



四川农业大学 动物营养研究所

ANIMAL NUTRITION INSTITUTE, SICHUAN AGRICULTURAL UNIVERSITY

国家重点学科 • 长江学者特聘教授设岗单位 • 四川省重点实验室

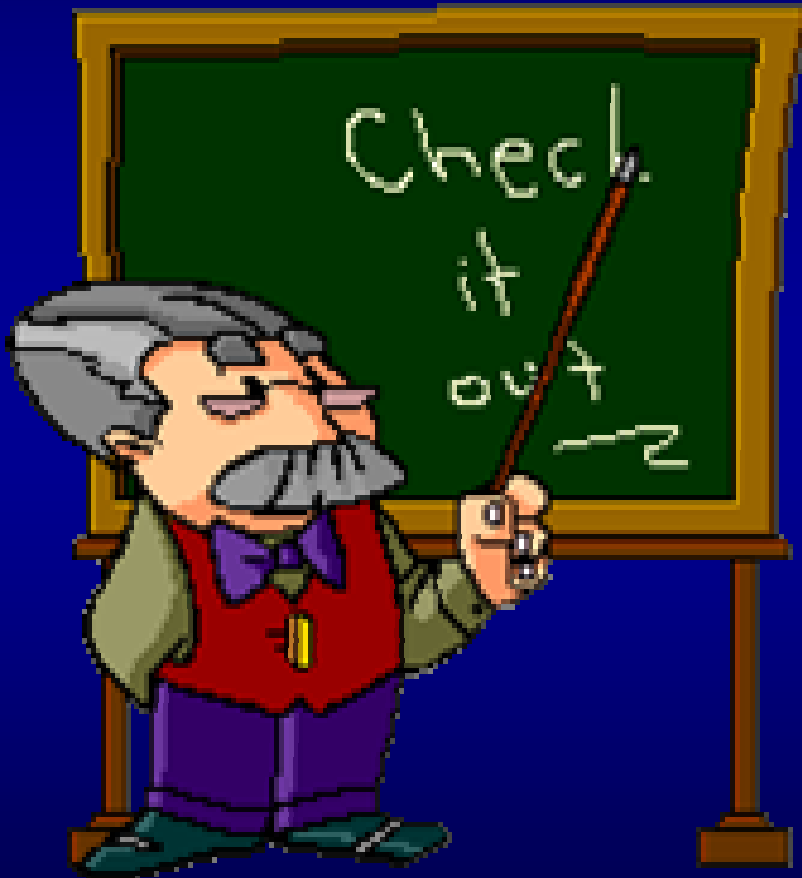
NATIONAL KEY DISCIPLINE CHANGJIANG SCHOLAR PROFESSORSHIP POSITION SICHUAN PROVINCIAL KEY & OPEN LAB

第七章 能量代谢



目的要求

重点掌握饲料能量在动物体内的转化过程和各种能值的概念及影响因素。





内 容

第一节 能量单位及能量来源

第二节 能量代谢

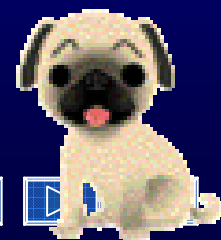
第三节 动物能量需要的表示体系



第一节 能量单位及能量来源

◆ 一、能量单位

◆ 二、能量来源





一、能量单位

1. 传统： 卡 (cal) $1\text{Mcal} = 10^3\text{Kcal} = 10^6 \text{ cal}$

2. 焦耳 (J) : $1\text{MJ} = 10^3\text{KJ} = 10^6\text{J}$

3. 卡体系和焦耳体系的转化:

$$1 \text{ cal} = 4.184\text{J}$$

$$1\text{Kcal} = 4.184 \text{ KJ}$$

$$1\text{Mcal} = 4.184\text{MJ}$$





二、能量来源

1. 主要来源于三大有机物:

碳水化合物、脂肪、蛋白质

- 碳水化合物是主要来源

单胃动物: 单糖、寡糖、淀粉

反刍动物: 单糖、寡糖、淀粉、
纤维素、半纤维素

- 脂肪次之
- 对单胃动物, 蛋白质不宜作能源物质



二、能量来源

有机物	C	H	O	N	其它	燃烧 (kJ/g)
碳水化合物	44	6	50	0	0	17.50
脂肪	77	12	11	0	0	39.54
蛋白质	52	7	22	16	3	23.64





二、能量来源

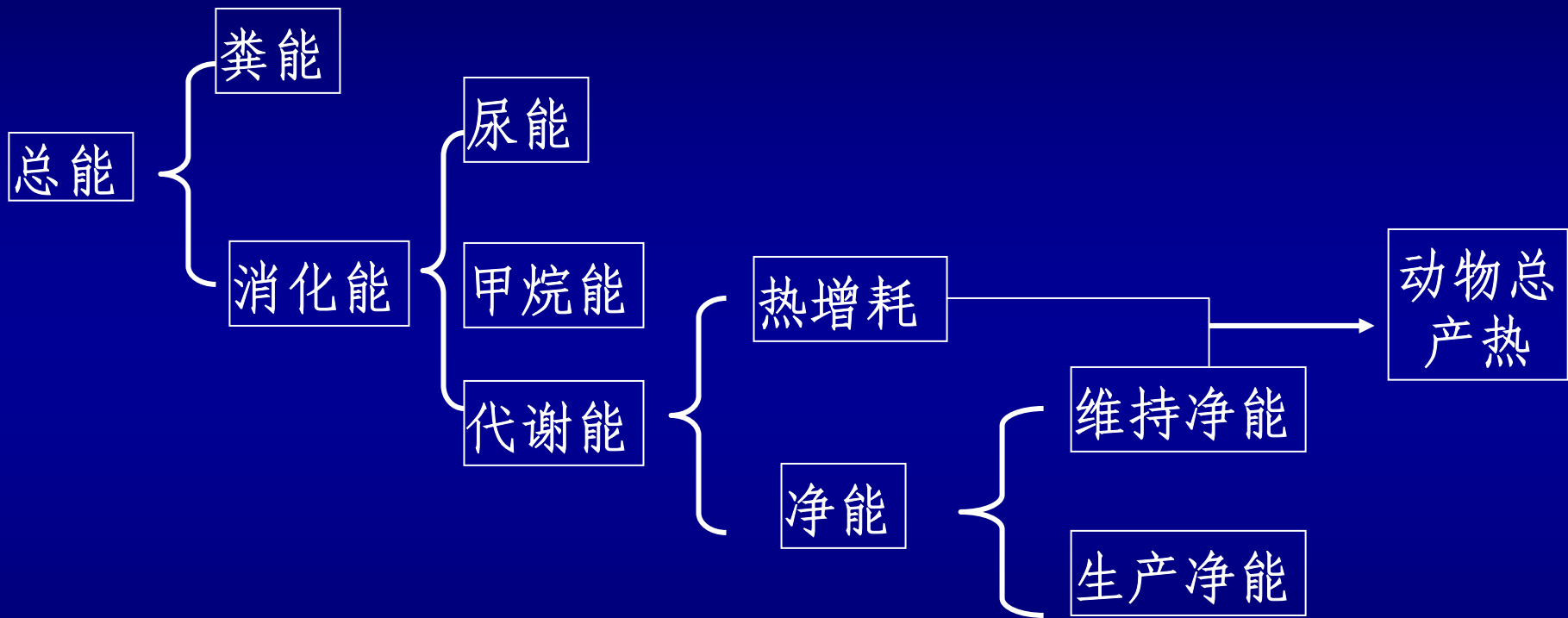
2. 纯养分能量高低取决于分子中的C、H含量
3. 饲料的能量高低取决于三大有机物的比例与含量
 - 含脂肪高的饲料含能高：花生、豆饼
 - 骨粉含有机物低，能量低



第二节 能量代谢

- ◆ 一、总 能
- ◆ 二、消化能
- ◆ 三、代谢能
- ◆ 四、净 能
- ◆ 五、环境温度对
能量代谢的影响





饲料能量在动物体内的分配



二、总能 (gross energy, GE)

