68 ± 1.21	0.313	9	9.22 ± 0.88	0.713					
Ornithine	nmol/mL	OM	9	57.19 ± 12.83	9	88.41 ± 20.06	<b>0.000</b>	7	95.47 ± 25.78	<b>0.004</b>	0.639	0.239			
		CM	9	65.32 ± 11.94	9	93.14 ± 17.48	<b>0.001</b>	9	91.90 ± 19.29	<b>0.006</b>					
1-Methylhistidine*	nmol/mL	OM	9	14.38 ± 6.17	9	33.04 ± 6.64	<b>0.000</b>	7	45.63 ± 6.67	<b>0.000</b>	<b>0.032</b>	0.108			
		CM	9	9.87 ± 5.41	9	39.43 ± 6.47	<b>0.000</b>	9	50.06 ± 8.54	<b>0.000</b>					
Histidine	nmol/mL	OM	9	85.62 ± 13.87	9	95.20 ± 10.75	<b>0.008</b>	7	108.53 ± 13.96	<b>0.000</b>	<b>0.033</b>	0.433			
		CM	9	86.01 ± 8.06	9	111.20 ± 18.31	<b>0.003</b>	9	108.54 ± 14.87	<b>0.000</b>					
Lysine	nmol/mL	OM	9	158.62 ± 18.47	9	256.93 ± 17.76	<b>0.000</b>	7	298.71 ± 34.02	<b>0.000</b>	0.166	0.544			
		CM	9	153.36 ± 24.04	9	285.84 ± 53.35	<b>0.000</b>	9	282.17 ± 52.08	<b>0.000</b>					
3-Methylhistidine*	nmol/mL	OM	9	6.00 ± 0.00	9	5.92 ± 0.75	<b>0.027</b>	7	6.64 ± 0.80	<b>0.019</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>			
		CM	9	5.30 ± 0.00	9	7.01 ± 0.96	<b>0.000</b>	9	8.58 ± 0.96	<b>0.000</b>					
Tryptophan	nmol/mL	OM	9	70.37 ± 15.50	9	80.21 ± 10.55	<b>0.014</b>	7	91.07 ± 8.74	<b>0.010</b>	0.151	0.760			
		CM	9	70.06 ± 14.24	9	87.99 ± 7.17	<b>0.003</b>	9	97.59 ± 10.36	<b>0.003</b>					
Arginine	nmol/mL	OM	9	82.92 ± 17.36	9	120.31 ± 15.79	<b>0.000</b>	7	126.29 ± 26.34	<b>0.002</b>	<b>0.050</b>	0.242			
		CM	9	64.07 ± 17.85	9	128.27 ± 34.58	<b>0.000</b>	9	133.19 ± 37.61	<b>0.001</b>					
Fischer ratio	nmol/mL	OM	9	3.04 ± 0.44	9	3.31 ± 0.34	0.082	7	3.55 ± 0.26	<b>0.049</b>	<b>0.034</b>	0.541			
		CM	9	2.99 ± 0.31	9	3.65 ± 0.33	<b>0.000</b>	7	3.59 ± 0.43	<b>0.001</b>					

\* Statistical analysis was performed using input values due to the data below the detection sensitivity. Paired t test was used for comparative analysis with Day 0. Student's t test was used for between-group analysis. OM, ostrich meat; CM, chicken meat; SD, standard deviation.



**Fig. 3. Changes in plasma amino acids on day 7 of intake.**

Results are expressed as mean  $\pm$  SD. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  by Student's t test,  $n = 9$ . OM, ostrich meat; CM, chicken meat; SD, standard deviation.

