

外籍学者讲学材料之十八

家畜能量代谢

丹麦国立畜牧研究所 G.Thorbek 博士

(1981.9.7 — 9.25)

农业部教育局
南京农学院

一九八一年十一月

前 言

应农业部邀请，丹麦国立畜牧研究所索伯克（Grete Thorbek）博士于一九八一年九月月上旬来华讲学，历时三周。索伯克博士为讲习班学员主要讲解了“测定家畜能量代谢的原理、方法和技术”、“生长家畜的蛋白质和能量代谢”两大内容。这本材料包括：一、索伯克博士讲稿译文；二、索伯克博士讲课记录整理稿（根据记录整理）讲习班由南京农学院常平生付教授担任翻译。

参加讲稿译校工作的有：金公亮（西北农学院）、蒋兆江（浙江农业大学）、汪鸿儒（甘肃农业大学）、扬嘉实（吉林农科院）、张樾（华南农学院）、傅伟龙（江西农业大学）、袁超豪（广西农学院）、曹堃贤（云南农业大学）、王秀娴（福建农学院）、李洁珍（华中农学院）、郭式健（黑龙江省红兴隆农场局农科所）、倪可德（北京农业大学）等。讲课记录由讲习班学员整理。

讲稿译文由西北农学院金公亮、南京农学院吴令、曹光辛等校对，并由曹光辛作文字整理，朱祖康、李如治、杭榴玉也参加了部分译校和文字整理工作。因时间仓促、水平有限，难免有错误和欠妥之处，请读者批评指正。

1981年11月 南京

目 录

第一部分 讲稿译文

第一篇 家畜能量代谢测定的原理、方法与技术

一、历史概况	1
二、体内能量代谢原理	2
三、测定氮、碳和能量平衡的原理	3
四、能量代谢的测定原理	6
五、哥本哈根呼吸装置	7
六、不同畜禽的产热量和气体交换	12

第二篇 生长家畜的蛋白质与能量代谢

一、引言	13
二、生长家畜的氮代谢	13
三、生长家畜的能量代谢	18
四、生长家畜蛋白质和脂肪的沉积	22
五、生长的代谢能利用率	24

第二部分 讲课记录整理

第一讲 能量代谢的发展历史	26
第二讲 饲养试验的方法和技术	27
第三讲 生长家畜氮的代谢	31
第四讲 体内能量代谢的原理	36
第五讲 试验结果	41
第六讲 维持需要量	46
第七讲 生长家畜的能量转换效率	51
第八讲 丹麦农业发展概况	54

附答疑	56
-----	----

第一部分 讲稿译文

第一篇 家畜能量代谢测定的原理、 方法与技术

一、历史概况

Lavoisier和Laplace于1793年根据容器内的冰由于豚鼠产生的体热而被融化成水的数量，第一次成功地测定了动物的产热量。这是第一个测热用的绝热容器，因为在盛水容器的外部装上了防护装置以避免周围温度变化的影响。同时还注意到试验动物引起的消耗了 O_2 和产生了 CO_2 ，从而Lavoisier创立了这样的理论，即试验动物和燃烧一样，每产生一个单位的 CO_2 就会释放出等量的热量。这个氧化与代谢的理论，直到今天仍是正确的，从而构成了间接测热法的基础。但是，自从Lavoisier1794年在法国革命期间被处死以后，能量代谢测定工作中断了将近100年。

到十九世纪末，随着技术的不断发展已达到能够建立一个足够大得足以长时间内装下牛或马的呼吸室，而且也建立了可以测量通过测定室的空气流量及成份的仪器设备。Regnault、Voit、Pettenkofer、Zuntz和Rubner的工作充分地验证了Lavoisier的理论，即同样数量的营养物质不管是在生物体内还是体外，用各自独立的氧化方法产生热量都需要同样数量的 O_2 ，并产生同样数量的 CO_2 和热能。

正是由于这一验证，Kellner、Armsby、Forbes、Benedict、Kleiber和Møllgaard等为了测定家畜的能量代谢，制定不同生产家畜对能量的需要，在不同的国家开展了许多测热工作。在这方面，德国的Kellner第一个在试验动物——成年阉牛身上把能量原理使用在他的饲料评定系统上。

Kellner于1912年去世，但他的一部分工作继续在丹麦进行。在那里，Møllgaard于1917年建立了一个牛的呼吸室，着手测定大麦、干草和甜菜的营养价值。后来，为了测定乳牛泌乳期的能量代谢和制订泌乳的能量需要，又进行了一系列泌乳牛的试验。

自1930年到以后的二十年中，世界上在能量代谢的领域中只进行了很少的试验。部分原因是直接测热法在测定热量产生的技术上过于复杂和花费人工太大，另外还因为许多试验室进行着日益增加的关于维生素、激素、酶和微量元素以及它们对于人和动物代谢影响的研究工作。

1950年前后，由于生物化学和生理学的发展，为我们提供了大量有关碳水化合物、脂肪和蛋白质分解和合成代谢的详细资料，它们可能的代谢途径和热能转换方式，对测定体内热

能损耗是有意义的，所以测热法又一次成为注意中心。

在以后的若干年内，很多研究所相继开始建立起可用于直接或间接测热的家畜能量代谢测定室。1958年在哥本哈根举行了第一次研究小组会议，主要讨论了关于测热法的原理和技术。以后，能量代谢的专题讨论会每三年举行一次。1961年那次会议大约有100名从事这一工作的专业人员参加。其中主要的议题之一是讨论我们从生理学和生物化学中所获得的知识及有关的结果关系，其次是关于饲料价值的评定方法。许多报告集中在生长家畜与肉生产有关的能量代谢以及脂肪与蛋白质生产的能量价值。近来，发表了更多有关产卵母鸡能量代谢的研究报告，并且由于在新西兰建立了奶牛的测定室，可能发表关于泌乳家畜能量代谢的报告。第九次专题讨论会将在1982年于挪威举行，随后将会出版会议录及家畜能量代谢研究实验室的索引。

