

奶牛营养需要和饲料成分

(修订第三版)

冯仰廉 陆治年 主编

中国农业出版社

前 言

第一版《奶牛饲养标准》于1986年12月由农业部批准，颁布为中华人民共和国专业标准（ZB B 43007—86），经过10年在全国各地奶牛行业实施，已取得了显著的经济效益和社会效益。为便于应用，于1989年出版了《奶牛饲养标准和典型日粮配方》。

反刍家畜新蛋白质（小肠蛋白质）体系的研究，于“七五”期间被农业部列为重点研究项目，同时国家自然科学基金重点项目“反刍动物能量转化规律及营养调控（1994—1998）”对研究内容进行了充实，经过历时8年的研究，提出了我国较系统的小肠蛋白质营养新体系，于1993年和1998年通过了部级专家组的鉴定。因此，第二版的重点修订内容为小肠蛋白质体系，并召开了以第一版起草人为基础的修订会议，通过了修订内容。

第一版主要起草人：冯仰廉、李永禄；参加起草人（以姓氏笔画为序）：丁晓明、王兴洲、马曼云、时宜、李喜明、张志文、张子仪、张国钧、陆志年、陆曦蕾、周建民、金遐良、姜华、胡金锐、耿宁芬、彭国华、韩永祥、韩刚。

修订第二版的《奶牛营养需要和饲养标准》（2000），主要起草人：冯仰廉、莫放、陆治年、阎汉平；参加起草人（以姓氏笔画为序）：丁晓明、王兴洲、冯定远、时宜、李胜利、李卫、张邦恢、张志文、张晓明、陆曦蕾、陈万钟、沈延成、周建民、金遐良、殷成文、寇占英、彭国华、韩永祥、韩刚、程起方、董德宽。

1998年以来，我国对瘤胃微生物氨基酸、饲料氨基酸瘤胃降解率和消化率进行了一系列研究，提出了以小肠可消化粗蛋白为基础的赖氨酸和蛋氨酸营养平衡的建议，并于2004年在动物营养学分会召开的第9届学术研讨会上（重庆）及在四川农业大学召开的“动物营养与饲料创新学术与技术研讨会”上作了介绍，征求了意见。为了适应我国奶牛饲养业快速发展的需要，在重

庆会议期间召开了第三版的修订会议，商定了修订的重点内容和分工。

在修订第二版的基础上增加了小肠可消化粗蛋白质的赖氨酸及蛋氨酸平衡、常量矿物质元素的需要、微量元素的需要、脂肪营养、碳水化合物营养等部分，同时增加了一些营养需要表和饲料成分与营养价值表以及有关的计算方法。

我国幅员辽阔，奶牛遗传状况、饲养环境、饲料品种等差异较大，因此，奶牛营养需要和饲料成分及营养价值的参数供应用参考，各地可根据实际情况作适当调整。

目 录

前言

一、能量体系	1
1. 产奶净能	1
2. 奶牛能量单位	1
3. 饲料产奶净能值的测算	2
二、成年母牛的能量需要	3
1. 维持的能量需要	3
2. 产奶的能量需要	3
3. 产奶牛的体重变化与能量需要	4
4. 产奶牛不同生理阶段的能量需要	4
5. 日粮干物质	5
6. 根据青粗饲料进食量确定精饲料给量	6
三、生长牛的能量需要	7
1. 生长牛的维持能量需要	7
2. 生长牛增重的能量需要	7
四、饲料的能量	9
1. 饲料的总能	9
2. 饲料的消化能	9
3. 瘤胃可发酵有机物质	10
4. 饲料的代谢能	10
五、小肠蛋白质营养体系	12
1. 小肠可消化粗蛋白质及赖氨酸和蛋氨酸平衡体系的总体模式	12
2. 瘤胃微生物蛋白质产生量的评定	13
3. 瘤胃能氮给量平衡	14
4. 尿素的有效用量	15
5. 小肠蛋白质的消化率	16
6. 小肠可消化蛋白质的转化效率	17
六、蛋白质的需要量	18
1. 维持的蛋白质需要	18
2. 产奶的蛋白质需要	18
3. 生长牛的蛋白质需要	18
4. 妊娠的蛋白质需要	19
5. 根据青粗饲料蛋白质进食量确定精饲料蛋白质给量	19