**Table 5. Plasma vitamin B12 and glucose concentration.**

	Group	Before and after analysis									Between-group analysis			
		Before intake (day 0)			day 1			vs day 0	day 7			vs day 0	day 1	day 7
		n	Mean	SD	n	Mean	SD	p value	n	Mean	SD	p value	p value	p value
Vitamine B12	pg/mL	OM	9	488.78 ± 122.35	9	523.44 ± 139.04	0.343	7	574.29 ± 190.35	0.382	0.848	0.151		
		CM	9	503.67 ± 237.27	9	547.11 ± 232.63	0.173	9	620.67 ± 304.24	<b>0.005</b>				
Glucose	mg/dL	OM	9	80.89 ± 5.15	9	65.56 ± 9.92	<b>0.000</b>	7	80.29 ± 12.54	0.762	<b>0.000</b>	0.223		
		CM	9	79.44 ± 5.23	9	81.89 ± 7.72	0.337	9	72.11 ± 6.92	<b>0.009</b>				

Paired t test was used for comparative analysis with Day 0. Student's t test was used for between-group analysis. OM, ostrich meat; CM, chicken meat; SD, standard deviation.

**Table 6. Plasma aldehyde concentration.**

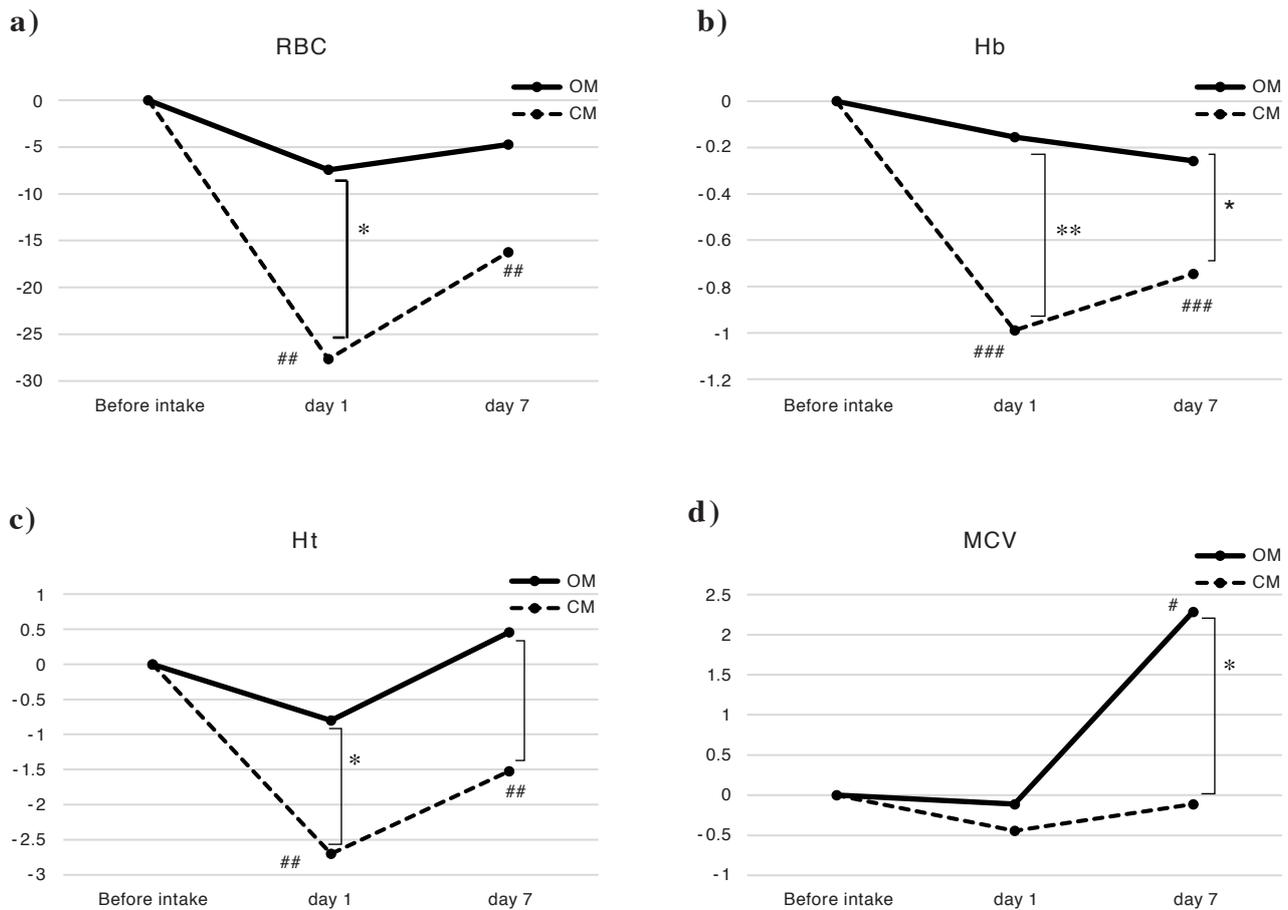
	Group	Before and after analysis									Between-group analysis			
		Before intake (day 0)			day 1			vs day 0	day 7			vs day 0	day 1	day 7
		n	Mean	SD	n	Mean	SD	p value	n	Mean	SD	p value	p value	p value
3DG	µg/mL	OM	9	0.098 ± 0.028	9	0.096 ± 0.025	0.759	7	0.103 ± 0.015	0.906	0.636	0.505		
		CM	9	0.087 ± 0.020	9	0.081 ± 0.019	0.175	9	0.078 ± 0.018	0.379				
GO	µg/mL	OM	9	0.021 ± 0.007	9	0.020 ± 0.005	0.464	7	0.036 ± 0.031	0.324	0.727	0.341		
		CM	9	0.079 ± 0.143	9	0.054 ± 0.101	0.717	9	0.036 ± 0.023	0.418				
MGO	µg/mL	OM	9	0.770 ± 0.862	9	0.798 ± 0.886	0.467	7	1.085 ± 1.037	0.305	0.083	0.273		
		CM	9	0.405 ± 0.593	9	0.601 ± 0.770	<b>0.046</b>	9	0.698 ± 0.820	0.054				

