鶏のエネルギー代謝に関する研究

V. 維持および体重増加に対する各種栄養素の熱量増加

桜井 斉・田先威和夫

(名古屋大学農学部)

(1966. 11. 19 受付)

著者らはさきに、鶏における飼料の給与水準とエネルギー利用との関係を調査し、哺乳動物における成績と比較検討した⁸⁴⁾。その結果、飼料の代謝エネルギーは、哺乳動物と同様にエネルギーの給与水準による影響はなく、比較的一定の割合を示した。しかし、摂取エネルギーと熱発生との関係は、哺乳動物と鶏で趣を異にする。すなわち、哺乳動物ではエネルギーの給与水準を高めるにつれて、熱発生は上昇勾配で増加するが、鶏では維持以下のエネルギーの給与水準では、給与エネルギーの増加とともに熱発生は直線的に増加し、また、維持以上にエネルギーを給与すると、熱発生の上昇率は著しく低下した。以上の成績をもとに、エネルギーの各給与水準における熱量増加を求めると、鶏ではエネルギーの給与水準の増加とともに順次低下した。なお、維持時の熱発生を基準にして、維持に必要な量以上の物質およびエネルギーを給与したときにみられる体物質の増加蓄積（これを体重増加という言葉で示す）時の熱量増加を求めると、絶食時の熱発生を基準にした維持時における熱量増加（維持に対する熱量増加）よりもはるかに低い結果を得た。このことは、鶏における飼料摂取による熱量増加は、哺乳動物と非常に異なり、鶏に対する飼料の生産価決定に際し、上述の特質を特に考慮しなければならないことを示している。

前報⁸⁴⁾において得られた成績は、各種栄養素の混在した慣用飼料についての結果であるので、さらに各栄養素を単独にまたは混合して与えたときの熱量増加を知り、さらに栄養素のバランスによつてどのように熱量増加が変化するかを調査検討する目的で試験を行なつたので、その結果を本報において報告することとした。

実験方法

本試験は、絶食時の熱発生を基準にした維持時における各栄養素の熱量増加の測定と、維持時の熱発生を基準にした体重増加に対する熱量増加の測定の二つに分かれ

ている。

維持に対する栄養素の熱量増加測定には、第1表に示す飼料を用いた。すなわち、蛋白質、炭水化物、および脂肪を単独に給与するために、カゼイン・ゲラチン飼料、ラード飼料、およびコーンスターチ飼料を、またこれらの栄養成分を2種以上組合せて給与するために、カゼイン・コーンスターチ飼料、カゼイン・ゲラチン・コーンオイル飼料、コーンスターチ・コーンオイル飼料、およびカゼイン・コーンスターチ・コーンオイル飼料を用いた。供試飼料のエネルギーおよび窒素含量は、各成分の実測値より計算した。また2種以上の栄養成分を組合せた場合には、それぞれの代謝エネルギー含量がほぼ等しくなるように配合した。蛋白質飼料として、カゼインにゲラチンを加えた理由は、強制給飼をする場合に、飼料を団子状にする便宜からであつた。

体重増加に対する栄養素の熱量増加を測定する試験は、市販大雛用配合飼料（粗蛋白質含量14%）にコーンスターチを16.6%混合したものを基礎飼料とし、これに前記栄養成分を添加して行なつた。基礎飼料の窒素および全エネルギー含量は、それぞれ1.89%（粗蛋白質換算11.8%）および3.75 kcal/gであつた。なお、本試験に用いたカゼインの分析値は、維持に対する熱量増加の測定に用いたものと若干異なり、全エネルギー含量は5.34 kcal/g、窒素含量は13.0%であつた。

著者らは前報⁸⁴⁾において、精製飼料および実用飼料につき、維持に必要な給与量を決定した。その結果、体重(kg)^{0.75}当り、精製飼料では150 kcalの、また実用飼料では110 kcalの代謝エネルギーを給与することが必要であるとした。しかし、カゼイン・ゲラチン飼料およびラード飼料を多量に与えると、鶏は食滞などの異常な状態になつた。さらに糞の状態および鶏の外部所見などより、これらの飼料の給与限界が体重(kg)^{0.75}当り110 kcalの代謝エネルギー（精製飼料の維持に必要なエネルギーの70%）であることが観察されたので、維持に対す

Table 1. Composition of purified diets and their energy and nitrogen contents

Ingredients	Total energy	Nitrogen	Experimental diet						
			Casein-gelatin diet	Corn starch diet	Lard diet	Casein-corn starch diet	Casein-gelatin-corn oil diet	Corn starch-corn oil diet	Casein-corn starch-corn oil diet
	kcal/g	%	%	%	%	%	%	%	%
Casein	5.25	12.9	45.00	—	—	41.50	32.50	—	35.00
Gelatin	4.40	12.7	45.00	—	—	—	32.50	—	—
Corn starch	3.62	0.1	—	90.00	—	48.50	—	65.00	40.00
Lard	9.48	—	—	—	80.00	—	—	—	—
Corn oil	9.33	—	—	—	—	—	25.00	25.00	15.00
Powdered filter paper	3.73	—	2.50	2.50	5.00	2.50	2.50	2.50	2.50
Agar agar	3.86	—	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Aluminum silicate	—	—	1.16	1.16	2.32	1.16	1.16	1.16	1.16
Mineral* mixture	—	—	4.82	4.82	9.64	4.82	4.82	4.82	4.82
Vitamin* mixture	—	—	0.52	0.52	1.04	0.52	0.52	0.52	0.52
Total	—	—	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Total energy (kcal/g)	—	—	4.47	3.39	7.84	4.07	5.60	4.81	4.82
Nitrogen (%)	—	—	11.52	0.05	—	5.39	8.32	0.04	4.54

