鶏のエネルギー代謝に関する研究

I. 鶏用呼吸試験装置

田先威和夫・桜井 齊

(名古屋大学農学部家畜飼養学教室)

(1963. 7. 10. 受付)

鶏および小動物のエネルギー代謝研究に、これまで広く用いられてきた呼吸試験装置には、二方式がある。その一つは閉鎖式であり、これは REGNAULT-REISET および ATWATER-BENEDICT の原理に基づくものである。これはさらに、呼吸試験室にガス容量計を装置して、閉鎖系の容積変化を測定する非循環式閉鎖型呼吸試験装置 (non-ventilated closed chamber method)¹⁻⁶⁾ と、これに通気系を装置した循環式閉鎖型呼吸試験装置 (ventilated closed chamber method)⁷⁻¹²⁾ とに細別される。他の方式は開放式であるが、PETTENKOFER-VOIT の原理に基づき、HALDANE¹⁴⁾ が小動物用に改良した開放式重量測定型呼吸試験装置 (open-circuit gravimetric method)^{13, 15-19)} が、これに属する。

以上のような各種の呼吸試験装置について、その測定原理を検討した結果、本実験においては、循環式閉鎖型呼吸試験装置を作成して、使用することとした。これは、この装置が、構造および操作が簡単で、容易に作成されること、酸素消費量を直接かつ容易に測定できること、数日間連続して経時的に測定が可能などなどを考慮したからである。さらに、本装置を用いて、ガス代謝の測定法を検討したので、その結果について報告する。

呼吸試験装置の原理と構成

本装置は、静止時あるいは飼料給与時の動物を収容できる呼吸試験室、空気循環ポンプおよび炭酸ガスならびに水の吸収測定装置 (通気系と呼称する)、酸素の供給測定装置の三部から成り立っている。空気循環ポンプを用いて、呼吸試験室内の空気を経時的に循環させ、鶏の呼吸により発生した炭酸ガスおよび水を、通気系中に設置した吸収装置に吸収させる。炭酸ガスおよび水を含まない空気は、ふたたび呼吸試験室に通気される。

一方、酸素の消費と、発生した炭酸ガスの吸収により、呼吸試験室は減圧される。その気圧低下に従って、消費された酸素に相当する量が、外気圧と平衡状態にある酸素貯槽から、自動的に呼吸試験室内に供給される。

すなわち、一定の気圧および一定ガス濃度における閉鎖系内の容積変化量を測定する REGNAULT-REISET あるいは ATWATER-BENEDICT の原理に基づいている。

本装置を模式的に示せば、第1図、またその外観は第2図のとおりである。

1. 呼吸試験室。

a. 呼吸試験室の構造：呼吸試験室内における炭酸ガス蓄積と通気量との関係は、呼吸試験をおこなう際にきわめて重要な要素である。すなわち、呼吸試験室法によるガス代謝の測定は、試験前後における相対的なガス濃度の変化によるものであるから、少なくとも試験中には、動物が生理的に異常をきたさない範囲に、炭酸ガス濃度

A 呼吸試験室 a 動物室 b 温度調節用水槽
c 動物室蓋 d 水槽蓋 e 排泄物受器 f 鶏用ケージ
g 乾湿温度計 h マノメーター i 循環空気入、出口
j 酸素供給口 k 分析用空気採気口 l 水槽水出口
B 空気循環用ポンプ C 炭酸ガス、水吸収装置
m 分配管 n 炭酸ガス吸収瓶 o 水吸収瓶
D 酸素供給測定装置 p 目盛付き円筒 q 酸素充填、供給口 r 水供給口 s 温度計 t マノメーター
u 水流出口 v 逆流防止弁 w 酸素圧保持装置
x 水飽和瓶 y 酸素ボンベ