Paired t test was used for comparative analysis with Day 0. Student's t test was used for between-group analysis. 3DG, 3-deoxyglucosone; GO, glyoxal; MGO, methylglyoxal; OM, ostrich meat; CM, chicken meat; SD, standard deviation.

**Table 7. Peripheral blood test.**

	Group	Before and after analysis									Between-group analysis			
		Before intake (day 0)			day 1			vs day 0	day 7			vs day 0	day 1	day 7
		n	Mean	SD	n	Mean	SD	p value	n	Mean	SD	p value	p value	p value
WBC	/µL	OM	9	6155.56 ± 1071.98	9	5455.56 ± 1393.72	<b>0.025</b>	7	5642.86 ± 2224.45	0.745	0.697	0.930		
		CM	9	6422.22 ± 1299.38	9	5900.00 ± 1139.20	0.197	9	6044.44 ± 1220.30	0.321				
RBC	×10 <sup>4</sup> /µL	OM	9	465.44 ± 29.74	9	458.00 ± 36.35	0.335	7	450.43 ± 25.04	0.568	<b>0.037</b>	0.156		
		CM	9	481.89 ± 35.83	9	454.22 ± 35.42	<b>0.001</b>	9	465.67 ± 39.91	<b>0.001</b>				
Hb	g/dL	OM	9	14.27 ± 0.96	9	14.11 ± 1.12	0.415	7	13.77 ± 0.84	0.118	<b>0.004</b>	<b>0.017</b>		
		CM	9	14.98 ± 1.14	9	13.99 ± 1.12	<b>0.000</b>	9	14.23 ± 1.26	<b>0.000</b>				
Ht	%	OM	9	43.27 ± 3.07	9	42.47 ± 2.86	0.218	7	42.93 ± 2.19	0.529	<b>0.027</b>	<b>0.014</b>		
		CM	9	44.91 ± 3.36	9	42.21 ± 2.89	<b>0.001</b>	9	43.39 ± 3.09	<b>0.002</b>				
MCV	fL	OM	9	92.78 ± 3.15	9	92.67 ± 2.58	0.849	7	95.43 ± 4.03	<b>0.038</b>	0.619	<b>0.035</b>		
		CM	9	93.33 ± 3.13	9	92.89 ± 2.96	0.225	9	93.22 ± 3.12	0.860				
MCH	pg	OM	9	30.66 ± 0.80	9	30.80 ± 0.64	0.429	7	30.57 ± 0.79	0.372	0.060	0.357		
		CM	9	31.08 ± 0.74	9	30.81 ± 0.83	<b>0.037</b>	9	30.57 ± 0.71	<b>0.011</b>				
MCHC	%	OM	9	32.99 ± 0.74	9	33.21 ± 0.64	0.139	7	32.07 ± 0.83	<b>0.003</b>	0.073	0.247		
		CM	9	33.37 ± 0.54	9	33.11 ± 0.71	0.257	9	32.77 ± 1.00	<b>0.033</b>				
Plt	×10 <sup>5</sup> /µL	OM	9	29.59 ± 6.03	9	29.21 ± 5.58	0.521	7	32.03 ± 4.91	0.563	0.074	0.496		
		CM	9	28.91 ± 4.25	9	27.16 ± 4.72	<b>0.005</b>	9	28.87 ± 4.32	0.933				