七、小肠可消化粗蛋白质的赖氨酸及蛋氨酸平衡	20
1. 瘤胃微生物蛋白质的氨基酸	20
2. 小肠饲料氨基酸	21
3. 小肠可消化粗蛋白质及赖氨酸和蛋氨酸比例	22
4. 产奶牛的赖氨酸和蛋氨酸需要	22
5. 日粮中赖氨酸和蛋氨酸的平衡	23
八、常量矿物质元素的需要	25
1. 钙	25
2. 磷	26
3. 钙磷营养失调	27
4. 镁	28
5. 钾、钠、氯	28
6. 硫	29
九、微量元素的需要	31
1. 需要量	31
2. 微量元素的营养失调	31
十、碳水化合物	33
1. 奶牛对非结构性碳水化合物的需要	33
2. 中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 的需要	34
十一、脂肪	35
1. 脂肪的营养功能	35
2. 脂肪的产奶效应	35
3. 脂肪的需要	35
十二、各种牛的营养需要表	36
表 12-1 成年母牛维持的营养需要	36
表 12-2 每 1 kg 奶的能量、维生素 A 和钙磷的需要	36
表 12-3 不同产奶量的 NND 需要 (不包括维持)	36
表 12-4 每产 1 kg 奶的蛋白质需要	37
表 12-5 维持加产奶的小肠可消化粗蛋白 (DCPSI) 需要 (g)	37
表 12-6 高产奶牛小肠可消化粗蛋白质的需要及赖氨酸和蛋氨酸平衡 (g)	38
表 12-7 母牛妊娠最后 4 个月的营养需要	40
表 12-8 生长母牛的营养需要	41
表 12-9 生长公牛的营养需要	46
表 12-10 种公牛的营养需要	51
十三、奶牛常用饲料的成分与营养价值表	52
表 13-1 青绿饲料	52
表 13-2 青贮类饲料	58
表 13-3 块根、块茎、瓜果类饲料	60
表 13-4 青干草类饲料	62

表 13-5 农副产品类饲料	66
表 13-6 谷实类饲料	68
表 13-7 豆类饲料	70
表 13-8 糖麸类饲料	72
表 13-9 油饼类饲料	74
表 13-10 动物性饲料类	76
表 13-11 槽渣类饲料	78
表 13-12 矿物质饲料	80
表 13-13 奶牛常用矿物质饲料的元素含量表	80
十四、附表	82
附表 1 常用饲料风干物质中的中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量 (%)	82
附表 2 常用饲料干物质中的中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量 (%)	82
附表 3 饲料蛋白质降解率、瘤胃微生物蛋白质产生量、瘤胃能氮给量平衡、 小肠可消化粗蛋白质及赖氨酸和蛋氨酸 (按饲料干物质基础)	84
附表 4 饲料的矿物质及维生素含量	92
附表 5 牛奶粗蛋白质中的氨基酸含量 (%)	96
附表 6 体重与代谢体重换算	96
十五、附录	98
缩写符号含义	101
参考文献	103

一、能量体系

1. 产奶净能

能量是奶牛营养的基础。世界各国所沿用的能量体系不尽相同。牛的饲料种类很多，从能量价值较高的谷物到价值较低的秸秆都是牛的常用饲料。但各种饲料对牛的能量价值差异较大，不仅能量的消化率相差很大，而且从消化能或代谢能转化为净能的过程中能量损耗的差异也较大。所以，用消化能或代谢能去评定饲料，必须在确定净能给量时再加以校正，这在应用时很不方便，不易推广；而且在饲料营养价值中只标明饲料的消化能或代谢能，亦会使用户对饲料的实际能量价值造成误解。

如果将奶牛的能量需要和饲料的能量价值分为产奶净能、增重净能和维持净能，这固然较准确，但使用时很麻烦，亦不易推广。奶用生长牛的增重速度，不要求像肉用牛那样快，因此，对奶用生长牛的能量需要亦采用产奶净能去表达，在确定其产奶净能的需要时加以调整便能避免误差；而代谢能用于维持的效率与产奶相似。所以统一使用产奶净能则生产者容易理解且使用方便。