第1図 呼吸試験装置の模式図

第2図 (左)呼吸試験装置の外観
(右)呼吸試験室の外観

第3図 (左)遠心ブローを用いた空気循環ポンプ
(右)隔膜式ポンプ

を保つような呼吸試験室および通気量が要求される。動物が生理的に正常に保たれる炭酸ガス濃度は、BENEDICTら²⁰⁾によると、1%以下である。

呼吸試験室のガス濃度を対象としたばあいには、試験室内のガス拡散あるいは炭酸ガスの部分蓄積について、まず考えなければならない。試験室内における炭酸ガス部分蓄積を防ぐためには、空気攪拌機を利用することもある。しかし、小動物のための個体測定用呼吸試験室では、攪拌機を設置すると、いたずらに死腔を増し、かえって気圧測定の感度、あるいはガス濃度の測定精度を低下させることになる。そこで、むしろ通気によるガス拡散を考慮した装置にすべきであると考えた。

BRODY ら⁹⁾の呼吸試験室は、直方体状で両側面を丸く突出させ、この面に循環空気の入出パイプを装置し、側面隅角における炭酸ガス蓄積を防止している。WINCHESTER^{11,12)}の呼吸試験室も、これに似た形態である。すなわち、通気によるガス拡散が最もよい呼吸試験室の形態は、以上のようなものである。このような呼吸試験室は、その作成が比較的困難であり、また試験室の全容積の増大をきたす。そこで、本実験においては、直方体状のものをを用い、通気量を適当にすることにより、ガス濃度の恒常性を保つように設計した。

本呼吸試験室は、体重2—3kgの成鶏を収容できる大

きさで、鶏固定用ケージ、排泄物受器、乾湿温度計、気圧計などが付属している。動物室は、パテによつて密封できる動物室蓋を有し、これを取りはずせば、動物が出入できるようにしてある。また試験室の温度を調整するために、温度制御装置を設着した水槽で外部をおおつた。試験室内槽には銅板(0.7mm)を用い、その他の部分には、鉄材(亜鉛鉄板(0.7mm)、アングル(2.5mm)、鉄管、鉄線)を使用した。呼吸試験室の外観は、第2図の通りである。

鶏の静止時および採食時における呼吸試験を実施するために、動物室はこの両者に適合するものとした。すなわち、静止時には高さ22cmのケージを、採食時には40cmのケージを用い、それぞれのケージに適合するように、試験室の蓋の高さが調節されるようにした。静止時および採食時における試験を同一装置で行なうために、試験室は、飼料摂取に支障をきたさない最少限度の大きさとした。従つて、静止時の測定のためには、動物室の大きさが、鶏体の体幅、体長に比しやや大きくなつた。なお静止時の鶏のケージでは、その高さを調節すれば、鶏の動きを制限することができる。WINCHESTER¹²⁾の呼吸試験室は、わずかに7lの容積にすぎないが、本実験に使用した呼吸試験室の容積は、静止時においては30.03l、採食時にあつては51.43lであつた。

b. 通気量と呼吸試験室内の炭酸ガス濃度および湿度との関係：呼吸試験に際し、生理的に異常をきたさない炭酸ガス濃度は、前記のように、1%以下である。また最適相対湿度は50~60%²¹⁻²³⁾とされている。海塩ら²⁴⁾は、ガス分析の精度を低下させないためには、0.8~1.0%の炭酸ガスの濃度に呼吸試験室内を調節することが望ましいとしている。呼吸試験室内の炭酸ガス濃度は、動物の炭酸ガス排泄量、通気量、試験室の形態や大きさによつて異なるものである。そこで、種々の通気量に対する試験室内の炭酸ガス濃度の推移を調査し、安定した炭酸ガス濃度と、それに至る時間とを測定した(第1表)。ここに用いた鶏の体重は1.94kgであり、炭酸ガス発生量は平均1.65l/時であつた。

第1表において明らかなように、一定の状態で鶏を固定すると、一定の通気量に対して、一定時間後に炭酸ガス濃度は恒常になり、また呼吸試験室における動物の位置によつて、試験室内の炭酸ガス濃度には差が生ずる。すなわち、呼吸試験装置の全容積が54.18lのばあい最小必要通気量は、頭部が空気入口になるように鶏を固定したときは2.46l/分、頭部を空気出口にしたときは3.11l/分である。同様に、呼吸試験装置の全容積が32.78lのばあいには、最小必要通気量はそれぞれ2.26