* See TASAKI and SAKURAI⁸²⁾

る熱量増加の測定には、全飼料とも体重 (kg)^{0.75} 当り 110 kcal を給与した。

体重増加に対する熱量増加の測定には、前記の基礎飼料を維持必要量 (体重 (kg)^{0.75} 当り 110 kcal) 給与し、これに各栄養成分を単独に、あるいは組合せて、代謝エネルギーで維持量の 40% 相当量を添加給与した。

供試鶏には、いずれも人工肛門を設着した 7~8 か月令 (体重 2~2.5 kg) の交雑種 (横斑プリマスロック種 ♀ × 単冠白色レグホン種 ♂) を用いた。

維持に対する熱量増加の測定には、あらかじめ基礎代謝率を測定し、基礎代謝率が体重 (kg)^{0.75} 当り 80 kcal より低い群と高い群 (それぞれ平均 71 kcal および 84 kcal) の 2 群に分け、それぞれ 4 羽ずつを供試した。基礎代謝率を測定した後は、慣用飼料を給与して体重の回復をはかり、その後供試飼料を午前 8 時と午後 4 時に分けて等量ずつ給与した。試験期間は予備期 4 日、本試験期 3 日とし、本試験期に代謝エネルギーの測定と、その第 1 日および第 3 日に午前 8 時 30 分から午後 3 時 30 分に到る 6 時間の呼吸試験を行なった。

体重増加に対する熱量増加の測定においては、基礎代

謝率のちがいによる群に分けて測定することをしなかつた。それは前報⁸⁴⁾に示したように、体重増加時には、基礎代謝率のちがいによる熱量増加の差がみられなかつた結果によるものである。本試験では、8羽の供試鶏について、あらかじめ基礎飼料に基づく維持時のエネルギー代謝を測定し、ひきつづき各種栄養成分を添加して試験した。その試験期間はそれぞれ予備期を 3 日、本試験期を 4 日とし、この間に代謝エネルギーを測定し、さらに呼吸試験を維持に対する熱量増加の試験と同様に各 3 回ずつ行なった。なお呼吸試験、熱発生量の測定および基礎代謝率の決定は前報^{81,82)}に示した方法によつた。

なお、これらの試験は、維持に対する熱量増加の試験において、基礎代謝率測定後に体重を回復させる時を除き、すべて 21°C の調温室内で行なった。

実 験 結 果

1. 飼料窒素の利用状況

供試栄養成分を単独に、または 2 種以上組合せて給与した場合の飼料中窒素の利用状況を示すと第 2 表のごとくである。すなわち、体重 (kg)^{0.75} 当り代謝エネルギー

鶏における栄養素の熱量増加

で 110 kcal を給与して測定したカゼインを含む飼料の窒素の消化率は、基礎代謝率の高低、あるいは栄養成分の組合せいかんに関係なく、91~93% とほとんど一定であつた。また摂取窒素に対する尿中窒素の排泄割合は、摂取窒素の最も少ないカゼイン・コーンスターチ・コーンオイル飼料を給与したときが最も少なく、他の飼料ではほぼ同一の水準を示した。その結果、カゼイン・コーンスターチ・コーンオイル飼料給与区のみが窒素の蓄積を示し、他はいずれも窒素出納はほぼ平衡にちかかつた。

なお表には示されていないが、蛋白質を含まない飼料を与えた場合に、体重 (kg)^{0.75} 当り糞および尿中に排泄した窒素量は、基礎代謝率の低い群では、ラード飼料でそれぞれ 79 mg および 253 mg, コーンスターチ飼料でそれぞれ 63 mg および 168 mg, コーンスターチ・コーンオイル飼料では 49 mg および 153 mg であり、基礎代謝率の高い群では、ラード飼料でそれぞれ 72 mg, 390 mg, コーンスターチ飼料で 45 mg, 281 mg, およびコーンスターチ・コーンオイル飼料で 49 mg, 283 mg と

Table 2. Utilization of nitrogen

Experiment	Grouping by Basel metabolic rate	Diet	Nitrogen intake/bird/day	Nitrogen utilization (Mean+SE)		
				Digestibility	Urinary excretion/intake	Retention/intake
Maintenance* (4 birds each)	Below 80 kcal/W (kg) ^{0.75}	Casein-gelatin	g	%	%	%
		Casein-corn starch	7.0	93±1	94±8	- 1±7
		Casein-gelatin-corn oil	3.4	92±0	91±10	+ 1±3
		Casein-corn starch-corn oil	4.1	93±0	97±4	- 4±3
	Above 80 kcal/W (kg) ^{0.75}	Casein-gelatin	2.4	91±1	81±6	+10±7
		Casein-corn starch	7.0	93±1	95±6	- 2±4
		Casein-gelatin-corn oil	3.6	92±0	96±6	- 4±5
		Casein-corn starch-corn oil	4.2	93±1	94±9	- 1±8
Body mass increase** (8 birds each)	Including both	Basal	2.5	91±1	85±4	+ 6±5
		Basal+casein	1.4	77±1	68±4	+ 9±4
		Basal+corn starch	4.7	91±1	74±3	+17±3
		Basal+corn oil	1.5	77±2	60±3	+17±4
		Basal+casein-corn starch	1.4	79±2	63±5	+16±5
		Basal+casein-corn oil	3.1	86±1	63±2	+23±2
		Basal+corn starch-corn oil	3.0	87±1	64±3	+23±3
		Basal+casein-corn starch-corn oil	1.5	78±2	60±5	+18±5
		Basal	2.6	85±1	58±7	+27±5
		Basal+casein	1.4	77±1	68±4	+ 9±4
		Basal+corn starch	4.7	91±1	74±3	+17±3
		Basal+corn oil	1.5	77±2	60±3	+17±4
		Basal+casein-corn starch	1.4	79±2	63±5	+16±5
		Basal+casein-corn oil	3.1	86±1	63±2	+23±2
		Basal+corn starch-corn oil	3.0	87±1	64±3	+23±3
		Basal+casein-corn starch-corn oil	1.5	78±2	60±5	+18±5