在确定新的奶牛能量体系时，既要反映奶牛营养的客观规律，又应通俗易懂、简便易行，因此以采用产奶净能为好，即将产奶、维持和生长统一用产奶净能表示。

1984年颁布了法定计量单位，卡为非法定计量单位，焦耳为法定的能量计量单位，但能量计量从原惯用的卡改为焦耳需有一个过程，故本标准将卡(cal)与焦耳(J)并列。 $1\text{ cal}=4.184\text{ J}$ 。

2. 奶牛能量单位

我国奶牛生产领域中，惯有朴素的产奶能量转化概念，常以产奶多少作为衡量饲料能量效率和经济效益的尺度，如常说的每产2.5 kg奶约需1 kg混合精饲料(能量)。因此，在确定用新的能量单位时，为了把能量转化的科学概念与生产中的习惯结合起来，力求简便易行，避免繁琐的能量数值，所以采用相当于1 kg含脂4%的标准乳能量，即750 kcal产奶净能作为一个“奶牛能量单位”，缩写成NND(汉语拼音字首)，为照顾国际交流的需要，其英语缩写DEU(Dairy Energy Unit)。

$$\text{NND} = \frac{\text{产奶净能 (kcal)}}{750\text{ kcal}} \quad \text{或}$$

例如：1 kg干物质为89%的优质玉米，产奶净能有2154 kcal，则：

$$\frac{2154}{750} = 2.87\text{ NND}$$

其生产应用上的概念可反映为1 kg玉米(能量)相当于生产2.87 kg奶(能量)的

价值。

1 kg 干物质为 22% 的玉米青贮的产奶净能为 330 kcal，则：

$$\frac{330}{750} = 0.44 \text{ NND}$$

即 1 kg 玉米青贮（能量）约相当于生产 0.44 kg 奶（能量）的价值。

关于奶牛能量需要的计算，由于采用奶牛能量单位，从而更加简单并能直接与产奶量相联系。例如，1 头体重 600 kg 的奶牛，维持需要为 13.73 NND，这表明该奶牛如处于未孕不产奶的维持饲养状态下，其每日所消耗的饲料能量相当于生产 13.73 kg 标准奶的能量；如日产标准奶 20 kg，其产奶需要为 20 NND，则该奶牛维持加产奶的每日总需要量为 33.73 NND。

3. 饲料产奶净能值的测算

由于饲料产奶净能的体内评定方法比较复杂，且我国幅员辽阔、饲料种类繁多，故不可能将所有奶牛饲料的产奶净能全部进行实测。因此，世界各国均以一定数量的代表性饲料的实测数据为基础，推导出产奶净能与消化能或代谢能之间的回归公式，用于计算饲料的产奶净能。饲料的消化能可以用实验室的体外法，容易大量测定。

根据协作组用常规日粮的实验研究结果，得出以下回归公式：

$$\text{产奶净能 (Mcal/kg 干物质)} = 0.5501 \times \text{消化能 (Mcal/kg 干物质)} - 0.0946 \quad (r=0.9172, P<0.01)$$

$$\text{或 产奶净能 (MJ/kg 干物质)} = 0.5501 \times \text{消化能 (MJ/kg 干物质)} - 0.3958$$

例如，某玉米精料的消化能为 3.25 Mcal/kg 干物质，或 13.60 MJ/kg 干物质，按上式计算：

$$\text{产奶净能 (Mcal/kg 干物质)} = 0.5501 \times 3.25 - 0.0946 = 1.69$$

$$\text{或 产奶净能 (MJ/kg 干物质)} = 0.5501 \times 13.60 - 0.3958 = 7.09$$

二、成年母牛的能量需要

1. 维持的能量需要

国内外饲养实验和能量代谢实验一致表明，在适宜温度拴系饲养条件下，奶牛的绝食代谢产热 (kcal) $= 70 \cdot W^{0.75}$ 。对逍遥运动可增加 20% 的给量，即 $85 \cdot W^{0.75}$ 。由于第一和第二泌乳期奶牛的生长发育尚未停止，为了计算的简化，故第一泌乳期的能量需要须在维持基础上增加 20%，第二泌乳期增加 10%。

