

动物营养学

内蒙古农业大学

第一篇 动物营养原理

Nutritional Principle of Animal



第七章 能量的营养

Energy Nutrition

本章主要目的:

了解能量的来源与衡量，能量对动物的影响及影响各种能值的因素；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。





第七章 能量的营养原理

Energy Nutrition

本章重点:

1. 能量在体内的分配与转化;
2. 能量的基本概念;

本章难点: 能量在各种动物中的测定方法及研究进展





第七章 能量的营养原理

Energy Nutrition

第一节 能量的来源及衡量

第二节 饲料能量在动物内的代谢

第三节 饲料的能量效率

第四节 能量水平对动物健康与生产性能的影响





第一节 能量的来源及衡量

Source and Expression of Energy

一、能量的衡量单位与测定

1、衡量单位

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

➤ 焦耳（J）： $1\text{MJ} = 10^3\text{KJ} = 10^6\text{J}$ 国际通用

➤ 卡体系和焦耳体系的转化：

➤ $1\text{cal} = 4.184\text{J}$ ， $1\text{Kcal} = 4.184\text{KJ}$

➤ $1\text{Mcal} = 4.184\text{MJ}$





第一节 能量的来源及衡量

一、能量的衡量单位与测定

2、测定

➤ 氧弹式测热器





第一节 能量的来源及衡量

二、能量的来源

■ 碳水化合物、脂肪、蛋白质

■ 碳水化合物是主要来源

非反刍动物：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

■ 蛋白质不宜作能源物质





第一节 能量的来源及衡量

二、能量的来源

- 碳水化合物、脂肪、蛋白质的燃烧热值不同，与C、H、O的比例有关。

有机物	C	H	O	N	其它	燃烧, kJ/kg
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



第一节 能量的来源及衡量

二、能量的来源

- 不同种类的饲料，能值也不等。三种营养物质的比例和数量不等。
- 各种饲料的能值尽管不同，但差别不太大。大多数植物饲料中以碳水化合物为主，比例最高。因此只有当饲料中脂肪含量或无机物含量高时，能值才会明显增加或降低。
- 如下表。豆饼能值高，骨粉能值低





第一节 能量的来源及衡量

二、能量的来源

几种主要饲料干物质的能值（大卡/公斤）

草地干草	4323	大麦	4361
苜蓿干草	4353	高粱	4461
稻草	3758	蚕豆	4608
大麦秸	4029	米糠	5244
胡萝卜	4378	小麦麸	4635
甘薯	4111	大豆饼	5067
玉米	4514	花生饼	5164



第一节 能量的来源及衡量

二、能量的来源

- 蛋白质在体内氧化释放能量时，氧化不完全，由尿中损失部分能量（尿能）。
- 尿能损失比较稳定。反刍家畜每克尿N含能7.45大卡（31KJ），家禽8.22大卡（34KJ），猪28KJ。
- 家禽尿以尿酸为主，反刍家畜以尿素为主。
- 尿酸能量高于尿素，前者：2.74大卡/克，11.47KJ/g，后者：2.53大卡/克，10.54KJ/g）。



第一节 能量的来源及衡量

二、能量的来源

- 每克Pr在体内氧化时由尿中损失的能量平均为1.25大卡/克，5.23KJ/g，故1克pr在体内氧化释放的能值低于实际含有的能值(体外燃烧，完全氧化)，为 $5.65-1.25=4.4$ 大卡/克，18.41KJ/g。
- 碳水化合物和脂肪在体内氧化产生的热量与体外燃烧释放的热量或测热器的实测值相等。