Paired t test was used for comparative analysis with Day 0. Student's t test was used for between-group analysis. WBC, white blood cell; RBC, red blood cell; Hb hemoglobin; Ht Hematocrit value; MCV, mean corpuscular volume; MCH, mean corpuscular hemoglobin; MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration; Plt, platelet count; OM, ostrich meat; CM, chicken meat; SD, standard deviation.



**Fig. 4. Changes of RBC profiles.**

**a)** Red blood cell (RBC) count, **b)** Hemoglobin (Hb), **c)** Hematocrit (Ht), **d)** mean corpuscular volume (MCV). Results expressed as mean values. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  vs CM, Student's *t* test,  $n = 9$ , #  $p < 0.05$ , ##  $p < 0.01$ , ###  $p < 0.001$  vs day 0 by Paired *t* test. OM, ostrich meat; CM, chicken meat,

日目 (Visit-5, 7) ではOM摂取群の減少が有意に緩和されていることが示された。

MCVは摂取前 (Visit-4)と比較してOM摂取7日目 (Visit-6)のみ有意に増加し、CM摂取群との間に群間有意差を認めた (Fig. 4-d)。

## 考察

### 結果の概要

本研究の主目標はダチョウ肉 (タンパク質量 20 g) 摂取による血中アミノ酸の推移を観察し、鶏肉 (タンパク質量 20 g) と比較することである。健康な男女9名 (男性2名、女性7名、 $23.1 \pm 1.2$ 歳、BMI  $20.1 \pm 2.2$ ) を対象に前半1週間をCM摂取、休止期間 (1か月間) を設けた後、後半1週間をOM摂取とし、血漿中アミノ酸解析を含む血液生化学検査を施行、OM摂取群とCM摂取群の比較解析を行った。

血漿アミノ酸解析の結果、総量についてはOM摂取群とCM摂取群で差はなく、組成についてはOM摂取群でタウ

リン濃度の増加を認めた。

血漿中アルデヒド (3DG, GO, MGO) には両群間に差がないことから、アルデヒドトラップ作用に違いはなかった。食後高血糖があると、続いて多種類のアルデヒド生成連鎖反応 (アルデヒドスパーク) が生じ、血液中や細胞内のタンパク質に対しアルキル化・カルボニル化修飾を惹起する。しかし試験食摂取により総アミノ酸が上昇したことで、アルデヒドトラップ効果が期待できる点でOM、CMともに優れた食材である。

末梢血液検査では、CM摂取群で鉄欠乏性変化と考えられる赤血球数、血色素量、ヘマトクリット値の低下が見られたが、OMでは緩和された (Fig. 4)。

MCVはOM摂取群のみ摂取前 (Visit-4) に比較して摂取7日目 (Visit-6) に有意に増加し、CM摂取群との間に群間有意差を認めた。MCHCはOM摂取群、CM摂取群ともに摂取7日目に有意に低下しており、これは鉄欠乏による変化と考えられる。鉄分含有量の高いOMを摂取した群では、赤血球数、血色素量、ヘマトクリット値が保たれており、MCVの変動もOM摂取による恒常性維持の作用を反映し

ていると推測される。また、被験者の赤血球に鉄欠乏性の変化が観察された原因は採血の影響である。このような変動は、過去に臨床試験においても観察されている<sup>6)</sup>。