放牧运动时，奶牛能量消耗明显增加。国内对奶牛行走的能量需要进行了研究，与国外研究的结果相似，水平行走的维持需要如表 2-1。

表 2-1 牛行走运动的维持能量需要 (kcal)

行走距离 (km)	行走速度	
	1 m/s	1.5 m/s
1	$87 W^{0.75}$	$88 W^{0.75}$
2	$89 W^{0.75}$	$90 W^{0.75}$
3	$91 W^{0.75}$	$92 W^{0.75}$
4	$94 W^{0.75}$	$95 W^{0.75}$
5	$97 W^{0.75}$	$100 W^{0.75}$

注：m/s 为米/秒

牛在低温条件下，体热损失明显增加。据国内外实验结果表明，在 18℃ 基础上平均下降 1℃ 则牛体产热增加 $0.6 \text{ kcal}/(\text{kg } W^{0.75} \cdot 24 \text{ 小时})$ 。因此，在低温条件下应提高维持的能量需要量，例如，维持需要在 5℃ 时为 $93 W^{0.75}$ ，0℃ 时为 $96 W^{0.75}$ ，-5℃ 时为 $99 W^{0.75}$ ，-10℃ 时为 $102 W^{0.75}$ ，-15℃ 时为 $105 W^{0.75}$ 。

2. 产奶的能量需要

牛奶的能量含量就是产奶净能的需要量，因此准确地评定牛奶的能量含量是确定产奶净能需要的基础。但在生产条件下不可能对所有奶样进行测热，因此国际上均采用牛奶成分与能量含量的回归公式进行计算。

根据我国协作组对 475 个奶样的成分分析和测热 (1987)，得出的主要回归公式如下 (奶样的成分范围为乳脂率 2.22%~5.39%，乳蛋白率 2.51%~6.11%，乳糖率 2.41%~6.14%，总干物质 10.3%~16.4%，总能 556~962 kcal/kg。

$$\textcircled{1} y = 342.65 + 99.26 \times \text{乳脂率}$$

$$(r=0.9402, P<0.01)$$

$$\textcircled{2} y=179.26+92.73\times\text{乳脂率}+39.19\times\text{乳蛋白率}+13.15\times\text{乳糖率}$$

$$(r=0.9666, P<0.01)$$

$$\textcircled{3} y=-39.72+59.55\times\text{乳总干物质率}$$

$$(r=0.8269, P<0.01)$$

$$\textcircled{4} y=152.71+99.21\times\text{乳脂}\%+21.97\times\text{无脂干物质}\%$$

$$(r=0.9579, P<0.01)$$

亦可按奶的各种成分燃烧热值去计算奶的能值 (NRC, 2001)

$$Y=92.9\times\text{乳脂率}+54.7\times\text{乳蛋白率}+39.5\times\text{乳糖率}$$

y 为每千克奶的能量 (kcal)

其中①式最为简便, 只要求测得乳脂率便能较准确地计算出奶的能量。按该式计算每千克含脂率 4% 的标准奶平均为 740 kcal, 与实测的 750 kcal 仅相差 10 kcal。每个奶牛能量单位仍按 750 kcal 计算。

由于高产奶牛的饲料能量转化效率趋于下降, 故日产奶 40 kg 以上的每千克奶净需要量可再增加 6%, 即每千克标准乳需 1.06 NND。

3. 产奶牛的体重变化与能量需要

当产奶牛日粮的能量不足时, 母牛往往动用体内贮存的能量去满足产奶的需要, 结果体重下降。反之, 当日粮能量过多, 多余能量在体内沉积, 体重增加。

成年母牛每千克增重或减重, 根据对比屠宰实验, 平均为 6 Mcal。泌乳期间增重的能量利用率与产奶相似, 因此每增重 1 kg 约相当于 8 kg 标准奶 ($6/0.75=8$)。减重的产奶利用率为 0.82, 故每减重 1 kg 能产生 4.92 Mcal 产奶净能 ($6\times 0.82=4.92$), 即 6.56 kg 标准奶。