第1表 通気量の変化に対する呼吸試験室内炭酸ガス濃度の推移

呼吸試験装置空気容積	54.18 l			32.78 l		
	平均通気量 l/分	経過時間 分	CO ₂ 濃度 %	平均通気量 l/分	経過時間 分	CO ₂ 濃度 %
	5.83	0	1.83	5.02	0	1.20
		15	0.65		15	0.40
		30	0.40		30	0.30
		45	0.40		45	0.30
頭部を空	3.72	0	1.20	2.81	0	0.75
気入口に		15	0.77		15	0.70
おいたば		30	0.70		30	0.80
あい		45	0.70		45	0.75
	2.46	0	1.02	2.26	0	1.57
		15	1.00		15	1.20
		30	1.00		30	1.00
		45	1.00		45	1.00
頭部を空	3.11	0	0.82	2.42	0	1.12
気出口に		15	1.02		15	1.00
おいたば		30	0.92		30	1.00
あい		45	1.05		45	1.00

および2.42 l/分であつた。なお、いずれのばあいにも、通気開始後15～30分で、炭酸ガス濃度は一定になつた。

一般に、動物に最適の相対湿度は、50～60%といわれている。そこで、呼吸試験室内の湿度をも考慮して、通気量を決定しなければならない。1.6～2.1 kgの成鶏の飢餓時の代謝実験において、頭部を空気入口に向けて固定し、通気量を5.5 l/分に維持したばあい、呼吸試験室内の安定相対湿度は52～60%となり、このときの炭酸ガス濃度は、0.2～0.5%の範囲にあつた。以上の諸点を勘案し、鶏の静止時の代謝測定に際しては、通気量を5 l/分内外に維持することとした。

2. 空気循環装置ならびに炭酸ガスおよび水の吸収装置。

本装置における空気循環ポンプは、気密性が保証されること、180 mm H₂O以上の抗圧送風ができること、炭酸ガスの分析の際、その精度がそこなわれない（空気が油などで汚染されない）こと、通気が継続的におこなわれる（酸素貯槽からの酸素の供給が悪影響を受けず、装置全体の気圧測定が容易である）こと、騒音による不快感を動物に与えないことなどが必要である。これらの点が充足されるものとして、遠心ブロワーおよび隔膜式ポンプを採用した。

a. 遠心ブロワー：本装置に用いた遠心ブロワーは、鬼頭電気製作所（大阪）製で、0.2 kw、回転数3,600 rpm、回転送風羽根が普通型のものである。送風羽根には、シロッコ型のものもあるが、これは回転が静かなか

わりに、抗圧送風には不適當であつた。

遠心ブロワーは、できる限り死腔が少なく、しかも送風に際して、容積変化をおこさないように、鉄板製の箱に固定した（第3図）。ブロワー箱の蓋は、呼吸試験室の蓋と同様に、パテで密封することとした。

遠心ブロワーは、気密性、継続通気の点ではすぐれているが、ブロワー箱を用いるために、容積が大きくなる。また、ブロワー箱内の温度上昇によつて、呼吸試験室および通気系のガス濃度に変化が生ずるおそれがあり、なお騒音を生ずる欠点もある。温度上昇を防止するために、ブロワー箱は水槽中に設置した。

b. 隔膜式ポンプ：隔膜式ポンプ（第3図）は、1/4HPモーター（回転数1,700 rpm）を用いる。その回転は、カムギヤー（1/25）により、2本のストローク運動に変えてある。このストロークは、幅が5 cm, 3 cm, 2 cm, の三段階に調整でき、交互に毎分130回の速度で作動する。