二、体内能量代谢原理

饲料被消化成产物是能量代谢的起点。在非反刍动物，碳水化合物消化的尾产物主要是葡萄糖；而在反刍动物，则主要因酵解而形成挥发性脂肪酸，如乙酸、丙酸和丁酸。蛋白质降解为氨基酸，氨基酸在体内合成蛋白质或作为能源。日粮中的脂类大部分进入血管，如乳糜粒被机体吸收并分解成甘油三脂，作为供给能量的主要来源。

2·1 在体内作为能源的葡萄糖

利用葡萄糖作为能源分为两个阶段：葡萄糖在无氧条件下分解成丙酮酸，然后丙酮酸在有氧条件下氧化成为CO₂和水。据McDonald等（1973）列表如下（见表1—1）。

表1—1 葡萄糖作为能源

1 克分子葡萄糖形成 2 克分子丙酮酸	8 克分子ATP
2 克分子丙酮酸分解为CO ₂ 和水	30 克分子ATP
总计每 1 克分子葡萄糖	38 克分子ATP
1 克分子葡萄糖产生 38×33.5 千焦耳	1273 千焦耳
1 克分子葡萄糖释放自由能	2870 千焦耳
自由能被机体捕获的效率是：	

$$1273/2870 \times 100\% = 44\%。$$

100克葡萄糖产生21.2克分子ATP = 710千焦耳。

1 克分子葡萄糖产生38克分子三磷酸腺苷(ATP)，相当于 8 千卡或33.5 千焦耳，总共可获得能量1273千焦耳，与 1 克分子葡萄糖释放的自由能2870千焦耳比较，可作为体内能源的效率大约是44%。

2·2 在体内作为能源的脂肪

储存在体内的甘油三脂，在脂肪酶的作用下分解成甘油和脂肪酸，每 1 克分子甘油经糖酵解途径，氧化成CO₂和水，同时产生21克分子ATP，而脂肪酸分解为乙酰辅酶A，然后降解为CO₂和水，表1-2以软脂酸甘油脂为例，说明ATP的产生（McDonald等，1973）。

表1—2 软脂酸甘油脂作为能源

1 克分子软脂酸形成 8 克分子乙酰CO—A	33克分子ATP
8 克分子乙酰CO—A分解为CO ₂ 和水	96克分子ATP
总计每克分子软脂酸	129克分子ATP
1 克分子软脂酸产生	4322千焦耳
1 克分子软脂酸释放自由能	9957千焦耳
自由能被机体捕获的效率是:	$4322/9957 \times 100\% = 43\%$ 。
软脂酸甘油脂:	
3 克分子软脂酸	387克分子ATP
1 克分子甘油	21克分子ATP

总计每 1 克分子软脂酸甘油脂 408克分子ATP = 13668千焦耳。
100克软脂酸甘油脂产生50.6克分子ATP = 1695千焦耳。

1 克分子软脂酸可产生129克分子ATP相当于4322千焦耳，与 1 克分子软脂酸 释放的自由能9957千焦耳比较，其效率是43%。1 克分子软脂酸甘油脂产生 3 克分子软脂酸和 1 克分子甘油，总计可获得408克分子ATP或13668千焦耳，在体内100克软脂酸甘油脂 比 100 克葡萄糖产生的能量大2.3倍。

2·3 在体内作为能源的氨基酸

以谷氨酸为例 (McDonald等, 1973) 由 1 克分子谷氨酸分解成CO₂和水，可得到23克分子ATP，产生771千焦耳，如表1—3所示。

表 1—3 谷氨酸作为能源

1 克分子谷氨酸分解为CO ₂ 和水	23克分子ATP
1 克分子谷氨酸产生	771千焦耳
1 克分子谷氨酸释放自由能	3213千焦耳
自由能被机体捕获的效率是:	

$$771/3213 \times 100\% = 24\%。$$

100克谷氨酸产生15.6克分子ATP = 523千焦耳。

1 克分子谷氨酸释放的自由能是3213千焦耳，因此，当机体利用氨基酸作为能源时，100克谷氨酸仅产生523千焦耳的能量，其效率不超过24%。

三、测定氮、碳和能量平衡的原理

测定生长动物能量代谢的目的在于区分体内能量的沉积（如蛋白质和脂肪）与能量的损失（如体热）。对产乳或产蛋动物而言，能量沉积在产品中，取得的数据可用来评价不同产品（肉、乳、蛋），不但比较不同种类和品种畜禽能量利用效率的差异，而且还比较在不同饲养、畜舍建筑和气候条件下能量的利用效率。为了获得这些资料，需要测定氮、碳和能量平衡。

在哥本哈根研究所，平衡试验是将动物置于单独的代谢笼里，试验期为7天，每天测定

采食量和排出的粪和尿，并取样分析。用犊牛和仔猪做的试验，应进行若干个平衡期，并在每一试验期之前，约有7—14天的预试期。而小动物、生长很快的动物，试验期可缩短到大约4天，平衡期则可连续进行，而没有任何预试期。

关于生长猪的平衡试验技术，Thorbek (1975) 认为：①代谢笼不宜太小，动物不致受到束缚，这样才能得到正常的试验结果。②生长动物应该按比例逐日增加饲料给量，如果是生长很快的动物，要根据动物增重的需要增加饲料量。③试验期开始前应该提前12—8小时，将动物置于代谢笼内以便适应环境。④在试验期中安排一次测定动物在24小时内的呼吸，这样可取得满意效果。

3·1 氮平衡的测定

氮平衡可计算出体内蛋白质的增加或减少，见表1—4。

表1—4 氮平衡

饲料中氮	……克氮
粪中氮	……克氮
尿中氮	……克氮

氮平衡 (NBAL)	……克氮
NBAL(克) × 6.25	= 蛋白质增加(克)，
蛋白质增加(克) × 0.52	= 蛋白质增加的碳(克)，
蛋白质增加(克) × 5.7	= 蛋白质增加的能量(千卡)，
蛋白质增加(克) × 23.9	= 蛋白质增加的能量(千焦耳)。