ビタミンB12がCMではOMよりも高かったことについて考察を加える。今回の被験者は、貧血とまでは言えないまでも、採血により血液量が減少した状態にあるので、恒常性を維持するために鉄分やビタミンB12を消費して造血機能が活発化している。OM摂取群では鉄分とB12を利用して回復させているため、B12消費が増大したと考えられる。一方、CM摂取群では鉄分補給が十分でなく、造血ならびにヘモグロビン合成がそれほど活発ではなく、その分B12消費も少なかったと思われる。その結果として、CM摂取群における血中B12濃度がOMよりも高くなった可能性が考えられる。造血機能の恒常性維持のためには、鉄分、B12、葉酸などの必要成分を、サプリメント配合成分として摂る前に、食餌からタンパク質と共存した食品として摂取することが望ましいと思われる。

タウリンは、生体内で遊離した状態で存在する含硫アミノ酸様化合物の一つである。食物中ではイカやタコ、貝類、甲殻類及び魚類(心臓・脾臓・血合肉)に多く含まれている。主な食品のタウリン含有量(mg/100g)はカキ(1130)、ハマグリ(1080)、タコ(830)、イカ(770)で、畜肉のタウリン含有量は少なく、豚肉(22)、牛肉(30)である。鶏肉のタウリン含有量は部位によって異なり、腿肉(412)、手羽肉(97)、胸肉(29)である<sup>7)</sup>。

## ダチョウ肉の栄養成分

今回の調査でダチョウ肉(120)は、胸肉に比べて、タウリンが豊富であることが判明し、「鉄分が豊富である」と並ぶ特筆すべき特徴といえる。

鶏肉とダチョウ肉の栄養成分(100g当たり)を比較すると、ダチョウもも肉(タンパク質21.9g、脂質1.8g、熱量104kcal)と鶏胸肉(タンパク質23.3g、脂質1.9g、熱量105kcal)はでは類似している。しかし、皮付きもも肉(タンパク質16.6g、脂質14.2g、熱量190kcal)、皮なしもも肉(タンパク質23.3g、脂質5.0g、熱量105kcal)であり<sup>8)</sup>、鶏肉の部位によって脂質が多いことは留意すべきである。

鶏もも肉はタウリンが豊富であるが、皮なしであっても脂質量がやや多い。鶏胸肉は健康志向の方に人気の食材で、その組成は高タンパク質、低脂肪でありダチョウ肉と類似しているが、タウリン補給、鉄分補給の面ではダチョウ肉の方が優れている。ダチョウの5つの異なる食用部位(脚、もも肉、心臓、砂嚢、肝臓)の脂質の構成を調べた結果、もも肉のPUFA/飽和脂肪酸(SFA)が最も高く、n-6/n-3比が最も低く、最も好ましい脂質品質指数を示した<sup>9)</sup>。この点についてはダチョウもも肉の利点となる可能性があり、他の畜肉と比較してみたい。

## タウリンについて

タウリンは生体中のほとんど全ての組織に存在する。ヒトの体内には体重の0.1%のタウリンが含まれ、体重60kgの

ヒトでは約60gのタウリンが存在している<sup>10)</sup>。このうち60-70%は筋肉にあり、Ca<sup>2+</sup>の動員、浸透圧調節作用、抗酸化作用などを介して筋収縮や筋機能維持において重要な役割を担っている<sup>11)</sup>。

タウリンは生体内で重要な働きを示す分子(H<sub>2</sub>N-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>H)であり、含硫アミノ酸(メチオニン、システイン)から合成される。タウリンはカルボキシル基を持たないためアミノ酸には分類されず、原則としてタンパク質を構成せず、生体内で血中、組織液、細胞内に遊離した状態で存在する。脳内ではタウリンがグルタミン酸に次いで2番目に高濃度のアミノ酸類である。タウリンが生体膜を通過する時には、消化管吸収<sup>12)</sup>、腎尿管再吸収<sup>13,14)</sup>、血液網膜関門通過<sup>15)</sup>の過程で輸送体(taurine transporter: TauT)が、肝臓ではγ-amino butyric acid transporter 2 (GAT2)<sup>16)</sup>が関与する。