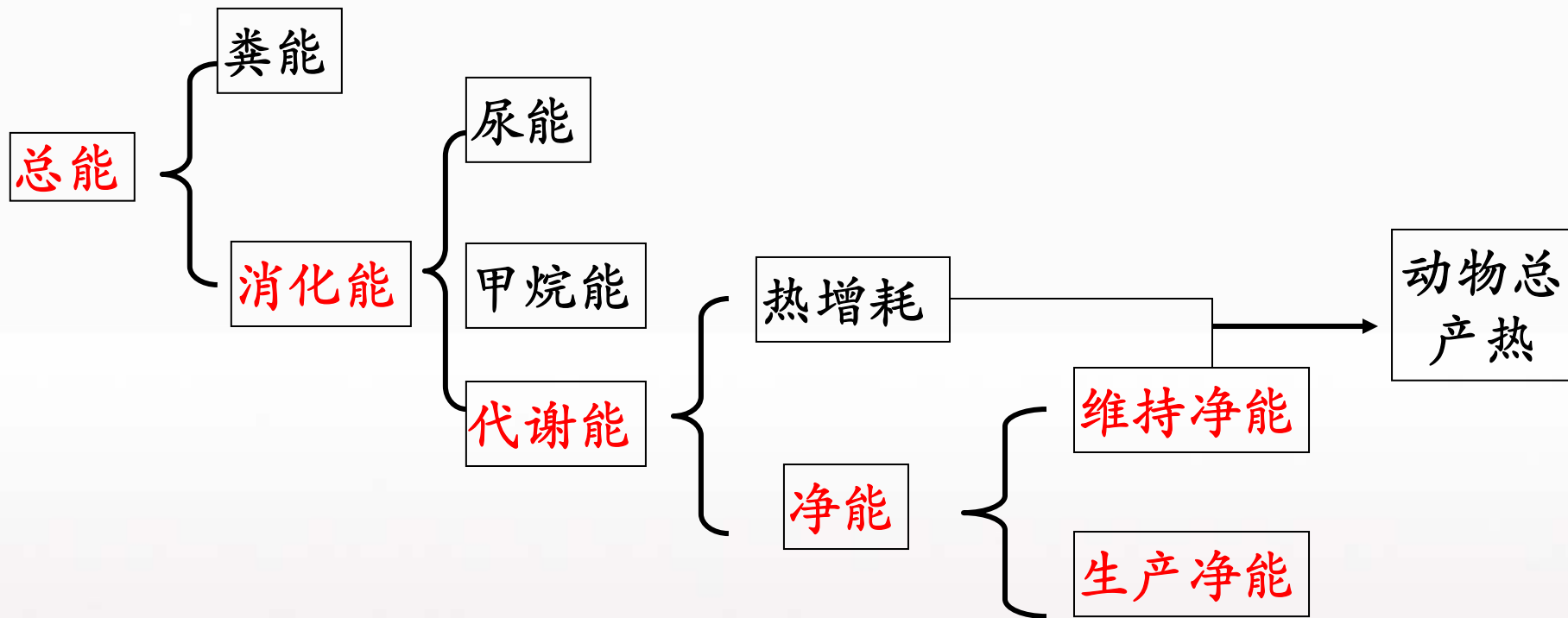
三、能量转化效率（见前）





第二节 饲料能量在机体内的转化

Conversion of Feed Energy in Animals



饲料能量在动物体内的分配





第二节 饲料能量在机体内的转化

Conversion of Feed Energy in Animals

一、总能 (Gross Energy, GE)

- 也叫燃烧热或粗能，是指饲料中有机物质全部燃烧氧化所释放的能量，即：饲料中三大有机营养物质的热量总和。
- 不能反应饲料能量价值的差异





二、消化能 (DE)

■ **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)**

■ **粪能 (FE):** 粪中所含的能量 (不能消化的养分随粪便排出)。

表观消化能
ADE





二、消化能 (DE)

■ 粪能的来源

❁ 未消化的饲料

❁ 内源性物质 — 内源性物质所含的能量称为代谢粪能 (FmE)

➤ 消化酶

➤ 消化道脱落组织

➤ 消化道微生物及代谢产物

■ 真消化能 (TDE) : FE中扣除FmE





二、消化能 (DE)

■ 表观消化能 = 总能 - 粪能 $ADE = GE - FE$

■ 真消化能 = 总能 - (粪能 - 代谢粪能)

■ 即: $TDE = GE - (FE - FmE)$

■ FmE : 代谢粪能

■ $ADE) < TDE$

■ TDE反映饲料的能值比ADE准确, 但测定困难





二、消化能 (DE)

影响消化能的因素

消化能 (Kcal /Kg) = (总能 - 粪能) / DM进食量

❖ 总能 影响不大

❖ 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

$$DE (MJ/Kg) = 17.15 - 0.41CF$$

CF: 粗纤维含量





二、消化能 (DE)