粪和尿氮的测定 (Kjeldahl法)，通常是用新鲜样品测定，以免氮的损失。粪中氮的损失，常常占采食氮的10—15%，这取决于日粮成份的可消化性。尿氮的损失，通常是比较高的，约占30—60%，这取决于：①食入超过需要量，过剩氨基酸的脱氨和排出；②食入的能量不能满足蛋白质的合成；③提供蛋白质的生物学价值。测定氮平衡可以弄清氮的增减，Brouwer (1965) 用N—平衡的方法，认为可以正确地计算蛋白质中增加的蛋白质和增加的能量，以及顺利地计算出蛋白质中碳的含量。

3·2 碳平衡的测定

测定碳平衡可以计算体内脂肪的增加或损失，如表1—5。

表1—5 碳平衡

饲料中碳	……克碳
粪中碳	……克碳
尿中碳	……克碳
CO ₂ 中碳 (CO ₂ 升 × 0.5360)	……克碳
CH ₄ 中碳 (CH ₄ 升 × 0.5360)	……克碳

碳平衡 (CBAL)	……克碳
------------	------

CBAL(克) - 蛋白质中的碳(克) = 非含氮物中的碳(克)。经测定脂肪中含76.7%的碳。

脂肪中的碳/0.767 = 脂肪增加(克)，

脂肪增加(克) $\times 9.5$ = 脂肪增加的能量(千卡),

脂肪增加(克) $\times 39.8$ = 脂肪增加的能量(千焦耳)。

本研究所测定饲料、粪和尿中含碳量是用Wosthoff仪器, 这种仪器正如Neergaard、Peterses和Thorbek(1969)报导: 是利用导电性差异这样一种物理原理为依据的。 CO_2 和 CH_4 用呼吸装置测定其容量, 然后用Brouwer(1965)提出的换算法计算其重量。

粪中碳的损失, 通常约占食入碳的15—25%, 尿中碳的损失很少, 约占食入碳的2—5%, 通过 CO_2 损失的碳最多, 约占食入碳的55—65%。反刍动物碳的损失还可通过 CH_4 的排出, 排出量取决于瘤胃微生物的活动, 一般相当少, 约占3—5%。

测定碳平衡可以根据碳的增加与损失之间的差数, 蛋白质中的碳量和非氮物质中的碳量是可以计算的, 如果实验是在高于或低于维持水平的情况下进行, 例如: 糖元在一个短时间内的沉积足够有余或极为缺少的情况下, 可计算出在非氮物质中碳的增加量。脂肪的增加量用克或能量表示, 碳量可根据每克脂肪有76.7%的碳和39.8千焦耳这一常数算出来。

3.3 能量平衡的测定

能量平衡测定如表1—6所示。

表1—6 能量平衡

饲料中能量(GE)	……千焦耳
粪中能量(FE)	……千焦耳
尿中能量(UE)	……千焦耳
CH_4 中能量(CH_4E)	……千焦耳
体热能量(HE, RQ)	……千焦耳

能量平衡 = 沉积能(RE, RQ) ……千焦耳

用弹式测热器测定饲料、粪和尿中所含能量, 如果有甲烷产生, 需要在呼吸装置中测定其容量, 并以每升为39.6千焦耳计算其能量。产热量是按照RQ(呼吸商)方法计算。呼吸装置可测定气体交换的容量, 并用Brouwer(1956)提供的系数来计算, 如:

$\text{HE, RQ, 千焦耳} = 16.18 \times \text{O}_2\text{升} + 5.02 \times \text{CO}_2\text{升} - 2.17 \times \text{CH}_4\text{升} - 5.99\text{尿中的N}$ 。

粪中能量的损失为食入能的10—30%, 其变动范围取决于日粮成份和家畜的种类, 在尿中能量损失较少, 大约是GE的2—5%, 在甲烷气中能量的损失也较少, 大约是GE的5—10%, 其变动范围取决于反刍动物的大小以及瘤胃微生物区系的活性, 对所有家畜而言, 能量损失最大的是体热, 约占食入能的40—60%。

机体在生长或在生产(泌乳、产蛋), 食入能与总能量损失的差数, 可用体内沉积的脂肪和蛋白质以及产品中的能量来计算, 也可按照RQ方法计算, 表1—6表明, 食入能与能量损失之间的差额可利用碳平衡和氮平衡计算, 故称为CN方法。沉积能RE(CN)(千焦耳) = 增加的脂肪能(千焦耳) + 增加的蛋白质(千焦耳)。产热量与沉积能用上述两种方法取得的数值是相当接近的, 但两种计算方法都有计算系数, 正如Blaxter(1962)说的“即使是最好的计算方法, 也只是产热量的一个统计学数据, 两种方法都是可以用的”。

由能量平衡可计算出代谢能(ME), $\text{ME} = \text{GE} - (\text{FE} + \text{UE} + \text{CH}_4\text{E})$, 用于生长的代谢能(MEg), $\text{MEg} = \text{ME} - \text{ME}_m$, ME_m 是维持需要的代谢能, 用于生长的代谢能的转换率是生长率(Kg), $\text{Kg} = \text{RE}/\text{MEg}$ 。

四、能量代谢的测定原理

如第一部分所述，能量代谢的测定可用不同的原理进行，兹列出如下：

直接测热法

绝热法

梯度法

间接测热法

密闭式呼吸装置

开放式呼吸装置

屠宰比较法

4·1 直接测热法

测定人和动物的产热最初是采用与弹式测热法同样原理的直接测热法，即测定装置外周升高的水温。后来Benzinger和Kitzinger（1949），根据热梯度原理设计了另一种直接测热法。苏格兰Rowett研究所按照这一原理首先建造了一个适合于90公斤活重猪的测热器。在该测热器的内壁上置有3000对左右的热电偶，整个装置有6000个左右的接头以记录电输出，借以连续无误地测出动物的水份蒸发能和尿热以及损失的总热能。Pullar(1969)、Brockway（1977）等在阐述直接测热法时，连同其他方法一起对此种装置曾做过详尽的叙述。这种装置反应灵敏，准确度高，但建造难度大，调试费时费工；同时测热室过小又无窗口，动物的活动受约束并和外界断绝联系，这从生理学观点来说无疑是一种缺点。