1. 定义:

饲料中的有机物完全氧化燃烧生成二氧化碳，水和其他氧化产物时释放的全部能量，主要为碳水化合物、粗蛋白和粗脂肪能量的总和。

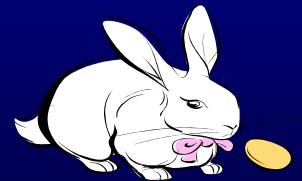


一、总能 (gross energy, GE)

2. 饲料的总能取决于三大有机物的含量，其能量与分子中C/H、O、N含量相关，C/H高，O越低，则能量越高。

- 脂肪 > 碳水化合物 > 蛋白质

不能反应饲料学价值的差异。





二、消化能 (digestible energy, DE)

1. 定义： 饲料可消化养分所含的能量，即动物摄入饲料的总能与粪能之差。

消化能 (DE) = 总能 (GE) - 粪能 (FE)

• 按上式计算的消化能为表观消化能 (ADE)

2. 粪能 (FE)： 粪中所含的能量（不能消化的养分随粪便排出）。



二、消化能 (digestible energy, DE)

3. 粪能的来源

- 粪能
 - 未消化的饲料
 - 内源性物质
 - 消化酶
 - 消化道脱落组织
 - 消化道微生物及代谢产物

内源性物质所含的能量称为代谢粪能 (FmE)

FE中扣除FmE后计算的消化能称真消化能 (TDE)





二、消化能 (digestible energy, DE)

4. 表观消化能 = 总能 - 粪能, 即:

$$ADE = GE - FE$$

5. 真消化能 = 总能 - (粪能 - 内源物质所含的能量)

$$\text{即: } TDE = GE - (FE - FmE)$$

FmE: 代谢粪能

表观消化能 (ADE) < (TDE) 真消化能

TDE反映饲料的值比ADE准确, 但测定困难



二、消化能 (digestible energy, DE)

6. 影响消化能的因素

(1) 总能 影响不大

$$\text{消化能 (Kcal /Kg)} = \text{总能} - \text{粪能/进食量 (DM)}$$

(2) 粪能 损失最大的部分

消化率取决于饲料中的粗纤维 (CF) 含量

$$\text{DE (MJ/Kg)} = 17.15 - 0.41\text{CF}$$

CF: 粗纤维含量

(3) 动物种类



二、消化能 (digestible energy, DE)

反刍动物	饲喂粗饲料	粪能占总能的 40%-50%
	饲喂精饲料	粪能占总能的 30%
马		粪能占总能的 40%
猪		粪能占总能的 20%
哺乳动物 (其它)		粪能占总能的比例 < 10%

家禽因粪尿难分开，一般不测定禽类的消化



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

1. 定义:

即食入的饲料消化能减去尿能 (UE) 及消化道气体的能量 (Eg) 后, 剩余的能量, 也就是饲料中能为动物体所吸收和利用的营养物质的能量。

$$ME = DE - (UE + E_g) = GE - FE - UE - E_g$$

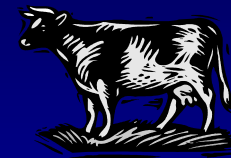
2. 气能 (Eg) : 消化道发酵产生气体所含能量。

(主要针对反刍动物甲烷 (cH₄) 的损失) 甲烷能占总能 3%-10%。



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

反刍动物



通用公式:

$$\text{甲烷 (KJ/100Kg饲料总能)} = 1.30 + 0.1120 - L (2.37 - 0.050$$

D)

D: 维持饲养水平时能量消化率百分数

L: 饲养水平为维持水平时的倍数



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

绵羊

$$\text{甲烷 (g)} = 2.14x + 9.80$$

x为可消化碳水化合物的百分数



牛

$$\text{甲烷 (g)} = 4.012x + 17.68$$

x为可消化碳水化合物的百分数





三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

3. 尿能 (UE): 被吸收的营养物质进一步参与集机体代谢, 其中饲料蛋白质和代谢机体蛋白质不能充分被氧化, 以含氮化合物的形式排出, 这些由尿中排出物质中的能量被称为尿能。尿能取决于蛋白质的高低和AA平衡。