* Birds were fed 110 kcal/W(kg)^{0.75}

** Birds were fed 110 kcal (basel)+55 kcal (suppl.) on W(kg)^{0.75} basis.

なった。

基礎飼料を維持に必要な量 ($110 \text{ kcal/体重 (kg)}^{0.76}$) だけ与えたときの窒素の消化率は 77% であった。なおこれにコーンスターチまたはコーンオイルを単独に、あるいは組合せて、それぞれ維持必要エネルギーの 0.5 倍に相当する量を添加給与しても、基礎飼料の消化率と差がなかった。しかし、カゼインが添加されると、その添加量が増すにつれて窒素の消化率は増加することが認められた。また摂取窒素に対する尿排泄窒素の割合は、基礎飼料のみを給与した場合に比較して、コーンスターチまたはコーンオイルの添加により減少の傾向を示した。しかしカゼインのみを添加すると、尿中排泄窒素の割合は増加したが、これを他の栄養成分と組合せて給与すると、窒素の排泄割合は減少し、特にカゼイン・コーンスターチ・コーンオイルの混合添加による減少が著しかった。以上の結果から、基礎飼料に各種栄養成分を添加すると、いずれの場合も窒素の蓄積が増加することが明らかにになった。

2. 飼料エネルギーの利用状況

各飼料給与時の飼料エネルギーの利用状況を示すと第 3 表のごとくである。すなわち、体重 ($\text{kg})^{0.76}$ 当り 110 kcal を給与したときの各飼料エネルギーの消化率は、ラード飼料の 65% を除き、他の飼料はいずれも 89~92% となつて、栄養成分の組合せおよび基礎代謝率の高低に関係なくほとんど一定であることが観察された。

摂取エネルギーに対する尿中エネルギーの排泄割合も、基礎代謝率とは関係なく、蛋白質を含まない飼料ではいずれも 2~3% の間にあり、また蛋白質を含むものでは、摂取窒素量の増加に伴なつて尿中排泄エネルギーの割合は増加した。なお尿中排泄窒素 1g 当りの尿中排泄エネルギーは、蛋白質を含まない飼料では 11.9~15.9 kcal であったが、蛋白質を含む飼料では 9.5~10.0 kcal とほとんど一定であった。以上の結果より、摂取全エネルギーに対する代謝エネルギーの割合は、消化率の低いラード飼料では 58 および 65% であったが、他の飼料は 63~93% の間にあり、基礎代謝率の高低とは関係なく、尿中のエネルギー排泄量の増減に逆比例していた。

なお、本試験では、前報²⁹⁾において精製飼料を給与するときの体重平衡に必要であると考えられたエネルギー量 ($150 \text{ kcal/体重 (kg)}^{0.76}$) の 70% 相当量を給与したが、体重は減少しているにもかかわらず、カゼイン・ゲラチン飼料およびラード飼料を除いて、いずれも代謝エネルギー摂取量よりも熱発生量が少なく、したがつてエネルギーが蓄積される結果となつた。

基礎飼料を維持に必要な量給与したときのエネルギー

の消化率は 78% であったが、これに各種栄養成分を添加すると、エネルギーの消化率はすべて 83~84% に増加し、しかも添加した栄養成分の種類に関係なく一定であった。

摂取全エネルギーに対する尿中エネルギーの排泄割合は、基礎飼料のみでは 4% であったが、これにコーンスターチまたはコーンオイルを単独にまたは組合せて添加給与すると減少の傾向がみられ、カゼインを単独にまたは他の成分と組合せて添加すると逆に増加した。しかしカゼイン・コーンスターチ・コーンオイルの添加飼料では、両者の効果が打消されて 4% にとどまつた。また尿中排泄窒素 1g 当りの尿中排泄エネルギーは、各飼料とも 10.5~13.5 kcal の間にあったが、コーンスターチを単独に、またはコーンオイルとの組合せで添加給与するとやや高くなり、カゼインを含む飼料ではむしろ低くなる傾向にあった。

したがつて、摂取全エネルギーに対する代謝エネルギーの割合は、基礎飼料で 73% となつたが、これにカゼインのみを添加しても変化せず、コーンスターチあるいはコーンオイルが添加されると増加する結果を得た。以上の成績から、添加栄養成分のみの代謝エネルギーを計算すると、カゼインはその全エネルギーの 75%、コーンスターチおよびコーンオイルでは全エネルギーのほとんど 100% が代謝エネルギーとなつた。また各栄養成分が同時に 2 種以上添加給与された場合の代謝エネルギーは、コーンスターチ・コーンオイルではほぼ 100%、カゼイン・コーンスターチ・コーンオイルでは 90%、カゼイン・コーンスターチまたはカゼイン・コーンオイルで 86~88% となつた。