4·2 间接测热法

间接测热法是在测定呼吸商或C N平衡以计算气体交换量的基础上测定产热量的一种方法。呼吸商需要测定耗氧量，二氧化碳和甲烷的排出量以及尿的含氮量；而C N平衡法则是测定碳、氮的平衡，为测定碳平衡，需要测定二氧化碳和甲烷的排出量，并用各自的方法计算和测定气体交换。

4·2·1 密闭式呼吸装置

这是一种密闭的呼吸装置，由测热室出来的气体通过盛有KOH和硅胶以及吸收CO₂和水分的瓶子后，再回流室内。氧气是自动流入这种装置的，由湿气量表测定其流量，CO₂的排出量借具有精密刻度而又严格校正过的比重计测定，在整个24小时实验中，排出的甲烷则让其存留在测热室内，于实验结束后进行测定，其数值应参考装置中的O₂、CO₂存留量加以校正。

这种装置主要是在英国发展起来的，已建造了许多这类装置，据Brockway等(1977)报导，尤以Rowett研究所从事这方面的工作最多。

用密闭式气流装置进行测定非常准确，特别适用于小动物的试验，因为小动物的密闭技术问题较易解决，但与直接测热法有一共同的缺点，即测热室要尽可能地小，因而限制了动物的活动，并且不能计录每天CO₂排出量的波动情况。

4·2·2 开放式呼吸装置

这是一种开放的呼吸装置，空气不断地以一定量的速率被吸入室内，使室内的CO₂浓度始终低于1%，大气和室内的气体充分混合，排出的空气由准确的气量表测得，并有一定量

气体流过一个气体分析系统，由此测定 O_2 、 CO_2 和 CH_4 的含量，根据排出气体的总容积及其各种成份的含量计算耗氧量， CO_2 和 CH_4 的排出量。

开放式呼吸装置是在稍微负压的状态下工作的，无需象密闭式气流装置那样密封，测量室可大些并有窗口，使得动物可以活动并与外界接触。为了使得到的数据准确，气量计和气体分析仪均应非常准确，整个测热装置需精心校准。

按照开放式呼吸装置建造的测热装置，世界各地已有相当数量，1958年哥本哈根举行的第一次能量代谢讨论会记述了这方面的一部分情况。此后，Nehring、Schiemann和Hoffmann (1958)，Van Es (1966)、Flatt (1969)、Thorbeck (1969)、Thorbeck和Neergaard (1970)以及Chwalibog、Iind和Thorbeck (1979)均曾报导过建造这种测热装置方面的情况。

五、哥本哈根呼吸装置

哥本哈根国立畜牧研究所分别于1917—1918和1932—1933年按照开放式装置的原理建造了用于研究牛和猪的呼吸装置，准确度很高，但非常耗费劳力。由于没有自动化装置，在24小时运转过程中都需要人看管，每次实验后许多气量计都需要重新标定，十分烦琐，而且采用化学吸收原理制造的气体分析仪要得到准确的数据，操作是很不容易的。人工气候装置是诸装置中较简单的一种，采用人工操作，只需冷水，无需湿度调节。

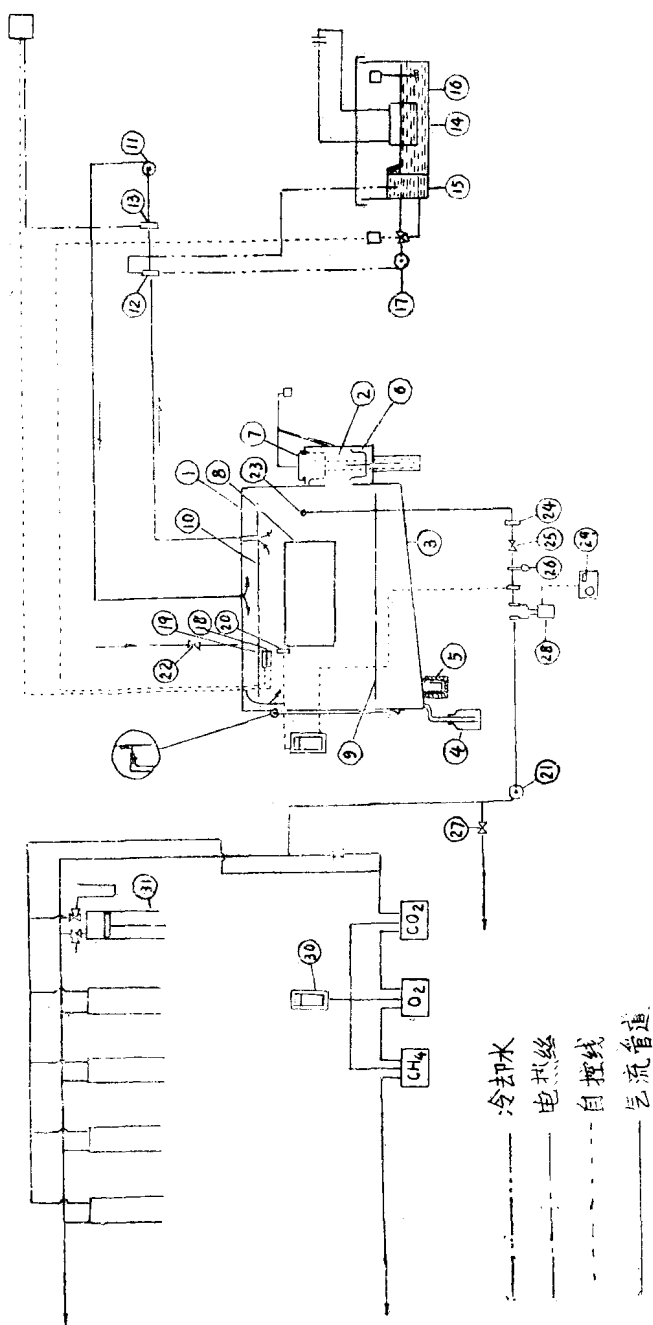
由于测定气体容积和空气成分的仪器的改进和空调(air-condition system)技术的发展，以及已具备建造自动化呼吸装置的可能性，在农业部的财政支持下，国立畜牧研究所决定建造新的呼吸装置，于1959—1963年建造了一个研究猪的呼吸装置，并进行校准，这方面Thorbeck (1969)已做了详细的报导。在用这一装置测定生长猪能量代谢所取得的经验的基础上，1967—1969年又建造了一个适用于测定牛的呼吸装置，这方面Thorbeck和Neergaard (1970)也做了报导。采用同样原理的最新的呼吸装置，适用于小动物的测定，于1976—1977年建造。Chwalibog、Iind和Thorbeck曾做了这方面的有关报导。