影响消化能的因素

❖ 动物种类：粪能占总能比例因动物种类而异

✓ 反刍动物：

 饲喂粗饲料 40%–50%

 饲喂精饲料 30%

✓ 马 40%

✓ 猪 20%

✓ 哺乳动物（其它）：10%

✓ 家禽因粪尿难分开，一般不测定DE





三、代谢能 (ME)

1、ME定义:

✓ 食入的饲料DE减去尿能 (UE) 及消化道气体的能量 (Eg) 后, 剩余的能量。即饲料中可被动物体吸收和利用的营养物质的能量。

✓ $ME = DE - (UE + Eg) = GE - FE - UE - Eg$





三、代谢能 (ME)

2、气体能 (Eg) :

■ 消化道发酵产生气体所含的能量。

■ CH₄能的数量因动物种类不同而异。

反刍动物：消化道、发酵产生的气体中，CH₄占比例大，占30%左右，CH₄的含热值为13.334Kcal/g，或57.79KJ/g。每食入100g碳水化合物，反刍家畜牛则产生4~5gCH₄气体，不能忽略。猪产生0.95~1.37gCH₄，量很少，可忽略。

绵羊： 甲烷 (g) = 2.14x + 9.80,

牛： 甲烷 (g) = 4.012 x + 17.68

x为可消化碳水化合物的百分数





三、代谢能 (ME)

2、气体能 (Eg) :

- 同一类动物Eg因日粮性质和采食水平有关。
- 在实际测定中很困难，通常可估测。
- 反刍动物：CH₄能可占到GE的3%~10%，维持条件下占8%
维持水平以上占6%~7%。
- 通用公式:

甲烷 (kJ/100kJ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 (ME)

3、尿能 (UE) :

■ **定义:** 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。

■ **来源:** 被吸收的营养物质进一步参与机体代谢，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。

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 (ME)

3、尿能 (UE) :

■测定：测定动物的尿中含N量，就可测出尿能

✓反刍家畜每克尿N含能7.45大卡 (31KJ) ，家禽8.22大卡 (34KJ) ，猪28KJ。





三、代谢能 (ME)

4、ME:

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

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

对于单胃动物气能可忽略不计

$$\begin{aligned} \text{禽: } ME &= GE - (FE + UE) = GE - \text{排泻物总能} \\ &= DE - UE \end{aligned}$$

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

$$\text{ME (MJ/kg)} = DE \times (96 - 0.202 \times CP) / 100$$





三、代谢能 (ME)

4、表观代谢能 (AME) 和真代谢能

■ 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, 也称内源能, 来自于体内蛋白质动员分解的产物。





三、代谢能 (ME)

5、禽氮校正代谢能

■ 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。

■ 校正公式： $AME_n = AME - RN * 34.39$

$$TME_n = TME - RN * 34.39$$

RN：家禽每日沉积的氮量， >0 ， <0 ， $=0$

34.39：每g尿N所含的能量 (KJ)

- 为了便于比较不同饲料的代谢能，应消除N沉积的影响，使其处在相同N沉积的基础上比较，为此根据N沉积量对ME进行校正，校正至N沉积为零时的代谢能。





三、代谢能 (ME)

6、影响代谢能的因素：

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

影响饲料消化的因素 (CF) 粪能

碳水化合物含量 气能

蛋白质水平 尿能

AA平衡 尿能





四、净能 (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。





四、净能 (NE)

2、热增耗 (HI)

■随动物采食，体内产热量有增高的现象，这种热效应称为热增耗或称特殊动力作用 (Specific dynamic action) ，或称体增热 (Heat increment) 。

■或因采食而增加的产热量叫HI。

■或绝食动物采食饲料后短时间内，体内产热高于绝食代谢产热的那部分热量叫HI。

体增热 = 采食动物产热量 - 绝食动物产热量





四、净能 (NE)

2、热增耗 (HI)

❖ 来源：5个方面

■ 消化过程产热

■ 营养物质代谢做功产热

■ 与营养物质代谢有关的肌肉活动产生的热量

■ 肾脏排泄做功产热

■ 饲料在肠道的发酵产热HF。





四、净能 (NE)

2、热增耗 (HI)

❖ 生理意义:

■ 低温条件下，HI对动物机体是有利的，可作为维持动物体体温的热能补充来源。

■ 在高温条件下，HI对动物体是额外的负担，体内产生的热量散不出去，为了散发这些多余的热量保持体温恒定，必须加强呼吸循环，使基础代谢加强（蒸发呼吸散热）。因此，既散失了HI，又增加了能量的消耗。