本装置は、抗圧送風、温度変化、容積、騒音防止などの点で、遠心ブロワーよりもすぐれていた。しかし隔膜式ポンプは、その作動により、一時的に容積変化をおこすので、呼吸試験室の気圧測定には、やや難点が認められた。しかし、作動時に示される気圧計振幅（本装置では、静止時の測定に際し、中段ストロークにしたばあいで10 mm H₂O内外）を読むことにより、平均気圧を求めることができた。気圧計における1 mm H₂Oの読みの誤差に対し、呼吸試験室内の標準状態における空気容量の誤差は、一定温度のもとにおいて、1気圧付近では、わずかに0.0097% ($= \frac{1}{13.5 \times 760 (\text{mm})} \times 100$) にしかすぎない。経時的酸素消費量の測定においては、32.78 lの呼吸試験装置容積に対し、酸素消費量が1.5 l/時のときでも、約0.2% ($= \frac{32.78 \times 0.0097}{1.5 (l)}$) 内外の誤差しか示さない。すなわち、本装置の利用が可能であることが確認された。

c. 炭酸ガスおよび水の吸収装置：500 cc 容三角フラスコおよび試薬瓶を用い、炭酸ガスおよび水の吸収装置を作成した。使用したガラス管は、通気量が5 l/分のばあいの発泡を考慮して、内径7—8 mmとした。

d. 通気系の容積：ブロワー箱および隔膜式ポンプの容積は、全装置に既知量の酸素を送入し、その前後における酸素温度の差から算出した。その結果、遠心ブロワーを使用した装置の通気系容積は19.92 l（そのうちブロワー箱は17.40 l）、隔膜式ポンプを使用した装置のそれは3.55 lであつた。

e. 通気系の温度変化: 閉鎖型呼吸試験装置の測定原理は、一定の温度、一定の気圧および一定のガス濃度の条件下において、閉鎖系内の容積変化量を知ることにある。すなわち、ガス濃度は、一定の通気量のもとでは一定に維持されるので、炭酸ガス排泄量は、吸収装置における吸収量のみから算出することができる。また消費された酸素量は、酸素貯槽の減量のみから測定される。しかし、装置を設置した室温と、呼吸試験室内の温度が異なるときには、通気系の各部位の温度は、室温、呼吸試験室内の温度などによつて影響される。このばあいでも、炭酸ガス排泄量は、吸収装置による吸収量から完全に測定される。しかし、消費された酸素量を求めるには、酸素貯槽の減量に対し、呼吸試験室および通気系における温度および気圧の変化に対する補正をしなければならない。

この点に関し、本装置の通気系容積に対して、温度変化によるガス容量の変化を検討した。遠心ブロワーを使用するときは、ブロワー箱もほぼ恒温に保つことができ、したがつてその温度も実測できるので、ブロワー箱を除いた通気系のみについて考えることにする。ブロワー箱を除いた通気系の容積は、 2.52 l (= 通気系全容積 19.92 l - ブロワー箱容積 17.40 l) である。そのうち吸収液量が 0.60 l であるから、真の空気容量は 1.92 l (= $2.52\text{ l} - 0.60\text{ l}$) となる。この通気系温度が 1°C 変化することにより、そのガス容量は 7 cc (= $1920(\text{cc}) \div 273(^{\circ}\text{C})$) 変化する。これは酸素消費量 1.2 l のときには、 0.58% (= $7(\text{cc}) \div 1200(\text{cc}) \times 100$) の誤差となる。また隔膜式ポンプを使用した装置の通気系は、 2.80 l (= 全容積 3.55 l - 吸収液量 0.75 l) である。したがつて同様の条件のもとでは、 10.2 cc (= $2800(\text{cc}) \div 273(^{\circ}\text{C})$) の容積変化をする。これは 0.85% (= $10.2(\text{cc}) \div 1200(\text{cc}) \times 100$) の誤差となる。

通気系の各部位において、その温度が、呼吸試験室あるいは室温によつて、どの程度影響を受けるかを知るために、次のような実験を行なつた。

室温が $8.4 \sim 8.5^\circ\text{C}$ のとき、呼吸試験室の温度を $11.6 \sim 23.5^\circ\text{C}$ の間で変化させ、炭酸ガスおよび水の吸収瓶、