摂取全エネルギーに対する熱発生割合は、基礎飼料では 75% であったが、基礎飼料に各種栄養成分を添加すると 55~60% となり、いずれの場合も減少することが認められた。このように代謝エネルギーが増加し、熱発生が減少した結果、基礎飼料に各種栄養成分を添加すると、20~25% のエネルギー蓄積がおこることがわかつた。

3. 各栄養成分の維持および体重増加に対する熱量増加

維持および体重増加に対する各栄養成分の熱量増加を示すと第 4 表のごとくである。すなわち、体重 ($\text{kg})^{0.76}$ 当り代謝エネルギーで 110 kcal を 1 種の栄養成分で供給した場合に、摂取代謝エネルギーに対する熱量増加の割合は、カゼイン・ゲラチンおよびコーンスターチではほとんど等しく、ラードは低い値を得た。これらの栄養成分を 2 種以上組合せて給与したときの熱量増加は、カゼイン・ゲラチン・コーンオイルの組合せで低く、コー

鶏における栄養素の熱量増加

Table 3. Utilization of energy.

Experiment	Basal metabolic rate	Diet	Energy intake/ kg ^{0.75} /day	Energy utilization (Mean±S.E.)						
				Digestibility	Urinary excretion/intake	Urinary energy/ 1 g of urinary nitrogen	Metabolizable energy/intake		Heat production/intake	Retention/intake
							whole diet	supplement		
Maintenance	Below 80 kcal/W(kg) ^{0.75}	Casein-gelatin	kcal	%	%	kcal	%	%	%	%
			149	89±1	23±1	9.5±0.6	63±1		68±1	- 5±2
		Corn starch	140	90±2	2±0	15.5±0.9	90±2		77±8	+13±8
		Lard	135	65±10	2±0	13.8±0.1	58±11		59±6	- 1±12
		Casein-corn starch	135	91±1	11±1	9.4±0.5	79±1		72±5	+ 7±5
		Casein-gelatin-corn oil	141	91±1	14±1	9.5±0.6	78±1		63±3	+15±3
		Corn starch-corn oil	132	89±2	2±0	15.9±0.0	90±3		80±4	+10±5
		Casein-corn starch-corn oil	134	90±2	8±1	10.1±1.1	82±2		70±9	+12±7
	Above 80 kcal/W(kg) ^{0.75}	Casein-gelatin	149	89±1	24±1	9.7±0.4	65±1		72±5	- 7±4
		Corn starch	137	93±0	3±0	13.1±0.7	93±0		83±3	+10±3
		Lard	139	65±9	3±1	11.9±0.4	65±9		71±2	- 6±9
		Casein-corn starch	139	91±0	12±1	9.6±0.3	78±1		77±4	+ 1±3
		Casein-gelatin-corn oil	145	90±1	14±2	9.6±1.4	77±2		69±2	+ 8±3
		Corn starch-corn oil	134	92±1	3±0	13.4±1.4	91±1		86±2	+ 5±2
		Casein-corn starch-corn oil	137	90±2	8±0	10.0±0.7	82±2		78±3	+ 4±3
Body mass increase	Including both	Basal	154	78±1	4±1	12.6±0.4	73±1	—	75±6	- 2±4
		Basal+casein	214	84±0	8±0	10.5±0.3	75±3	75±1	55±4	+20±4
		Basal+corn starch	203	84±0	3±1	13.0±0.5	81±1	99±2	60±5	+21±5
		Basal+corn oil	203	84±1	3±1	11.6±0.6	81±0	100±1	57±5	+24±5
		Basal+casein-corn starch	192	83±2	5±0	11.0±0.4	76±2	86±3	51±8	+25±7
		Basal+casein-corn oil	192	83±2	5±0	11.1±0.6	77±1	88±4	56±4	+21±3
		Basal+corn starch-corn oil	191	83±1	3±0	13.5±0.2	79±1	99±4	58±3	+21±3
		Basal+casein-corn starch-corn oil	194	83±1	4±0	11.2±1.0	77±1	90±2	57±3	+20±4

Table 4. Heat increment as expressed in percent of metabolizable energy

Nutrient	Maintenance ¹⁾		Body mass increase ²⁾
	Low B.M.R. (below 80 kcal/kg ^{0.75})	High B.M.R. (above 80 kcal/kg ^{0.75})	
Casein-gelatin Casein	27±4	23±1	17±5
Corn starch	28±7	23±2	19±3
Lard Corn oil	25±2	15±3	8±3
Casein-corn starch	25±5	20±3	18±3
Casein-gelatin- corn oil Casein-corn oil	18±2	15±2	6±3
Corn starch-corn oil	27±6	22±2	11±3
Casein-corn starch- corn oil	21±7	18±2	11±3

1) Based on basal metabolic rate

2) Based on maintenance heat production

ンスターチ・コーンオイルおよびカゼイン・コーンスターチの組合せで高い結果を得た。なお、基礎代謝率の低い群は高い群に比していずれの場合も高い熱量増加が得られた。

つぎに、体重増加に対する各栄養成分の熱量増加は、摂取代謝エネルギー 100 kcal 当りコーンオイルでは 8 kcal で非常に低く、カゼインとコーンスターチは 17 kcal および 19 kcal と高くなった。これらの栄養成分を同時に 2 種以上組合せて給与した場合の熱量増加は、カゼイン・コーンスターチが 18 kcal と最も高く、コーンスターチ・コーンオイルおよびカゼイン・コーンスターチ・コーンオイルの組合せではいずれも 11 kcal であり、カゼイン・コーンオイルの組合せでは 6 kcal と非常に少なかった。