4. 产奶牛不同生理阶段的能量需要

(1) 产后泌乳初期的能量需要

产后泌乳初期阶段, 母牛的食欲和消化机能较差, 能量进食不足, 须动用体内贮存的能量去满足产奶需要。往往在产后的前 15 天为剧烈减重阶段, 在此期间应保持奶牛消化机能稳定并注意增加采食量, 防止过度减重。

黑白花奶牛的最高日产奶量出现的时间不一致, 但一般多出现在产后 60 天以内。因此, 当食欲恢复后, 采用引导饲养, 给量应稍高于需要。

(2) 泌乳后期和怀孕后期的妊娠能量需要

已知泌乳期用于增重的能量利用率较高, 与产奶相似。所以在泌乳后期增加一定体重供下一个泌乳期的需要是经济的。

按胎儿生长发育的实际情况, 从妊娠第 6 个月开始, 胎儿能量沉积已明显增加, 因此只规定妊娠最后 2 个月的妊娠需要就不够。

牛妊娠的能量利用效率很低, 每 1 Mcal 的妊娠沉积能量约需要 4.87 Mcal 产奶净能, 所以, 按此计算, 妊娠 6, 7, 8, 9 月时, 每天应在维持基础上增加 1.00, 1.70, 3.00 和

5.00 Mcal 产奶净能 (表 2-2)。

表 2-2 牛妊娠各阶段子宫和胎儿的养分沉积

项 目	妊 娠 日 数 (天)				
	141~169	169~197	197~225	225~253	253~281
增重 (kg/日)	0.24	0.32	0.43	0.54	0.67
蛋白质 (g/日)	18.20	52.50	54.90	86.10	126.10
能量 (Mcal)	0.11	0.20	0.35	0.61	1.03
钙 (g/日)	1.00	1.90	3.20	6.20	7.90
磷 (g/日)	0.60	1.10	1.90	3.10	4.70
乳腺的蛋白质沉积 (g/日)			7.00	22.00	44.00

5. 日粮干物质

干物质不是营养成分的概念,但日粮干物质中含有各种养分。不同类型的饲料所含干物质差异很大,由于牛是反刍动物,须保持日粮中合理的精粗料比例,特别是高产牛往往因干物质进食量不够而导致未能满足能量的需要,因此在常规日粮中须保持适宜的干物质质量。

干物质进食量受体重、产奶量、泌乳阶段、饲料能量浓度、日粮类型、饲料加工、饲养方法、气候等影响,因此干物质进食量的变化较大。但为了发挥奶牛的产奶潜力,则须保持一定的干物质进食量,以满足能量的需要。

根据我国的饲养试验,现提出以下产奶母牛的干物质参考进食量。

$$\text{干物质进食量 (kg)} = 0.062 W^{0.75} + 0.40y$$

(适于偏精料型日粮,即精粗料比约 60:40)

或

$$\text{干物质进食量 (kg)} = 0.062 W^{0.75} + 0.45y$$

(适于偏粗料型日粮,即精粗料比约 45:55)

式中: y 为标准乳 (kg); W 为牛的体重 (kg)。

牛是反刍动物,为了保持正常的消化机能。配合日粮时应考虑粗纤维给量,粗纤维含量过低,往往会影响瘤胃的消化机能,含量过高则达不到所需的能量浓度。

以上计算式不适用于秸秆等低质粗饲料的日粮。我国农村奶牛专业户仍常用去穗玉米青秸青贮作为主要粗饲料,玉米青秸物质的采食量平均 ($n=44$) 仅为 0.9 kg/100 kg 体重,进食的玉米青秸的能量只相当于维持所需能量的 50%,从而导致精饲料喂量过多,精料:粗料=60:40。

$$\text{精料喂量 (kg)} = 0.4651 \text{ kg 标准乳}, n=44, r=0.89, P<0.01$$

$$\text{因此,日粮干物质进食量 (kg)} = 0.065 W^{0.75} + 0.136 \text{ FCM} + 0.626 C$$

$$n=44, r=0.9153, P<0.01$$

式中: W 为体重 (kg); FCM 为标准乳 (kg); C 为精料量 (kg)。

(吴金龙、冯仰廉, 2001)