タウリンは食餌由来と生体内(特に肝臓)で合成されたものがある。食餌由来のタウリンはTauTを介して消化管から吸収された後、門脈を経て肝臓へ移送され、GAT2を介して肝細胞に取り込まれる<sup>16)</sup>。その後、肝静脈を経て、全身の組織・細胞へ供給される。一部のタウリンは、肝臓で胆汁と抱合されて腸管内へ分泌され、糞便中に排泄される。血中タウリンは腎糸球体を介して尿細管に排出されるが、タウリンの充足状況に応じて再吸収される。

また、タウリンは、身体や細胞を正常状態で保つ恒常性維持に重要な役割を果たす。

タウリンが脂質過酸化を抑制することから、抗酸化能を有すると一般的に称されているが、その実態は-NH<sub>2</sub>基によるアルデヒドトラップ作用である。脂質過酸化反応の過程で、酸化ストレス(ROSやフリーラジカルの過剰)により脂肪酸が酸化され脂肪酸由来アルデヒドが形成され<sup>17)</sup>、糖化ストレス(アルデヒド過剰)を惹起する。アルデヒドには強い求電子化合物が多く、核酸やタンパク質などの生体高分子をアルキル化修飾する<sup>18)</sup>。酸化ストレスと糖化ストレス(アルキル化ストレス、カルボニル化ストレスを含む)を適切に区別すべきである。

タウリンの効能としてGSHの増加や温存されることを様々な実験結果が示しているが<sup>19)</sup>、これについても糖化ストレスの視点が必要である。代表的な生体内アルデヒドであるメチルグリオキサール(MGO)がトラップにより減ることで、グリオキサール(MGOを代謝する酵素、補酵素としてグルタチオン[GSH]を消費)の負荷が減り、GSHが温存される。細胞内のアルデヒドの減少はカルボニル化タンパクや終末糖化産物(AGEs)といった異常タンパク質の蓄積を防ぎ、小胞体(ER)ストレスの増加を予防する。

さらに、細胞質内タウリンは浸透圧調節を担う分子として重要である<sup>20)</sup>。脱水など高浸透圧負荷の際にはタウリンが細胞内に移動し細胞を保護し、水中毒などの低浸透圧負荷の時にはタウリンが細胞外へ移動する。

ミトコンドリアが正常な機能を発揮するためには、ミトコンドリアDNAによってコードされるtRNAのタウリン修飾が必須である<sup>21,22)</sup>。タウリン不足や遺伝子変異(ミトコンドリア

ア病など)で修飾不全に陥ると正常なタンパク質合成が阻害され、電子伝達系に支障をきたし、エネルギー産生が低下する。

また、タウリンは胆汁酸と抱合する作用があり、毒性を緩和するほか、胆汁酸の特異的な核内受容体FXRおよびGタンパク質共役受容体TGR-5との親和性調節作用がある。全身のエネルギー代謝の調節に関与している<sup>23)</sup>。

炎症部位では、好中球が分泌する殺菌物質(次亜塩素酸)を中和し、過剰な炎症反応に対し制御的に作用する<sup>24)</sup>。

培養細胞や実験動物における報告に比べ、ヒトにおけるタウリンの研究例は少ない。世界25ヶ国、約2万人を対象に、30年以上進められてきた家森らによる国際的な疫学調査研究(WHO CARDIAC Study)により、食事からのタウリン摂取が生活習慣病の予防に有効である可能性が示されている。尿中タウリン排泄量を指標とした食事からのタウリン摂取量は、虚血性心疾患による死亡率と負の相関が認められた<sup>25)</sup>。さらに、タウリンを多く摂取しているヒトでは、血圧および血中コレステロール量の適正者が多く、肥満者が少ないことが示されている<sup>26)</sup>。