※ 测定不同动物尿中含N量, 就能测出尿能

猪: 尿素 $UE = 28M$ M为尿素含量

禽: 尿酸 $UE = 34M_0$ M_0 为尿酸含量

反刍动物: 尿素 $UE = 31M$ M为尿素含量



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

尿能的来源:

饲料中未被利用的物质

蛋白质周转产生的含氮化合物

(沉积N = 合成N - 周转N)

体蛋白动员产生的含N化合物





三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

代谢能 = 总能 - 粪能 - 气能 - 尿能 = 消化能 - 气能 - 尿能

$$\text{即: } ME = DE - (Eg + UE) = GE - FE - UE - Eg$$

对于单胃动物气能可忽略不计

禽



$$\begin{aligned} \text{代谢能} &= \text{总能} - (\text{粪能} + \text{尿能}) = \text{总能} - \text{排泻物含量} \\ &= DE - UE \end{aligned}$$

猪



$$\text{代谢能} = \text{总能} - (\text{粪能} + \text{尿能}) = DE - UE$$



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

4. 表观代谢能 (AME) 和真代谢能 (TME)

表观消化能 (AME) = 总能 (GE) - 粪能 (FE) -
尿能 (UE) - 气能

真代谢能 (TME) = 总能 - (粪能 - 代谢粪能) -
(尿能 - 内源尿能) - 气能

即 $TME = GE - (FE - FmE) - (UE - UeE) - E_g$

UeE: 内源尿能, 也称内源氮, 来自于体内蛋白质动员分解的产物。



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

5. 氮校正代谢能 (ME_n)

TME受体内N沉积的影响

氮校正代谢能：根据体内氮沉积进行校正后的代谢能，只要用于家禽。

$$\text{校正公式: } \text{AME}_n = \text{AME} - \text{RN} * 34.39$$

$$\text{TME}_n = \text{TME} - \text{RN} * 34.39$$

RN: 家禽每日沉积的氮量



三、代谢能 (metabolizable energy, ME)

6. 影响代谢能的因素:

$$ME = \text{总能} - \text{粪能} - \text{尿能} - \text{气能}$$

- | | |
|--------------------|----|
| (1) 影响饲料消化的因素 (CF) | 粪能 |
| (2) 碳水化合物含量 | 气能 |
| (3) 蛋白质水平 | 尿能 |
| (4) AA平衡 | 尿能 |





四、净能 (Net Energy, NE)

1. 定义

能够真正用于动物维持生命和生产产品的能量，即饲料代谢能扣除饲料在体内的热增耗后剩余的那部分能量。

$$NE = ME - HI = GE - DE - UE - E_g - HI$$

2. 热增耗 (HI)

绝食动物饲给饲粮后，产热量增加，增加的那部分热量损失掉了，这个部分热量就叫热增耗。

$$\text{体增热} = \text{采食动物产热量} - \text{绝食动物产热量}$$



四、净能 (Net Energy, NE)

3. 产生热增耗的原因

- (1) 消化过程产热，消化道运动产热。
- (2) 营养物质的代谢做功产热。
- (3) 营养物质代谢增加了不同器官肌肉活动所产生的热量。
- (4) 肾脏排泄做功产生热量。
- (5) 饲料在胃肠道发酵产热。



四、净能 (Net Energy, NE)

4. 影响热增耗大小的因素

(1) 动物种类

主要体现在反刍动物和单胃动物的区别。

(2) 养分组成

- 不同的营养素热增耗

→ 蛋白质体增热最高，饲料中蛋白质或AA过高，会引起热增耗增加。



四、净能 (Net Energy, NE)

- 脂肪体增热最低。脂肪转化为体脂的效率
高。
- 碳水化合物居中。

- 饲料中的CF和饲料形状
- 饲料中缺乏某些矿物元素或维生素时，热增耗
增加。





四、净能 (Net Energy, NE)