第2表 呼吸試験室と外気との温度差が通気系各部位の温度に及ぼす影響

呼吸試験室と外気の温度差 ($^{\circ}\text{C}$)	3.2	5.5	11.7	10.0
各部位の温度 ($^{\circ}\text{C}$)				
呼吸試験室	11.6	13.9	20.2	23.5
外気	8.4	8.4	8.5	8.5
炭酸ガス吸収瓶	9.2	9.6	9.7	9.8
水吸収瓶	16.0	16.0	16.0	16.0
呼吸試験室の空気入口	8.4	8.5	8.5	8.6

ならびに呼吸試験室の空気入口において、それぞれの温度を測定した (第2表)。ただし、このばあい通気量を 5.5 l/分 、相対湿度を $50 \sim 60\%$ とした。

第2表をみると、室温がほぼ一定のばあい、呼吸試験室の温度と室温の差が $3.2 \sim 15.0^\circ\text{C}$ の範囲では、通気系の各部位の温度は、それぞれ呼吸試験室の温度とは無関係に一定となり、主として室温に支配されていることがわかつた。したがつて、室温の変化が少ないときは、通気系の温度変化をほとんど考慮することなしに、呼吸試験の測定をすることができる。

しかし以上の測定部位は、通気系のうちのごく一部分に過ぎない。呼吸試験室から炭酸ガス吸収瓶に至る間、および水吸収瓶から呼吸試験室の入口に至る間には、呼吸試験室内の温度および水吸収時の発熱による影響があることを、考慮しなければならない、したがつて、これらの誤差をできるだけ除去するために、本装置は恒温室内に設置することにした。

3. 酸素の供給量測定装置

酸素貯槽には、内径約 8 cm 、長さ 140 cm 、最少目盛 10 cc 、全容積 $6,600\text{ cc}$ のガラス内筒を用い、その上下の端にゴム栓をはめた。上部のゴム栓には、酸素の充填および供給のためのガラス管、気圧計、温度計、水供給ガラス管を、また下部のゴム栓には、酸素の充填に当たり円筒内の水を流出させるために、ガラス管をとりつけた。

水供給ガラス管は、逆流防止のためのブンゼン・バルブを経て、一定水位に保たれている貯水瓶に接続し、酸素貯槽の気圧を一定に維持するようにした。

ガス代謝の測定操作とその検討

1. ガス代謝の測定操作法

本装置による経時的測定の操作は、以上のような検討の結果、次のように行なうこととした。

(1) 呼吸試験室に供試鶏をいれ、酸素貯槽から酸素を補給しつつ、予備試験用吸収装置に通気して、呼吸試験室内のガス濃度を一定にし、温度と気圧を調整しながら、動物を安定の状態に置く。これまでに、およそ30分を要する。なお供試鶏は、あらかじめ2～3回の予備テストをして、呼吸試験室にならしておく。

(2) 動物および装置の状態が安定した後に、酸素貯槽の水供給口 (第1図 r)、呼吸試験室の酸素供給口 (第1図 j) を閉じ、安定した呼吸試験室の温度と気圧、酸素貯槽の温度と気圧ならびに水位を、すみやかに記録する。

(3) 次に、ただちに呼吸試験室内の空気を採取し、採気による気圧低下を記録する。この量は、後に酸

鶏用呼吸試験装置

素によつて置換されるものである。

(4) 炭酸ガスおよび水吸収装置を、試験用のものに切り換え、酸素貯槽の水供給口と、呼吸試験室の酸素供給コックを開く。

(5) 一定時間を経過したら、呼吸試験室の温度と気圧、酸素貯槽の温度と気圧、および水位を記録し、吸収装置を交換して、炭酸ガス吸収量を測定する。なお全測定期間を通じて、一定間隔で本操作を繰り返す。

(6) 全測定期間が経過したら、呼吸試験室への酸素供給口と、酸素貯槽の水供給口を閉じる。呼吸試験室および酸素貯槽の状態を、試験開始時と同様に測定記録する。次いで呼吸試験室内の空気を採取し、空気の循環ポンプをとめて、測定を終了する。