## ダチョウの進化と骨格筋

ダチョウ肉の特性は進化の過程で獲得したものと思われる。ダチョウなどの飛べない鳥は「走鳥類(*Ratitae*)」と呼ばれる。南アメリカのシギダチョウ類(*Tinamidae*)は空を飛ぶことができるが、走鳥類と併せて「古顎類(*Palaeognathae*)」という分類群を構成する。アフリカに分布するダチョウは現生古顎類のなかで最初に他から分かれた。この分岐はゴンドワナ大陸の分裂にあわせて古顎類が種分化した1億年以上前という説と、DNA解析を重視した研究による7900万年前だったという説<sup>27)</sup>が有力と思われる。

走鳥類は、鳥綱ダチョウ目(*Ostriformes*)に属する鳥の総称で、ダチョウ(*Struthio camelus*)、レア(*Rhea americana*)、ヒクイドリ(*Casuaris casuarius*)、エミュー(*Dromaius novaehollandiae*)、モア(*Dinornithidae*)、エピオルニス(*Aepyornis*)、キーウィ(*Apteryx mantelli*)などが含まれる。この仲間はずべて地上生で、飛ぶことはできず、キーウィを除いてみな巨大な鳥である。走鳥類が飛べないのは、かならずしも原始的なためではなく、地上生活に適応して翼や胸筋が退化したためであると考えられている<sup>1,2)</sup>。

ダチョウの走る能力は進化し、その速度は時速70 kmに達する。時速50~60 kmであれば数キロの距離の走行が可能である。ダチョウの走行性能は臀部と大腿上部が発達しバランスの良い解剖学的構造とパワフルで持久力のある筋肉の特性に依存する<sup>4,5)</sup>。特にタウリンはミトコンドリアのエネルギー産生系に必須のアミノ酸であることから、筋力と持久力の双方を発揮するのに重要な役割を果たすと思われる。

## 安全性評価

試験期間中ならびに試験終了後における試験品による有害事象、副作用は認められなかった。タウリンは必要に応じ

輸送体を介して細胞内に取り込まれる。過剰なタウリンは腎臓から尿中へ速やかに排泄され、必要以上のタウリンが体内に蓄積することはない。一方、体内のタウリンが欠乏状態にある場合は、腎臓の尿細管でタウリンの再吸収を増やして尿中排泄を抑制し、体内のタウリン量を維持している。ダチョウ肉の安全性については問題ないと判断した。

## 結論

ダチョウのエサは人が食さない牧草が主体であり、ダチョウ肉の生産にあたっては環境負荷が少ないとされる。高タンパク質・低脂肪の鳥類の肉の中でも、ダチョウ肉は、鶏胸肉に比べて、タウリンと鉄分が豊富に含まれており、健康志向の消費者への安全な食材として有用であることが示された。試験食品(OM, CM)の摂取により血漿中総アミノ酸濃度が上昇したことでアルデヒドトラップ作用が期待でき、食後高血糖に続発するアルデヒドスパークを緩和する点でも優れた食品である。