5·1 猪的呼吸装置 (见下页简图)

呼吸室用泡沫橡皮绝热，室的大小为 $1.72 \times 0.84 \times 1.45m$ ，动物站立格为 $1.4m^2$ ，包括食槽和空气调节管道在内的呼吸装置总容积为 $3.1m^3$ 。食槽用油泵制动，并由放在装有水的水槽上的一个盖子和平衡器组成一个安全系统，整个呼吸装置内保持一定的真空(3—4 cm石油柱的负压)，一旦电路发生故障，真空不能保持稳定，盖子就自动打开，新鲜空气即可进入里面。

粪尿用一斜的金属板收集，尿液可流入一个瓶内，而粪便则聚集到粪箱中，手可以通过固定在门上的橡皮套伸入室内集粪。大气不断地被抽入室中，进入量要达到能使装置内的 CO_2 浓度始终低于1%。气体经混匀后高速流过室内时，以免动物受高速气流的危害。

流出的空气由装在出气口的Barton氏箱(Barton cell)以测量分压的方法测定其容量，这种仪表应能测出相当于0—12 m^3 /小时气流量的分压，然后将与气流量相应的电信号以及温度和压力信号输入计算机中，把这些信号转变为连续性的气流量读数，将排出气体的总容量按正常状态(760mm, $0^\circ C$)换算并记录下来。这种仪表的准确度要求当气流量在其负载的10—100%时误差只有 $\pm 0.5\%$ 。



猪呼吸装置简图

丹麦国立畜牧研究所 哥本哈根

(Thorbek, 1969)

向外排出的空气通过仪表后分成两部分，大部分从测定装置放走，只有200升/小时左右的空气进入一个较小的管子，作为空气成分分析的样品。对样品的一部分进行连续的测定，将排出气体中的 O_2 、 CO_2 和 CH_4 浓度自动记录下来；而部分空气样品则流入另一些容器内，由此取出4升左右存放在容器中，待试验完毕时进行分析。 O_2 可用测定浓度范围为19—20%规格的按顺磁原理制造的Magnos氏仪进行分析， CO_2 用测定范围为0—1.5%浓度规格的按红外线原理制造的Uras氏仪测定，而 CH_4 则用测定范围为0—0.2%浓度规格的另一种

Uras氏仪进行分析。气体分析仪要有高度准确性，误差低于0.5%。

整个装置应按Thorbek (1969) 所述，用CO₂进行校准，通常要在3—4个月的连续试验期的前、后分别进行。试验证明，利用上述装置记录CO₂的进出容量平均误差低于±1%，误差的大小与输入室内的CO₂多少无关 (Thorbek, 1975)。

空气调节系统要用60瓦的白炽灯泡和30ml水/小时水气量（相当于20公斤活重的猪的产热量）进行效能测定。而使用250瓦红外线灯和100ml水/小时水气量则可代替成年猪进行空气调节系统的效能测定。

空气调节系统的负载性能不论动物的个体大小，在相对湿度为65%时，室内温度变化范围在7—27℃之间。如要降低湿度，温度变化将会缩小；如要升高湿度，装置内的温度可降低到4℃左右。

1964年以来，已做了1500次以上的试验，大多用生长猪，部分用白洛克鸡或蛋鸡进行。实践证明，这种装置始终是准确的，只换过一次密封泵和部分冷却系统零件。

5.2 牛的呼吸装置（见下页简图）

牛的呼吸装置是按照猪的同样原理建造的，有两个呼吸室，每个呼吸室的大小为2.80×1.72×2.00m。包括粪箱、尿箱以及通气管在内的总容积为10.6m³。两室之间和两室的外周部分都有窗，饲料箱上的平衡盖为一安全装置。站格板和粪、尿收集箱均可移动，故室内可放置犊牛或大牛包括体重800公斤活重的乳牛。气体调节系统的工作范围是10—35℃，湿度为60—95%。最大的气流量为20m³/小时。测定气流和空气成分所用的仪器和猪的装置相同。使用CO₂校准表明，这种装置记录CO₂进出容量的平均误差低于±1.5%。已用于测定哺乳犊牛（未开始反刍）及100—300公斤生长牛在不同饲料条件下和受寄生虫影响下的能量代谢。用来测定产蛋鸡的能量代谢也很好。几年前，还用人进行过试验，测定了6男6女（20—68岁）为期6小时静息或进行一些运动状态下的能量代谢。