次上の操作によつて測定して実例を示し、これを検討すると、以下のとおりである。

a. 呼吸試験室および通気系の容積決定：呼吸試験室および通気系の実容積は、それぞれ供試鶏および吸収液量を考慮して計算しなければならない。

白色レグホーンの雄と、交雑種（横斑プリマスロック×白色レグホーン）の雄において、体重 1～1.5 kg の鳥の比重を測定した。その結果、前者は 0.8～0.85、後

者は 0.9～0.95 で、鶏種によりかなりの差がみられた。一般に鶏では、哺乳動物より比重が小さい。これは、羽毛が多いことと、気嚢が存在することに原因するものと思われる。なお、比重が決定されれば、体重測定の結果から、鶏体の体積を計算することができる。

本試験例においては、呼吸試験室の容積が 30.03 l、供試鶏の体積が 2.69 l であり、通気系の容積が 3.55 l、炭酸ガスおよび水の吸収液量が 0.80 l であるから、本装置の空気容積は、次のように計算される。

$$\text{呼吸試験室} = 30.03\text{l} - 2.69\text{l} = 27.34\text{l}$$

$$\text{通気系} = 3.55\text{l} - 0.80\text{l} = 2.75\text{l}$$

$$\text{全装置空気容積} = 30.09\text{l}$$

なお、鶏の比重が ±0.04 の変化に対し、鶏体の体積は ±0.15 l 変化する。これは、試験室および通気系に対し、0.5% の誤差にしかすぎない。

b. 呼吸試験の結果：試験前・後における室温と、呼吸試験室および酸素貯槽の諸測定値は、第 3 表のとおりである。この測定結果を、標準状態に換算すると、第 4 表のようになる。

第 3 表 呼吸試験の実例（実測値）

測定時間	外 気		呼 吸 試 験 室								酸 素 貯 槽				CO ₂ 吸 収	
	温度	気圧	温 度		相対 湿度	気 圧		ガス濃度 ¹⁾		O ₂ 容量	温度	気 圧		吸収液 ²⁾ (KOH+ BaCl ₂)	H ₂ SO ₄ 滴定値 ³⁾	
			乾球	湿球		mm H ₂ O	mmHg	CO ₂	O ₂			mm H ₂ O	mmHg			
時 分	°C	mmHg	°C	°C	%			%	%	cc	°C			cc	cc	
1.00	18.5	760	20.5	16.5	61	−30	757.8	0.5	20.2	4,800	18.0	−25	758.1	500.0		
分析用空 気採取後						−50	756.3									
3.30	18.0	760	20.8	16.7	61	−30	757.8	0.5	20.5	50	17.8	−25	758.1		104.0	

注： 1) 労研式ガス分析器による測定 2) 3N KOH 250cc+1.5M BaCl₂ 250cc 3) 2,718N H₂SO₄

第 4 表 呼吸試験の実例（標準状態換算値）¹⁾

測定時間	呼 吸 試 験 室			通 気 系 ²⁾			全 装 置			酸素貯槽の O ₂ 残存量	
	空気容量	ガ ス 容 量		空気容量	ガ ス 容 量		空気容量	ガ ス 容 量		cc	cc
		O ₂	CO ₂		O ₂	CO ₂		O ₂	CO ₂		
時 分	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc	cc
1.00	24,882	5,026	124	2,520	509	12	27,402	5,535	136		4,400
分析用空気採取後											
3.30	24,834	5,016	124	2,515	508	12	27,349	5,524	136	53	
	24,853	5,095	124	2,524	517	12	27,377	5,612	136		46

注： 1) 標準状態のガス容量 (V₀) 算出式： $V_0 = V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P-Wt}{760}$ 。ただし V は t°C、P mmHg におけるガス容量を、Wt は t°C のもとでの水蒸気圧を示す。なお Wt は次式によつて求める： $Wt = Wt' - 0.0008 B (t - t')$ 。ここに t、t' はそれぞれ乾・湿球の示度 (°C) を、Wt' は t'°C のときの飽和水蒸気圧を、B はこのときの気圧 (mmHg) を表わす。