考 察

第 2 表に示したごとく、窒素の消化率は、カゼインをゲラチンまたはコーンスターチあるいはコーンオイルと組合せて給与した場合に差を認めなかった。また、基礎飼料として市販大雑用飼料にコーンスターチを 16.6% 添加した飼料を維持に必要な量だけ給与し、さらにカゼインを単独にまたはコーンスターチあるいはコーンオイルとの組合せで加給すると、カゼインの添加量が増すにつれて、給与飼料中の窒素の消化率は 85% から 91% に増加した。しかしカゼインのみの消化率を計算すると

基礎飼料にカゼインのみを添加した場合は 97%, カゼイン・コーンスターチ混合物を添加したときは 94%, カゼイン・コーンオイル混合物を添加したときは 96%, カゼイン・コーンスターチ・コーンオイル混合物を添加した飼料では 96% となり、添加栄養成分の組合せによつてもカゼインの消化率に差異のないことが明らかになった。また、基礎飼料にコーンスターチあるいはコーンオイルを添加しても、基礎飼料の窒素の消化率に差異を生じないことも観察された。

有吉¹⁾によると、鶏における内因性糞窒素の排泄量は、体重 (kg)^{0.75} 当り 39~43 mg であり、内因性尿中窒素排泄量は、体重 (kg)^{0.75} 当り 156~238 mg で鶏群により差異が著しく、また安定した値を示すのに無蛋白質飼料給与後約 2 カ月を要するとしている。著者らの成績では、内因性糞窒素は 45~79 mg であり、内因性尿窒素は 153~390 mg で、それぞれ給与飼料により大きな差異がみられた。すなわち、内因性糞窒素および尿窒素の排泄量は、コーンスターチ・コーンオイル飼料で少なく、ついでコーンスターチ飼料、ラード飼料の順で増加した。有吉と著者らの試験においては、飼料の種類、給与量および給与期間が異なるので、その結果、内因性糞窒素および内因性尿窒素の排泄量に差が生じたものと考える。

基礎飼料にカゼインのみを添加給与した場合の、摂取窒素に対する尿中排泄窒素の割合は、基礎飼料のみを給与した場合に比して大きかったが、カゼインを非蛋白質

栄養成分とともに添加給与すると、基礎飼料のみの給与に比してむしろ減少の傾向を示した。また基礎飼料に非蛋白質栄養成分のみを添加給与した場合には、摂取窒素に対する尿中排泄窒素の割合は、基礎飼料のそれよりも減少した。この事實は、前報²⁴⁾において FORBES *et al.*¹¹⁾ による牛の成績と比較して示したように、鶏はエネルギーとともに窒素もよく蓄積することを示すものである。

ROSE and ARSCOTT²¹⁾ および ARSCOTT²¹⁾ は、鶏における大麦のエネルギーの消化率あるいは代謝エネルギーは、これをトウモロコシと同時に給与することにより著しく改善されることを報告している。また脂肪は、その種類が異なつても、含有する全エネルギーは比較的よく一致しているが、消化率および代謝エネルギーには大きな差異のあることが SIBBALD *et al.*²⁵⁾ CULLEN *et al.*¹⁰⁾ により報告されている。しかし一方 SIBBALD *et al.*²⁷⁾ は、代謝エネルギーの測定に用いる基礎飼料の組成のちがひによつて、一般に用いられている単味飼料の代謝エネルギーに差異を生じないことを、また McINSTASH *et al.*²¹⁾ は、栄養的に不均衡な穀類と、基礎飼料に穀類を混合した均衡飼料において、穀類の代謝エネルギーはいずれの場合にも差異のないことを報告している。これは、飼料の栄養的バランスによつて、その代謝エネルギーにはほとんど差異を生じないことを示すものである。これらのことは、著者らの成績によつても実証されている。すなわち、飼料エネルギーの消化率は、エネルギーの摂取量をほぼ同一にした場合には、窒素の消化率と同様に、栄養成分の組合せおよび供試鶏の基礎代謝率の高低に関係なくほとんど一定であることが認められたからである。

摂取全エネルギーに対する尿エネルギーの排泄割合は、蛋白質を含む精製飼料では、尿中窒素排泄量に比例し、尿中排泄窒素 1g に相当する尿エネルギーは 9.4~10.1 kcal とほとんど一定であつた。しかし蛋白質を含まない精製飼料では、尿中窒素 1g に相当する尿中排泄エネルギーは 11.9~15.8 kcal と前者よりも高くなつた。また基礎飼料のみでは、尿中排泄窒素 1g 当りの尿中排泄エネルギーは 12.6 kcal であつたが、これにカゼインを添加するとやや減少し、コーンスターチを添加するとやや増加する傾向を示した。SELL and McKIRDY^{29,30)} は、脂肪含量が 1.4% の半精製飼料を給与した場合と、これにナタネ油を 10.3% 添加給与した場合とで、雄鶏における尿中排泄脂肪は増加せず、尿中窒素 1g に相当する尿エネルギーはそれぞれ 10.73 ± 0.51 kcal および 10.81 ± 0.31 kcal となり、全く差のなかつたことを報告している。一方、BLAXTER⁴⁾ は、非反芻動物および絶食

時の反芻動物の尿中窒素 1g に相当する尿エネルギーは、いずれも 8~9 kcal とほとんど一定で、これは蛋白質代謝による尿素およびその他の含窒素代謝産物の燃焼熱によつてほとんどがしめられる。また、反芻動物に炭水化物含量の高い飼料を給与すると、尿中窒素 1g に相当する尿エネルギーは 20~30 kcal にも増加するとしている。これらの結果は、給与飼料の種類およびその組成により、尿中に排泄する窒素とエネルギーの関係が異なることを示している。