(3) 饲养水平

热增耗随饲养水平的增加而增加，夏季动物本能地降低采食量。



四、净能 (Net Energy, NE)

5. 维持净能 (NE_m)

维持动物生命活动，适度随意运动和维持体温恒定所耗能量。这部分能量最终以热的形式散失。

6. 生产净能 (NE_p)

指饲料能量用于沉积到产品中的部分，也包括用于劳役做功的部分。根据其目的的不同，可分为增重净能、产蛋净能，产奶净能，产肉净能，产毛净能等。



五、环境温度对能量代谢的影响

1. 环境温度主要通过影响动物的热调节来影响饲料能量的利用效率。

- 体温恒定
 - 产热：饲料，体组织
 - 散热：蒸发散热 呼吸、皮肤出汗
 非蒸发散热 传导、对流、辐射
- 环境温度影响两个过程的强弱比例，也影响饲料的能量分配



五、环境温度对能量代谢的影响

2. 等热区： 在环境温度的某一范围内，动物不需要提高代谢率，只靠物理调节（蒸发、传导、对流、辐射），即可维持体温的恒定，通常将这一温度范围称为等热区。等热区内动物的代谢率最低。
3. 临界温度： 等热区的下限点温度叫下限临界温度，或简称临界温度。
4. 上限温度： 等热区的上限点温度叫上限温度。



五、环境温度对能量代谢的影响

- 等热区能量利用最高。环境温度超过等热区高限，动物产热可能有点下降，但随着环境温度升高，动物机体代谢加快，产热增加。环境温度低，动物本能增加采食。环境温度高于一定值，动物本能降低采食量，减少体增热。
- 通过饲养，管理扩大等热区。
- 低温下，每下降 1°C ，20kg猪多需13g饲料。



第三节 动物能量需要的表示体系

◆ 一、表示体系

◆ 二、能量体系间的转化关系





一、表示体系

1. 消化能体系

考虑了粪能损失，准确性小于代谢能和净能，猪多采用消化能体系。

2. 代谢能体系

在消化能的基础上，考虑了尿能和气能的损失，比消化能准确，但测定困难。代谢能体系主要用于家禽。



一、表示体系

3. 净能体系

不但考虑了粪能、尿能、气能的损失，还考虑了热增耗的损失，比消化能和代谢能都准确。但测定难度大，费工费时。

反刍动物多采用净能体系。

净能体系是动物营养学界评定动物能量需要和饲料能量价值的趋势。



二、能量体系间的转化关系

	DE	ME	NE
反刍动物 (牛)	100	82	50-60
单胃动物 (猪)	100	96	70

各种动物的适用能量体系:

猪: DE ME 一般用DE

禽: AME TME 一般用AME

反刍动物: NE





二、能量体系间的转化关系

- 可消化总养分
(TDN)

TDN是可消化粗蛋白、可消化粗纤维、可消化无氮浸出物和2.25倍可消化粗脂肪的总和。

$$\text{TDN} = X_1 + X_2 \times 2.25 + X_3 + X_4$$

X_1 : 可消化粗蛋白;

X_2 : 可消化粗脂肪

X_3 : 可消化粗纤维;

X_4 : 可消化无氮浸出物



二、能量体系间的转化关系

- TDN可换算成DE或ME

$$1 \text{ kgTDN} = 18.4\text{MJ DE} = 15.1\text{MJ ME}$$

由于TDN没有考虑气能的损失，因此过高估计动物，尤其对反刍动物利用粗低了能量价值。



二、能量体系间的转化关系

• 淀粉价体系

已知1KG淀粉在阉公牛体内沉积248克脂肪（相当于9.858 MJ净能），将其它饲料沉积脂肪的数量或沉积的净能与淀粉相比较，即可得出其它饲料与淀粉的等价量，简称为淀粉价。

淀粉价建立在碳氮平衡实验的基础上，其属于净能体系。但在运用中要注意区分不同的家畜。



The End