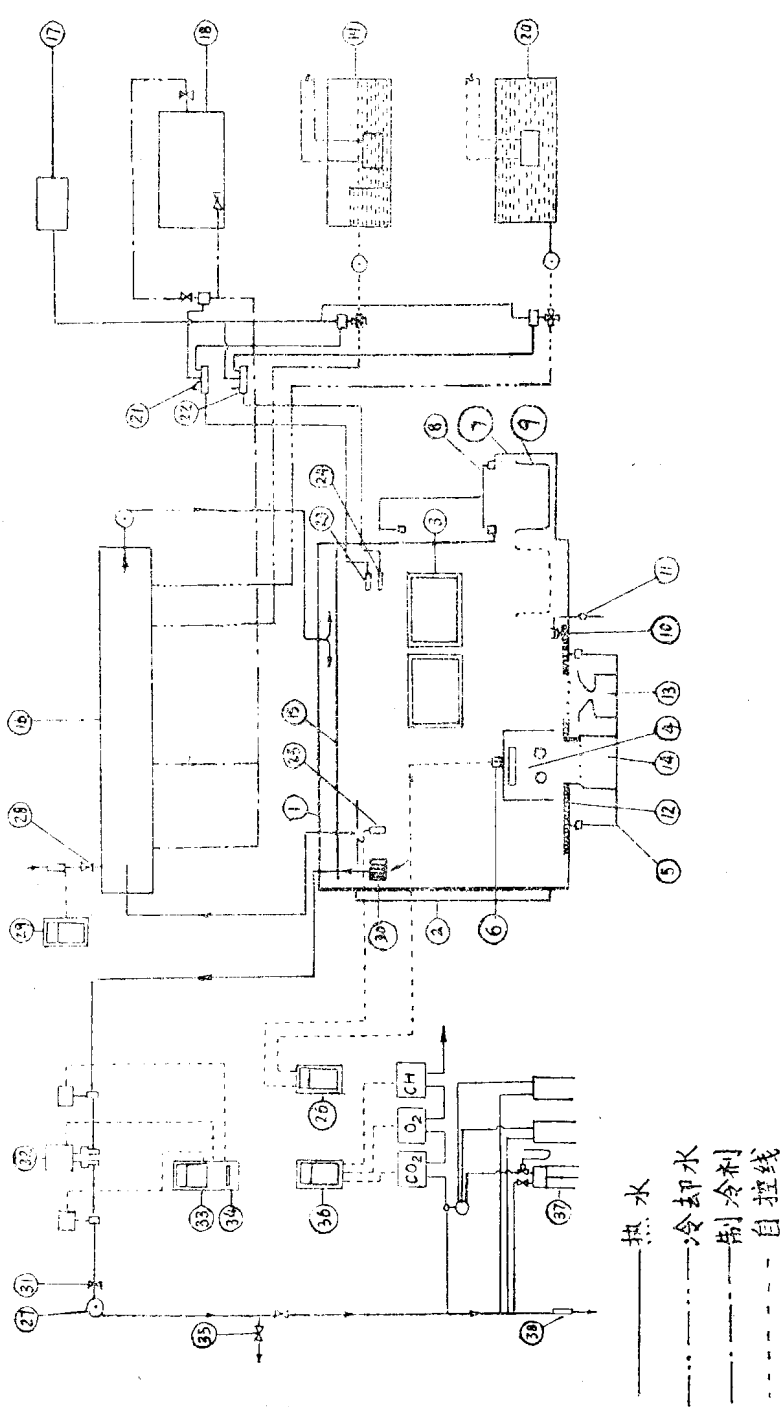
5.3 小动物的呼吸装置（见第11页简图）

1977年建造了一座用于小动物的呼吸装置，可进行鼠类等实验动物的典型试验，并已用于家禽、仔猪、兔和美洲水貂等的能量代谢测定，其设计原理和本研究所的其它同类装置相似。

主室为1.00×1.00×1.00m，隔热良好，气流量控制在200—1200升/小时，温度调节在-5—35℃，相对湿度为30—90%。两室并列，在两室间和外周壁上均有窗。