以上のごとく、飼料エネルギーの消化率と尿中に排泄される割合から、供試栄養成分を単独にまたは組合せて給与した場合には、ラード飼料およびカゼイン・グラチン飼料はその代謝エネルギーが低く、コーンスターチ飼料ではその代謝エネルギーが高く、また、カゼインを含む飼料では、窒素の含量が増すにつれて低下する傾向を示した。基礎飼料に栄養成分を添加した場合には、コーンスターチおよびコーンオイルを単独にまたは組合せて給与するとその代謝エネルギーは高く、カゼインまたはカゼインを含む栄養成分の添加では、カゼインの含量と無関係に、代謝エネルギーはほぼ一定となつた。

各種栄養成分を組合せて給与した場合の代謝エネルギーの実測値と、各栄養成分を単独に給与して測定した値を用いて算出した代謝エネルギー値とを比較すると、第 5 表に示すごとく、両者の間には全く差異を認めなかつた。このことは、すでに述べたごとく、飼料の栄養的バランスが異なつても、その代謝エネルギーにはほとんど差を認めないとする SIBBALD *et al.*²⁷⁾ および McINSTASH *et al.*²¹⁾ の成績と一致している。

摂取飼料による熱量増加が、その測定基準あるいは比較基準によつて異なることはすでに前報²⁴⁾で述べた。しかし哺乳動物で得られた成績¹⁹⁾によると、栄養成分の熱量増加は、絶食時の熱発生を基準にしても、また維持時の熱発生を基準にしても、ほぼ同一の傾向を示し、その順位は、脂肪が最も低く、炭水化物がこれにつぎ、蛋白質では炭水化物の 2 倍以上の熱量増加が示されている。哺乳動物における栄養成分の熱量増加と、鶏におけるそれとでいかなる差があるかを検討するために、KRISSE *et al.*¹⁹⁾ および FORBES *et al.*¹³⁾ らの行なつたラットについての成績と著者らの鶏における成績とを比較してみた。KRISSE *et al.*¹⁹⁾ によると、維持に対するカゼインの熱量増加は代謝エネルギーの 23.6%、コーンスターチでは 12.9%、またラードで 4.9%であることを示している。著者らは、カゼインのみの熱量増加を測定していないが、かりにカゼイン・グラチン混合物の測定値をこれに代用して論ずるならば、著者らの鶏における成績（第

Table 5. Comparison of observed and estimated values of metabolizable energy (ME) and heat increment (HI)

Experiment	Basal metabolic rate	Diet	ME (% of total energy)		HI (% of ME)	
			observed	estimated	observed	estimated
Maintenance	Below 80 kcal/W (kg) ^{0.75}	Casein-corn starch	79	77	25	28
		Casein-gelatin-corn oil	78	76	18	26
		Corn starch-corn oil	90	90	27	26
		Casein-corn starch-corn oil	82	81	21	27
	Above 80 kcal/W (kg) ^{0.75}	Casein-corn starch	78	78	20	23
		Casein-gelatin-corn oil	77	77	15	19
		Corn starch-corn oil	91	93	22	19
		Casein-corn starch-corn oil	82	82	18	20
Body mass increase	Including both	Basal + casein-corn starch	86	87	18	18
		Basal + casein-corn oil	88	87	6	12
		Basal + corn starch-corn oil	99	99	11	13
		Basal + casein-corn starch-corn oil	90	91	11	14

4 表) ではいずれもラットのそれより高い熱量増加がみられた。またラットでは、コーンスターチの熱量増加はカゼインの約 50%，ラードは 20% と大きな差がみられたが、鶏では三者の間にほとんど差が認められない。このように、維持に対しては鶏はラットよりも飼料の利用性が劣るにもかかわらず、体重増加に対する飼料の熱量増加はむしろ逆の結果を示している。すなわち FORBES and SWIFT¹³⁾ によると、カゼイン単独給与の熱量増加は摂取代謝エネルギーに対して 42.7%，コーンスターチ 20.7%，ラード 16.6% となり、またこれらを組合せるとカゼイン・コーンスターチで 26.9%，カゼイン・ラード 13.1%，コーンスターチ・ラード 12.6%，カゼイン・コーンスターチ・ラード 20.3% を示している。これを著者らの鶏における成績（第 4 表）と比較するといずれも熱量増加が高く、とくに蛋白質および蛋白質と他の栄養素の併用でその差が大きかった。

動物が飼料を摂取したときに熱量増加がどうして生ずるかについての定説は完全になされていないが、従来の

研究によると単胃動物においては、消化吸収された栄養成分の代謝および同化の過程において、特異的的作用があることによるとされている⁹⁾。哺乳動物に対する蛋白質の熱量増加についてなされた説明^{8, 9)}によると、その全熱量増加のうち、約 40% が窒素の代謝、排泄の過程において生じ、残り 60% は蛋白質より生じた炭素化合物の代謝に基づくものであろうとされ、蛋白質が炭水化物および脂肪に比し熱量増加が特に高いことは、その脱アミノ、尿素の形成および排泄などの代謝過程に多くのエネルギーが消費されるからであるとしている。また柴田²⁴⁾ は、反芻動物における低級脂肪酸の熱量増加は、蛋白質のそれに匹敵することを認め、その原因は低級脂肪酸の容易に代謝される低分子性にあるとしている。