2) 通気系温度は、室温（外気温）とみなした。

第3表および第4表から、排泄炭酸ガス量および消費酸素量を計算すると、つぎのようになる。

(1) 炭酸ガス排泄量

CO ₂ 吸収液 (KOH+BaCl ₂) 量	500.0 cc
CO ₂ 吸収液の 2.718 N 硫酸当量	230.0 cc
CO ₂ 吸収後の硫酸滴定量	104.0 cc
吸収 CO ₂ に相当する硫酸量	126.0 cc
CO ₂ 吸収量 (2.718 N H ₂ SO ₄ 1 cc は CO ₂ 30.47 cc に相当する)	3,930 cc

すなわち、本試験に用いた鶏は、2.5 時間に 3,930 cc の炭酸ガスを排泄したことがわかる。なお、呼吸試験室内の炭酸ガス実量は、第4表が示すように、試験の前・後に全く差が認められなかった。

(2) 酸素の消費量：酸素貯槽から呼吸試験室に供給された酸素量は、第4表に示すように、標準状態に換算して 4,354 cc (=4,400 cc-46 cc) である。試験開始時に呼吸試験室から採気した 53 cc の空気量は、後に酸素で置換されるので、これを差し引くと、4,301 cc (=4,354 cc-53 cc) が実際の酸素吸収量となる。しかし、試験開始時に比較して、試験終了時における呼吸試験装置の空気容量は、通気系を室温と仮定したばあい、25 cc (=27,402 cc-27,377 cc) の減少を示した。この量は当然、酸素貯槽から呼吸試験室に流入した酸素の減量を示す。そこで、真の酸素吸収量は 4,326 cc (=4,301 cc + 25 cc) となる。

ガス分析による呼吸試験室および通気系内の酸素実量は、試験終了時においては、開始時よりも 88 cc (=5,612 cc-5,524 cc) 増加している。従つて、酸素実量から計算した真の酸素吸収量は、4,266 cc (4,354 cc-88 cc) となる。

全装置内空気の容積変化によつて補正したばあいと、酸素実容量によつて補正したばあいとでは、約 60 cc の差がある。これは酸素消費量の 1.4% になる。すなわち、消費酸素量 1 l に対し 14 cc の差を示す。ZUNTZ-SCHUMBURG-LUSK の表から計算すると、酸素 1 l 当たり 0.06~0.07 Cal の差を生ずる。これは、2 kg 前後の鶏における 1 日当たりの発生熱量 (100~150 Cal) に対しては、1.5~2.0 Cal の誤差にしかない。

従来、中・大動物の呼吸試験に使用している方法は、試験開始時に対する終了時の呼吸試験室内ガス実量の増減量を測定し、これを酸素貯槽の減量に加減して補正する、いわゆるガス実量補正測定法である。これはガス分析の精度によつて支配される。試みにガス分析に 0.1% の誤差を生じたばあい、また気圧測定に 1 mm H₂O の誤差を生じたばあい、それらが酸素消費量の測定値にお

よぼす影響を比較してみる。

呼吸試験室の容積を 30.0 l、温度を 21°C、気圧を 760 mmHg とすれば、その空気容量は、標準状態において 27.84 l ($=30.0(l) \times \frac{273(^{\circ}\text{C})}{273(^{\circ}\text{C})+21(^{\circ}\text{C})}$) となる。したがつて、空気の酸素濃度が 21% のとき、酸素量は 5,846 cc (=27,840 cc×0.21) となる。酸素の分析値が、0.1% 異なれば、酸素実量の計算に 28 cc (=27,840×0.001) の差を生ずる。1 mm H₂O (0.08 mm Hg) の気圧変化では、わずかに 6 cc (=5,846 cc× $\frac{0.08}{760}$) の差にしかない。

以上の諸点について考えると、呼吸試験室内のガス濃度がほぼ一定のばあいには、むしろ酸素実量による補正よりも、気圧測定 (空気容量の変化) による補正のほうが、より正確な結果を与える。そこで、今後の測定には、温度および気圧の測定による補正を行なうことによつて、酸素消費量を算出し、合せて測定の妥当性を確認するために、試験の前・後における酸素実容量をも測定するようにした。