## 利益相反申告

本研究を遂行するにあたり株式会社 吉野家ホールディングスより支援を受けた。

## 研究助成

競争的研究助成は受けていない。

## 参考文献

- 1) 森岡弘之. 世界の鳥の分類和名-1-ダチョウ目--ジギダチョウ目. 鳥: 日本鳥学会誌. 1980; 29: 99-102.
- 2) 宇田川龍男, 森岡弘之. 原色新鳥類検索図鑑. 北隆館. 2003, 東京.
- 3) 農林水産省. 知ってる?日本の食料事情: 日本の食料自給率・食料自給力と食料安全保障. 農林水産省年報・パンフレット. 2016.  
<https://www.maff.go.jp/j/pr/annual/attach/pdf/kokumin-2.pdf>
- 4) Smith NC, Wilson AM, Jespers KJ, et al. Muscle architecture and functional anatomy of the pelvic limb of the ostrich (*Struthio camelus*). *J Anat.* 2006; 209: 765-779.
- 5) Rankin JW, Rubenson J, Hutchinson JR. Inferring muscle functional roles of the ostrich pelvic limb during walking and running using computer optimization. *J R Soc Interface.* 2016; 13: 20160035.
- 6) Ogura M, Takabe W, Yagi M, et al. Study for investigation of symptomatic improvement and safety of the ingestion of rooster comb degradation product containing low-molecular hyaluronic acid (INJUV) in individuals with knee and lower back pain; open-label trial with no control group. *Glycative Stress Res.* 2018; 5: 55-67.
- 7) 近藤君夫, 中島純子. 畜肉のタウリンについて. 長野県工技センター研報. 2007; 2: F27-F28.
- 8) 文部科学省. 日本食品標準成分表2020年版(八訂). 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告. 2020.  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/syokuhinseibun/mext\\_01110.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_01110.html)
- 9) Antunes IC, Ribeiro MF, Pimentel FB, et al. Lipid profile and quality indices of ostrich meat and giblets. *Poult Sci.* 2018; 97: 1073-1081.
- 10) 赤沼伸乙, 久保義行, 細谷健一. タウリンの体内動態とその動態にトランスポーターが果たす役割. タウリンリサーチ. 2015; 1: 44-46.
- 11) Spriet LL, Whitfield J. Taurine and skeletal muscle function. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2015; 18: 96-101.
- 12) Tochtani S. Taurine: A maternally derived nutrient linking mother and offspring. *Metabolites.* 2022; 12: 228.
- 13) Han X, Patters AB, Jones DP, et al. The taurine transporter: mechanisms of regulation. *Acta Physiol (Oxf).* 2006; 187: 61-73.
- 14) Chesney RW, Han X, Patters AB. Taurine and the renal system. *J Biomed Sci.* 2010; 17 Suppl 1: S4.
- 15) Ito T, Miyazaki N, Schaffer S, et al. Potential anti-aging role of taurine via proper protein folding: A study from taurine transporter knockout mouse. *Adv Exp Med Biol.* 2015; 803: 481-487.
- 16) Ikeda S, Tachikawa M, Akanuma S, et al. Involvement of  $\gamma$ -aminobutyric acid transporter 2 in the hepatic uptake of taurine in rats. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 2012; 303: G291-G297.
- 17) Sato K, Zheng Y, Martin-Morales A, et al. Generation of short chain aldehydes and glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase (GAPDH). *Glycative Stress Res.* 2022; 9: 129-134.
- 18) 内田浩二. 脂質過酸化反応におけるアクロレインの生成とタンパク質修飾. 日本油化学会誌. 1988; 47: 1207-1215.
- 19) Baliou S, Adamaki M, Ioannou P, et al. Protective role of taurine against oxidative stress (Review). *Mol Med Rep.* 2021; 24: 605.
- 20) Burg MB. Molecular basis of osmotic regulation. *Am J Physiol.* 1995; 268: F983-F996.
- 21) Schaffer SW, Jong CJ, Warner D, et al. Taurine deficiency and MELAS are closely related syndromes. *Adv Exp Med Biol.* 2013; 776: 153-165.
- 22) Miyazaki T, Sasaki SI, Toyoda A, et al. Impaired bile acid metabolism with defectives of mitochondrial-tRNA taurine modification and bile acid taurine conjugation in the taurine depleted cats. *Sci Rep.* 2020; 10: 4915.
- 23) Sharma R, Long A, Gilmer JF. Advances in bile acid medicinal chemistry. *Curr Med Chem.* 2011; 18: 4029-4052.
- 24) Marcinkiewicz J, Kontny E. Taurine and inflammatory diseases. *Amino Acids.* 2014; 46: 7-20.
- 25) Yamori Y, Nara Y, Ikeda K, et al. Is taurine a preventive nutritional factor of cardiovascular diseases or just a biological marker of nutrition? *Adv Exp Med Biol.* 1996; 403: 623-629.
- 26) Sagara M, Murakami S, Mizushima S, et al. Taurine in 24-h urine samples is inversely related to cardiovascular risks of middle aged subjects in 50 populations of the world. *Adv Exp Med Biol.* 2015; 803: 623-636.
- 27) Yonezawa T, Segawa T, Mori H, et al. Phylogenomics and morphology of extinct paleognaths reveal the origin and evolution of the ratites. *Curr Biol.* 2017; 27: 68-77.