哺乳動物では、維持および体重増加に対する蛋白質の熱量増加が、炭水化物のそれの 2 倍以上であるのに反し、鶏では両者に差が認められない。それは、蛋白質による発生熱量が、鶏は哺乳動物に比し約 10% 低い^{8, 32)} こと、また、鶏^{24, 25)} は哺乳動物^{8, 9)} に比し飼料の消化吸収および

代謝速度が著しく早く、それは特に消化吸收しやすい澱粉を給与した場合に著しいと考えられる。したがって、コーンスターチを給与した場合には、蛋白質の給与により生ずるアミノ酸の血中濃度よりも、低分子でしかも代謝速度の早いアルコールおよびグルコースの血中濃度が高まり^{5,86)}、その結果、血中の代謝性物質の異化作用が促進されるという Lusk²⁰⁾ の説 (plethora theory) により、鶏においては炭水化物の熱量増加が、哺乳動物におけるよりも相対的に高くなることが説明される。

HOEBLER¹⁷⁾ は、食物蛋白質が蓄積されるときには、熱量増加が非常に低くなることを観察している。したがって、維持に対するよりも、体重増加に対する蛋白質および脂肪の熱量増加が低いことは、体重増加時にはそれらの蓄積がおこるためであろう。また、鶏の体重増加に対する蛋白質および脂肪の熱量増加が、ラットのそれに比し低いことは、鶏の方が蛋白質分解による熱発生量が少ないこと⁸³⁾と、エネルギーの蓄積能が高いことを示すものであろう。

KLEIBER¹⁸⁾ は、飼料中に種々のミネラルが欠乏した場合に、飼料の代謝エネルギーには差を生じないが、熱量増加が増すことを牛およびラットについて観察した。同一飼料を給与した場合には、その給与量が異なっても、また飼料組成あるいは配合割合が異なっても、飼料の代謝エネルギーにはほとんど影響しないことはすでに述べた。しかし、栄養成分を2種以上組合せて給与した場合における熱量増加は、1種の栄養成分を給与して測定した熱量増加の値を用いて算出した値よりも概して低い値が得られること、すなわち栄養成分のバランスによつて熱量増加が異なることを、FORBES *et al.*^{12,13)} はラットについて報告している。MITCHELL²²⁾ は、栄養成分のバランスのとれた飼料を与えるときに、その代謝エネルギーの正味利用率は最大になると仮定した。著者らの得た試験結果によると、第5表に示したごとく、維持に対して給与したコーンスターチ・コーンオイルの組合せを除いて、他のすべての給与形態で FORBES *et al.*¹³⁾ の示した結果と同様のことが認められた。ラットにおいては、飼料中の脂肪含量が増すにつれて熱量増加が低下することを FORBES *et al.*¹⁴⁻¹⁶⁾ は報告している。鶏では、飼料中の蛋白質含量が増しても、脂肪含量が増せば熱量増加が低下する。このことは、鶏における脂肪給与による熱量増加が哺乳動物のそれより低いことと相まつて、鶏は哺乳動物に比し、高蛋白質、高脂肪飼料の利用性がよいことの理論的解釈を与えるものである。

要 約

維持および体重増加に対し給与した栄養素の熱量増加が、栄養素のバランスによつてどのように変化するかを調査するために本試験を行なった。維持に対する栄養素の熱量増加の測定には、栄養成分を単独に給与するために、カゼイン・ゲラチン飼料、コーンスターチ飼料、およびラード飼料を、また栄養成分を同時に2種以上組合せて給与するために、カゼイン・コーンスターチ飼料、カゼイン・ゲラチン・コーンオイル飼料、コーンスターチ・コーンオイル飼料、およびカゼイン・コーンスターチ・コーンオイル飼料を用いた。体重増加に対する栄養素の熱量増加の測定には、基礎飼料として市販大雑用飼料に16.6%のコーンスターチを混合したものを維持必要量与え、これにカゼイン、コーンスターチ、およびコーンオイルを単独にまたは2種以上の組合せによつて維持必要量の50%に相当する量を添加給与した。

各栄養成分の窒素およびエネルギーの消化率は、維持に対して給与した場合と、体重増加に対して加給した場合とで、ラードを除き、栄養成分の組合せおよび基礎代謝率の高低に関係なく一定であつた。またそれぞれの代謝エネルギーは、その窒素含量が高くなるにつれて低下したが、2種以上の栄養成分より成る飼料の代謝エネルギーは、1種の栄養成分で測定した代謝エネルギーの実測値より算出した値と全く差がなかった。

供試栄養成分を、単独に給与して測定した維持および体重増加に対する熱量増加は、脂肪が最も低く、炭水化物と蛋白質は高く、かつ、この両者にはほとんど差異がなかった。しかし供試栄養成分を2種以上同時に給与して測定した熱量増加は、1種の栄養成分を給与したときに得られた値を用いて算出した値に比し、維持に対するコーンスターチとコーンオイルの組合せによる場合を除き、すべての給与形態において低くなつた。特に蛋白質と脂肪の併用によりその低下が著しかつた。

文 献

- 1) 有吉修二郎 (1965) 農技研報告, G 12 : 93-105.
- 2) ARSCOTT, G.H. (1963) Poultry Sci., 41 : 124-130.
- 3) BAROTT, H.G., J.C. FRITZ, E.M. PRINGLE and H.T. TITUS (1938) J. Nutr. 15 : 145-167.
- 4) BLAXTER, K.L. (1961) Digestive Physiology and Nutrition of the Ruminant, P. 185, Butterworths, London.
- 5) BOLTON, W. (1965) Brit. Poultry Sci., 6 : 97-102.
- 6) BORSOOK, H. (1936) Biol. Rev., 11 : 147-180.