室呈正方形，根据试验动物大小可放入适当的代谢条板箱，一个呼吸室能测活重为0.5—10.0公斤的动物，鼠可放6笼。CO₂的校准误差低于±1%。

用这种装置已做过生长鼠正常饲养条件下或肠道微生物减少情况下的典型试验，也作过肉用鸡和产蛋鸡的试验，最近还作了8—12公斤活重人工饲养小猪的能量代谢试验。

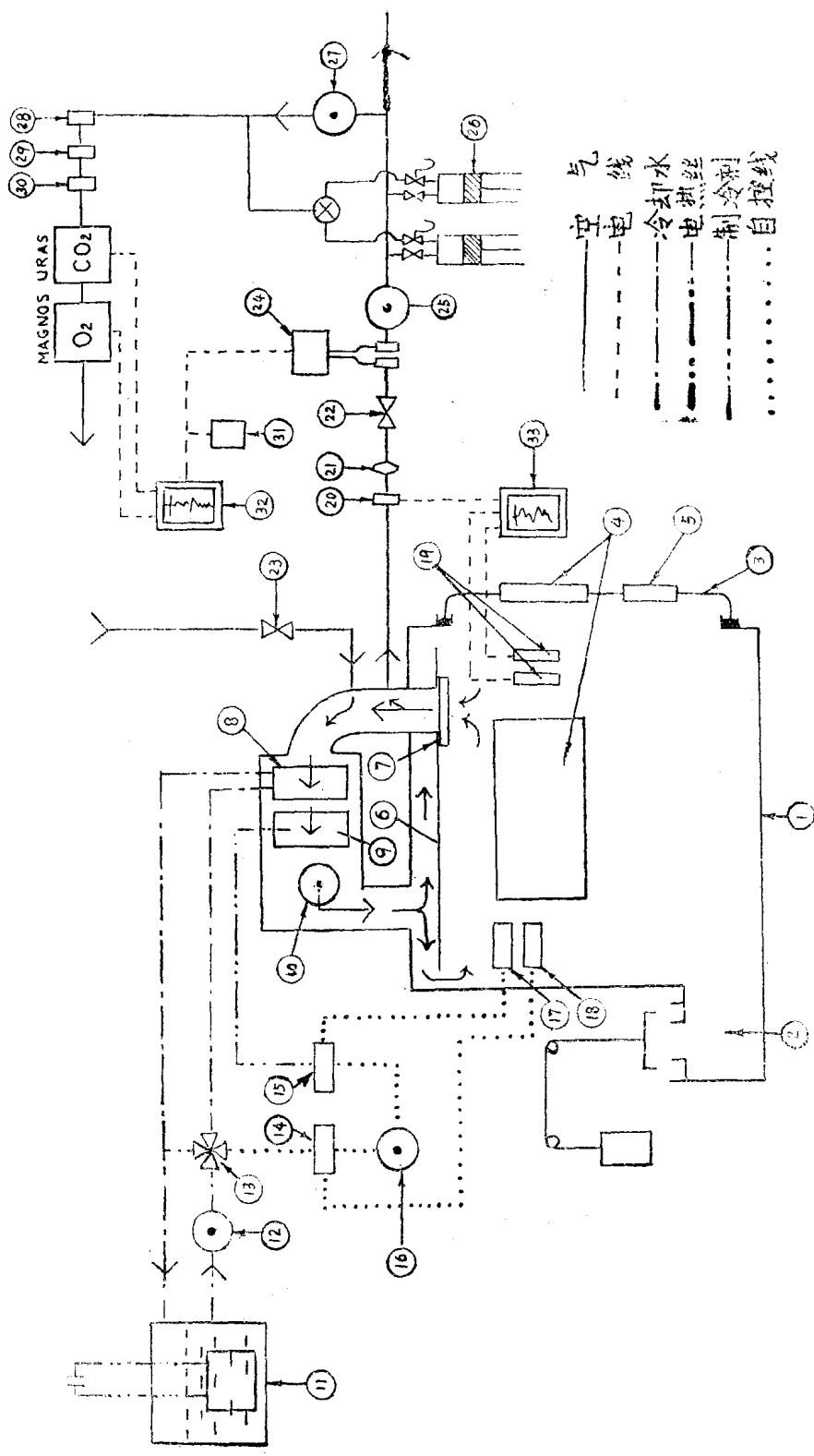


——热水
 ----冷却水
 -·-·-·制冷剂
自控线

- 1、呼吸室 2、门 3、窗 4、挤奶装置 5、粪、尿收集箱 6、光电管 7、饲料箱 8、饲料箱盖
 9、饲槽 10、水槽 11、水量表 12、窗 13、集尿器 14、集粪器 15、天花板 16、空调装置 22、温度
 调节装置 23、制冷设备(氟利昂) 19、制冷设备(水) 20、制热设备(水) 21、湿度调节装置 22、温
 度调节装置 23、湿度计 24、干燥球 25、自记温度计 26、自记湿度计 27、离心风扇 28、自记温度、湿度计 29、自记温度、湿度计 30、自记温度、湿度计 31、自记温度、湿度计 32、自记温度、湿度计 33、自记温度、湿度计 34、自记温度、湿度计 35、自记温度、湿度计 36、自记温度、湿度计 37、自记温度、湿度计 38、自记温度、湿度计

牛呼吸装置简图

丹麦国立畜牧研究所 哥本哈根
 (Thorbek和Neergaard, 1970)



- 1、呼吸室 2、安全箱 3、门 4、窗 5、离心泵 6、“假”天花板 7、气体过滤器 8、冷却器 9、制热
 10、离心风扇 11、湿度计 12、温度计 13、离心风扇 14、湿度计 15、温度计 16、空气压缩机
 17、干球温度计 18、湿球温度计 19、离心风扇 20、湿度计 21、温度计 22、空气压缩机
 23、进气阀 24、流量计 25、离心风扇 26、离心风扇 27、离心风扇 28、CaCl₂吸收器 29、
 30、进气管 31、流量计 32、离心风扇 33、小动物呼吸装置简图

丹麦国立畜牧研究所 哥本哈根
 (Chwalibog, Liad和Thorbeck, 1979)

六、不同畜禽的产热量和气体交换

研究所自1964年以来，在高饲养水平下用生长家畜进行了试验，其产热量和气体交换的平均值，见表1—7。

表1—7 高饲养水平下生长畜禽产热量和气体交换

	体 重		CO ₂	O ₂	产 热 量	
	公 斤	公斤 ^{0.75}	立升/日	立升/日	千焦耳/日	千焦耳/公斤 ^{0.75} /日
犊牛	100	31.6	960	990	18300	579
犊牛	150	42.9	1400	1500	27100	632
犊牛	250	62.9	2150	2280	40800	649
猪	20	9.5	400	420	8750	925
猪	50	18.8	720	660	14150	753
猪	90	29.2	1080	920	20160	690
鸡	0.25	0.35	13	15	260	736
鸡	1.00	1.00	31	36	630	630
鸡	1.50	1.36	38	46	790	583

实验的详细结果，将在另一讲稿中介绍，但这些数字，对呼吸装置的设计有重要价值。所示的不同畜禽的产热量和气体交换的数量多少，与代谢体重有关。产热量变化范围为 260～40800千焦耳/日。这与动物种类和体重相一致。而每公斤代谢体重的变动范围，为每日 580—925千焦耳。

第二篇 生长家畜的蛋白质与能量代谢

一、引言

本文的目的是为了提供和讨论我们在哥本哈根研究所测定犊牛、幼猪与鸡等的蛋白质及能量代谢的一些资料。测定能量代谢的原理是以氮、碳及能量平衡为依据的，这在第一篇讨论过。本所测定能量代谢是利用间接测热法，开放式装置可对不同畜种进行气体交换的测定。

氮平衡（参见第一篇表1—4）。

在生长期氮平衡试验，可测定沉积氮，并可计算出蛋白质增加量及其能值。必须强调，蛋白质沉积值并不说明蛋白质代谢及其转换，这在以后讨论。

碳平衡（参见第一篇表1—5）。

根据碳平衡测得沉积碳，并依此计算出脂肪增加量及其能值。这个试验必须在高于或低于维持水平的条件下进行，以保持一定的糖元库存，使其不致过多或过少。

能量平衡（参见第一篇表1—6）。

通过食入能与粪、尿及甲烷气中损失能量的测定和耗氧量与二氧化碳量的计算，按RQ法即可测得沉积能（RE）。根据C—N平衡，测定脂肪与蛋白质中沉积能的增加量，也可算出沉积能。