四、净能 (NE)

3、维持净能 NE_m 与生产净能 NE_p

■ 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。

最终以热的形式散失。

■ NE_p : 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。

增重净能、产蛋净能，产奶净能，产肉净能，产毛净能等。





五、影响NE的因素

$$NE = ME - HI$$

- ❖ 影响NE的因素：影响ME的因素
- ❖ 影响HI的因素
- ❖ 环境温度的影响





五、影响NE的因素

❖ 影响HI的因素：

■ 动物种类

反刍动物高于单胃动物。

■ 养分组成

不同的营养素热增耗不同。

蛋白质体增热最高，脂肪最低，碳水化合物居中。

饲料中的纤维物质水平及饲料形状：影响消化过程产热及VFA中乙酸比例

饲料中缺乏某些矿物元素或维生素时，热增耗增加。



五、影响NE的因素

表7-1 营养素对HI的影响

营养素	每食入100 (大卡) ME产生的HI (大卡)		
	牛	羊	猪
脂肪	35	29	9
碳水化合物	37	32	17
蛋白质	52	54	26
混合日粮	35—70	35—70	10—40





五、影响NE的因素

❖ 影响HI的因素:

■ 饲养水平：正比，夏季动物本能地降低采食量

■ 日粮营养平衡

■ 饲料种类

如：猪尾草： 781大卡/kg.DM 玉米粉： 128大卡/kg.DM

红三叶草 973大卡/kg.DM 麸皮： 1181大卡/kg.DM

玉米杆： 1065大卡/kg.DM 小麦秸秆： 1160大卡/kg.DM





五、影响NE的因素

❖ 体热调节 (Heat Increment Regulation 不讲)

❖ 环境温度对能量代谢的影响

主要通过影响动物的体热调节来影响饲料能量利用效率。

■ 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、影响NE的因素

❖ 环境温度对能量代谢的影响

- **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。
- **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。
- **上限温度**: 等热区的上限点温度叫上限温度





五、影响NE的因素

❖ 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 > 等热区高限: 动物产热可能有所下降，但机体散热受阻，体内蓄热得不到散发，提高代谢率（呼吸、循环等），使热量耗损增加。动物本能降低采食量，减少体增热。

气温过低: 散热增加，必须加速体内氧化分解过程增加产热量，使热量耗损增加。动物本能增加采食。





五、影响NE的因素

❖ 环境温度对能量代谢的影响

■ 畜禽的下限临界温度和许多因素有关：

(1) 畜禽种类、年龄：反刍家畜和鸡的下限临界温度低。成年家畜低于幼龄家畜。

(2) 饲养水平：影响较大。

饲养水平愈高，体增热愈多，下限临界温度愈低。





五、影响NE的因素

❖ 环境温度对能量代谢的影响

■ 畜禽的下限临界温度和许多因素有关：

(3) 被毛影响：

刚剪毛的绵羊，保温效果差，散热多，下限临界温度升高；被毛长，临界温度下降。

(4) 管理制度：

群饲、家畜挤集，保温，可降低临界温度。





五、影响NE的因素

启发：在畜牧生产实践中，应尽可能创造条件，使畜禽所处的环境温度接近临界温度，减少热耗损，提高能量利用效率。





第三节 饲料的能量效率

Utilization efficiency of Feed Energy

一、营养物质在体内分解和合成的能量效率

■ 动物采食饲料经过消化吸收后，一部分营养物质分解产生ATP供能。

■ **氧化供能效率** = 1mol 营养物质在体内氧化产生的ATP（高能磷酸键）键能的总和 / 该物质燃烧热

■ 另一部分营养物质直接或间接参与产品中养分的合成

■ **营养物质合成的能量效率** = 合成产品的燃烧热 / 用作合成的养分燃烧热，





第三节 饲料的能量效率

Utilization efficiency of Feed Energy

二、饲料能量利用效率

常用的能量效率有两种表示方式：

1、**能量总效率** (gross efficiency of feed energy)