要 約

REGNAULT-LEISET および ATWATER-BENEDICT の原理を基礎にして、一定の温度、気圧およびガス濃度のもとにおける閉鎖系内の容積変化量を測定する鶏用閉鎖型呼吸試験装置を作成した。この装置を用いるガス代謝の測定法について検討した。

本装置の作成に際して、示唆を与えられた畜産試験場橋爪徳三博士、ならびに装置作成に協力された本学助教授業田章夫博士に謝意を表する。なお本研究は桜井資の修士学位論文の一部をなすものである。

文 献

- 1) LESTER, D. and L.A. GREENBERG J. Biol. Chem., 176: 53, 1948.
- 2) LILIENTHAL, J.L., K.L. ZIESLER and B.P. FOLK Bull. Johns Hopkins Hospital, 84: 238, 1949.
- 3) MACLAGEN, N.F. and M.M. SCHEAHAN Endocrinol., 6: 456, 1950.
- 4) MORRISON, P.R. J. Biol. Chem., 169: 667, 1947.
- 5) RICHARD, A.N. and L.W. CALLISON J. Physiol., 66: 299, 1929.
- 6) STRITE, G.H. and H. YACOWITZ Poult. Sci., 35: 142, 1955.
- 7) BENEDICT, F.G. and G. MACLEOD J. Nutrit., 1: 343, 1929.
- 8) BENEDICT, F.G. idid., 3: 161, 1930.

- 9) BRODY, S., E.M. FUNK and H.L. KEMPSTER
Poult. Sci., 11: 133, 1932.
- 10) ROBBIE, W.A. and P.J. LEINFELDER Science,
101: 48, 1945.
- 11) WINCHESTER, C. F. Poult. Sci., 19: 239,
1940.
- 12) WINCHESTER, C.F. Univ. Missouri Agric.
Exp. Sta. Res. Bull., No. 315, 1940.
- 13) BRODY, S. Bioenergetics and Growth,
Reinhold Publ. Corp., New York, p. 325-334,
1945.
- 14) HALDANE, J.S. J. Physiol., 13: 419, 1892.
- 15) DUKES, H.H. J. Nutrit., 14: 341, 1937.
- 16) FORBES, F.B., M. KRISS and R.C. MILLER
ibid., 8: 535, 1934.
- 17) 海塩義男・橘爪徳三 農技研報告 G, 4: 123,
1952.
- 18) 海塩義男 同誌 G, 8: 169, 1954.
- 19) MITCHELL, H.H. and W.T. HAINES J. Agric.
Res., 34: 549, 1927.
- 20) BENEDICT, F.G., V. COROPATCHINSKY and E.G.
RITZMAN Abderhaldens Handb. d. biol.
Arbeitsmeth., Vol. 4, Part 13, p. 650, 1934.
- 21) BAROTT, H.G., J.C. FRITZ, E.M. PRINGLE and
H.W. TITUS J. Nutrit., 15: 145, 1938.
- 22) BAROTT, H.G. and E.M. PRINGLE ibid., 22:
273, 1942.
- 23) BAROTT, H.G. and E.M. PRINGLE ibid., 31:
35, 1946.
- 24) 海塩義男・橘爪徳三・安保庄一郎・阿部彦郎・
増淵敏彦・安部道雄・森本 宏・堀井 聰・倉
田陽平・石原盛衛・土屋平四郎 農技研報告
G, 11: 157, 1955.

Résumé

Studies on Energy Metabolism in the Fowl

I. Design of a Respiration Apparatus

Iwao TASAKI and Hitoshi SAKURAI

(Laboratory of Animal Nutrition, Faculty of Agriculture, Nagoya University)

A closed-circuit respiration apparatus was designed after ATWATER-BENEDICT's apparatus and constructed to examine gas exchange in the fowl. It made it possible to measure the change of gas volume at constant temperature, air pressure, and gas concentrations in the chamber. Possibility of applying that apparatus to the measurement of gas metabolism in the fowl was discussed.