按前一讨论我们提出，为了获得有代表性的结果，应使试畜尽可能地保持舒适。如Cole等（1967）指出，置于代谢笼中的猪，活动极少，这可能影响肌肉的紧张度，并降低食物在小肠中的通过速度，从而使消化率高于畜栏中的猪。

多年前本所观察到这样一种情况，即如果将猪限制在代谢笼中，在平衡试验期间日排粪量下降，但如有较大的活动空间，下降趋势则停止。在较大的代谢笼中，粪与尿相互混杂的机会比在限制笼中大，因此影响到消化率测定的准确度，但平衡测定不受影响，因为二者的数值由计算而得。采用较大面积的代谢笼，工作仔细，有可能使有机物、无氮浸出物与能量的消化率准确度约达1%（标准差），氮为2—3%（标准差），这由于氮受污染影响较大（Thorbeck, 1975）。

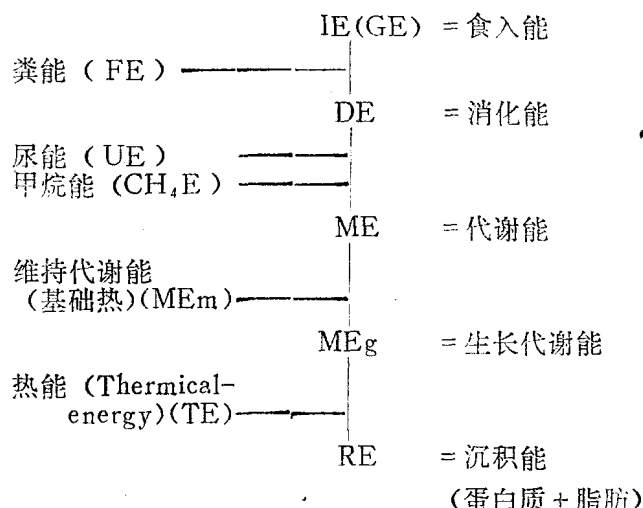
在叙述能量代谢时，不同作者采用不同术语，有时会造成一些困难。但现在有采用相同缩写与解释方式的趋势。本文采用的术语见表2—1。

热能（Thermal energy）是因采食与生产引起的超过基础热（basal heat）的热增耗（heat increment）。通过RQ或C—N平衡测定的总产热量是基础热与热能之和。代谢能一部分用于维持需要，一部分用于生产。生长利用效率（ K_g ）将在以后讨论， $K_g = RE/ME_g$ 。

二、生长家畜的氮代谢

我们研究生长家畜氮代谢的目的，就在于探讨确立不同种类动物最大的氮沉积的可能性，同时寻找氮采食量的最适水平和高利用率。多年来就生长动物的氮沉积是否与蛋白质和

表 2—1 测定生长家畜能量代谢时采用的术语



能量采食量呈函数关系 (Miller, Payne, 1963), 还是与细胞形成蛋白质的能力 (与年龄/体重有关) 呈函数关系展开了讨论 (Møllgaard, 1955)。Hock和Puschner (1966), Gebhardt (1966) 和Kielanowski (1972) 曾详细讨论了这个问题。后者认为细胞在生长的最初阶段形成蛋白质的能力很强, 之所以不能形成最大量, 是因为氮沉积与蛋白质和能量采食量之间存在着一个函数关系。由于细胞形成蛋白质的能力随着年龄的增大而减少, 若蛋白质与能量采食量足以达到其最大合成量, 则可依据年龄或体重的函数获得最大的氮沉积量。

目前在平衡试验中, 为避免剩料而采用限制采食量的方法, 使饲喂量接近自由采食量, 即根据以往试验的经验, 逐日增加饲料给量。试验用配合饲料的组成不应固定, 蛋白质供给的比例在动物幼龄为最高。在设计蛋白质采食量的试验时, 要寻求生长动物最大的氮沉积量, 试验日粮的蛋白质与其它营养成分之间的比例应有变化, 以符合氮沉积曲线和避免由于过剩氮的排出所引起的额外的体增热。采用固定组成的配合饲料是有害的, 因为这对较年幼的动物要获得最大的氮沉积量来说, 蛋白质的给量显然是太少了。在动物生长后期可以达到最大的沉积, 而蛋白质供给过高是有害的, 因会导致尿氮的增加, 同时能量损失较多, 而降低日粮的能量利用率。Thorbek (1975, 1980 a) 曾详细论述了日粮和饲喂量的试验设计。下面是一些有关犊牛、猪及鸡的氮代谢和氮沉积函数的试验结果。

2.1 犊牛的氮代谢

试验用24头荷兰公犊, 分为3个试验组, 测定100—275公斤体重时的蛋白质和能量代谢。每组8头犊牛, 均给予同一混合精料 (大麦、燕麦、豆饼和亚麻仁饼渣), 分高低两种饲养水平。粗饲料: 第一组为三叶草干草, 第二组为干甜菜糖渣和大麦秆, 第三组为三叶草颗粒料和大麦秆。24头犊牛在预定的生长期, 每组分别进行7或8次平衡试验 (Thorbek, 1980a)。

三个试验组的氮平衡测定显示出一致的结果, 不受粗饲料影响。将所有97次平衡试验资料合在一起, 并按体重 (100—275公斤) 重新组合整理, 得到的曲线如图一所示。

能量采食量从每日42兆焦耳增至84兆焦耳, 相当于1.3兆焦耳/kg^{0.75}/日。可消化氮从67克增至107克, 沉积氮从30克增至47克, 与体重呈曲线关系。可消化氮的利用率(RN/DN)相当恒定, 平均值为46.3±0.5%。