总效率 = 产品中所含的能量 / 进食饲料的有效能 (DE 或 ME) (包括用于维持的能量) $\times 100\%$

受动物、生产水平、饲料及其他环境因素的影响。





第三节 饲料的能量效率

Utilization efficiency of Feed Energy

二、饲料能量利用效率

2、**能量净效率** (net efficiency of feed energy) : 主要受品种影响

- 净效率 = 产品中所含的能量 / (进食有效能值 - 用于维持需要的有效能值) × 100%
- 动物在饲喂维持以上能量水平时，产生的产品能值与除去用于维持所需要的有效能值之比。





第三节 饲料的能量效率

Utilization efficiency of Feed Energy

三、影响饲料能量利用率的因素

1、动物种类、性别、年龄 P99 表7-3

- 不同种类动物对同一饲料中有效能值利用率不同，饲料ME用于肥育时的效率：猪、禽 > 反刍动物。
- ME的能量转化效率：母畜 > 公畜





第三节 饲料的能量效率

Utilization efficiency of Feed Energy

三、影响饲料能量利用率的因素

2、生产目的p99 表7-4

- 能量用于维持时的效率高。

原因：动物有效地利用了HI和HF来维持体温。

- 当动物将饲料能量用于生产时，随着采食量增加饲料消化率下降，而且HI也增加，能量用于产品形成时还消耗一部分能量。





第三节 饲料的能量效率

Utilization efficiency of Feed Energy

三、影响饲料能量利用率的因素

3、饲养水平

• 饲养水平在适当范围内随进食水平增加，饲料有效能量用于维持比例相对减少，用于生产的净效率增加。但在适宜饲养水平上，随采食水平的提高，饲料中DE、ME都↓。

4、饲料成分：饲料中的添加剂（营养性，非营养性）及某些成分影响饲料能量的利用效率。

5、温度

• 低、高温，不利于饲料的能量效率，使其↓。





第四节 能量水平对动物健康和生产性能的影响

一、 能量缺乏对机体的影响

- 1、 缺乏原因： 主要是饲喂量不足， 或日粮浓度低。
- 2、 缺乏后果：
 - 幼畜生长速率明显减速， 初情期延迟。
 - 体重减轻。
 - 对生长动物， 短期缺乏能量， 不会导致严重的影响和持久的损害， 当能量供给恢复正常后， 可得到补偿。 若长期缺乏， 招致的生长受阻， 即使能量恢复正常也难以得到补偿。





第四节 能量水平对动物健康和生产性能的影响

一、 能量缺乏对机体的影响

■ 妊娠母畜：动物初生体重小，母畜泌乳量和乳品质下降。

■ 泌乳母牛：体重减轻，泌乳量下降。繁殖性能及健康状况下降。高产乳牛因为能量减少，动员体脂，引起大量脂肪水解。还会引起酮体生成过多，产奶量下降。

■ 母羊能量供给不足，繁殖机能障碍，泌乳期缩短，甚至引起酮糖症、毒血症。

■ 母鸡能量供给不足，生长减缓，产蛋率下降。





第四节 能量水平对动物健康和生产性能的影响

二、 能量过量对机体的影响

- 繁殖——性周期紊乱、难孕、胎儿发育不良及难产泌乳：乳腺内沉积大量脂肪，妨碍腺体组织的正常发育，影响泌乳。
- 严重时，尤其产前一个月饲喂高能日粮可引起妊娠母牛产后瘫痪等，乳房炎发病率升高。
- 妊娠母猪：高能日粮导致体躯过肥，影响繁殖机能，出现死胎、胎儿被吸收，仔猪体弱，母猪产后食欲不振，食量减少，体质软弱消瘦。





第四节 能量水平对动物健康和生产性能的影响

二、 能量过量对机体的影响

■母鸡：高能饲料尤其高能低蛋白日粮的后果更严重。肝脂肪浸润，产蛋率明显下降，后备鸡因脂肪沉积早熟，开产过早而使蛋重减轻，蛋料比增高等。

■种公畜：影响繁殖性能很大。

因此：为了保证家畜正常的繁殖性的和生产性能，必须保证日粮中具有适宜的能量水平。





本章思考题:

1. 能量在动物体内的转化过程（单胃、反刍动物）
2. 饲料三大营养物质作为动物的能源物质时，效率有何不同？为什么？
3. 猪、禽对饲料的能量转化效率为何高于反刍动物？
4. 体增热的产生及生理意义
5. 饲料能量用于维持的效率为何高于生产？
6. 影响能量利用效率的因素？







谢谢!