- 7) BORSOOK, H. and H.H. WINNEGARDEN (1931) Proc. Natn. Acad. Sci., U.S.A., 17 : 75-91.
- 8) CASTLE, E.J. and M.E. CASTLE (1956) J. Agric. Sci., 47 : 196-204.
- 9) CASTLE, E. J. and M.E. CASTLE (1957) J. Agric. Sci., 49 : 106-112.
- 10) CULLEN, M.P., O.G. RASMUSSEN and O.H.M. WILDER (1962) Poultry Sci., 41 : 360-366.
- 11) FORBES, E.B., W.W. BRAMAN and M. KRISS (1928) J. Agric. Res., 37 : 253-300.
- 12) FORBES, E.B., J.W. BRATZLER, F.J. THACKER and L.F. MAREY (1939) J. Nutr. 18 : 57-70.
- 13) FORBES, E.B. and R.W. SWIFT (1944) J. Nutr. 37 : 453-468.
- 14) FORBES, E.B., R.W. SWIFT, R.F. ELLIOTT and W.H. JAMES (1945) J. Nutr. 31 : 203-212.
- 15) FORBES, E.B., R.W. SWIFT, R.F. ELLIOTT and W.H. JAMES (1946) J. Nutr. 32 : 313-327.
- 16) FORBES, E.B., R.W. SWIFT, F.J. THACKER, V.E. SMITH and C.E. FRENCH (1946) J. Nutr. 32 : 297-403.
- 17) HOOBLER, B.R. (1915) Am. J. Dis. Child., 10 : 153-171.
- 18) KLEIBER, M. (1945) Nutr. Abstr. and Rev. 15 : 207-222.
- 19) KRISS, M., E. B. FORBES and R. C. MILLER (1934) Nutr. Abstr. and Rev. 8 : 509-534.
- 20) LUSK, G. (1915) J. Biol. Chem., 20 : 555-617.
- 21) McINSTASH, J. I., S. J. SLINGER, I. R. SIBBALD and G. C. ASHTON (1962) Poultry Sci., 41 : 445-456.
- 22) MITCHELL, H.H. (1934) Science, 80 : 558-566.
- 23) ROSE, R.J. and G.H. ARSCOTT (1962) Poultry Sci., 41 : 124-130.
- 24) 斎藤道雄・木部久衛 (1956a) 日畜会報, 27 : 105-108.
- 25) 斎藤道雄・木部久衛 (1956b) 日畜会報, 27 : 109-114.
- 26) SIBBALD, I.R., S.J. SLINGER and G.C. ASHTON (1961) Poultry Sci., 40 : 303-313.
- 27) SIBBALD, I.R., J.D. SUMMERS and S.J. SLINGER (1960) Poultry Sci., 39 : 544-556.
- 28) 柴田章夫 (1963) 名古屋大学農学部家畜飼養学教室業績 3.
- 29) SELL, J.L. and J.A. MCKIRDY (1963) Poultry Sci., 42 : 380-383.
- 30) SELL, J.L. and J.A. MCKIRDY (1962) Poultry Sci., 41 : 1681.
- 31) 田先威和夫・桜井斉 (1964a) 日畜会報, 35 : 11-17.
- 32) 田先威和夫・桜井斉 (1964b) 日畜会報, 35 : 18-25.
- 33) 田先威和夫・桜井斉 (1965a) 日畜会報, 36 : 515-521.
- 34) 田先威和夫・桜井斉 (1965b) 日畜会報, 36 : 522-526.
- 35) WHEELER, H.O., T.M. FERGUSON, R. H. RIGDON and J.R. COUCH (1961) Poultry Sci., 40 : 522-525.

Résumé

Studies on Energy Metabolism in Fowl

V. Heat Increment of Nutrients for Maintenance and Body Mass Increase

Hitoshi SAKURAI and IWA0 TASAKI

(Laboratory of Animal Nutrition, Nagoya University)

This experiment was carried out to determine the heat increment of nutrients given to fowls singly or in combination. As an experimental animal, 7~8 month-old cross-bred cockerels (Single Comb White Leghorn, male×Barred Plymouth Rock, female) were used.

In the maintenance experiment, birds were given purified diets, which contained sufficient amounts of vitamins, minerals and indigestible materials. In the experiment of body mass increase, birds received a commercial ration which covered the maintenance requirement. Further, they were given an additional amount of casein, corn starch and/or corn oil which supplied 50% of the maintenance requirement of energy. The consumption of energy and the production of heat were measured by means of the method reported in the previous paper, and the heat increment of each nutrient was calculated. The results obtained were summarized as follows:

The digestibility of lard was the poorest of all nutrients, while the nutrients except lard gave almost the same digestibility.

Metabolizable energy of the diet decreased with the increase of nitrogen content. When two or three nutrients were fed together, the metabolizable energy measured directly was found to coincide with that calculated from the data obtained by the feeding of single nutrients.

The heat increment of fat was the lowest of all nutrients as observed in mammals, while unlike mammals protein and carbohydrate gave almost the same heat increment in fowls.

When corn starch and/or corn oil were combined with casein, the heat increment became lower than that calculated from the data obtained by the single administration. Especially the combination of protein and fat mostly lowered the heat increment. This fact suggests that birds utilize protein and fat more efficiently than mammals do.