6. 根据青粗饲料进食量确定精饲料给量

奶牛日粮中的青粗饲料质量差异很大，例如去穗玉米青秸青贮的可利用能量只有 1.3 NND/kgDM，但优质全株玉米可达 1.9 NND/kgDM，而青粗饲料质量对其采食量的影响很大。此外，粗饲料的加工和调制方法，例如全混合日粮，亦会影响采食量，因此须确定本牛场经常使用的青粗饲料进食量，然后再进一步根据产奶量计算出精饲料的给量（表2-3）。

表 2-3 奶牛不同产奶量的日粮粗料与精料 NND 比例和给量

项 目	日产 10 kg 奶 (23 NND)					日产 15 kg 奶 (27.7 NND)					日产 20 kg 奶 (32.3 NND)				
粗料 NND/总 NND%	60	55	50	45	40	60	55	50	45	40	60	55	50	45	40
粗料 NND 给量	13.8	12.6	11.5	10.3	9.2	16.6	15.2	13.8	12.5	11.1	19.4	17.8	16.1	14.5	12.9
精料 NND 给量	9.2	10.4	11.5	12.7	13.8	11.1	12.5	13.9	15.2	16.6	12.9	14.5	16.2	17.8	19.4
项 目	日产 25 kg 奶 (37 NND)					日产 30 kg 奶 (41.6 NND)					日产 35 kg 奶 (46.3 NND)				
粗料 NND/总 NND%	50	45	40	35	30	50	45	40	35	30	50	45	40	35	30
粗料 NND 给量	18.5	16.6	14.8	13.0	11.1	20.8	18.7	16.6	14.6	12.5	23.1	20.8	18.5	16.2	13.9
精料 NND 给量	18.5	20.4	22.2	24.0	25.9	20.8	22.9	25.0	27.0	29.1	23.2	25.5	27.8	30.1	32.4
项 目	日产 40 kg 奶 (50.9 NND)					日产 45 kg 奶 (55.6 NND)					日产 50 kg 奶 (60.2 NND)				
粗料 NND/总 NND%	50	45	40	35	30	50	45	40	35	30	50	45	40	35	30
粗料 NND 给量	25.4	22.9	20.4	17.8	15.3	27.8	25.0	22.2	19.5	16.7	30.1	27.1	24.1	21.1	18.1
精料 NND 给量	25.5	28.0	30.5	33.1	35.6	27.8	30.6	33.4	36.1	38.9	30.1	33.1	36.1	39.1	42.1

注：①括号中的数值为不同产奶量（乳脂率 3.5%）加 600 kg 体重维持的总 NND 需要量（未包括妊娠和体重变化）。

②在配合日粮时，首先预测出本牛场经常采用的粗饲料 NND、蛋白质和矿物质进食量。然后在此基础上确定混合精饲料的配方和给量，以满足总的营养需求量。

精饲料 NND 给量 = NND 总需要 - 青粗饲料 NND 给量

精饲料干物质给量 (kg) = 精饲料的 NND 给量 / 每千克 DM 精料的 NND 含量

例如：体重 600 kg 奶牛的维持能量需要为 13.73 NND

日产奶 25 kg（乳脂率 3.5%）的能量需要为 23.25 NND

该牛的总 NND 需要 = 13.73 + 23.25 = 37

该牛场的粗饲料为玉米青秸青贮加玉米淀粉渣，其干物质进食量分别为 5.9 kg 和 2.2 kg，NND 分别为 6.3 和 3.8，则：

粗饲料的 NND = 6.3 + 3.8 = 10.1

粗饲料的干物质 (kg) = 8.1

精饲料的 NND 给量 = NND 总需要 - 粗饲料 NND 给量 = 37 - 10 = 27

该场混合精饲料的 NND 含量为 2.4 NND/kg DM，则

精饲料的给量 (kgDM) = 27 / 2.4 = 11.25

因此该日粮干物质的精料：粗料 = 58：42

三、生长牛的能量需要

1. 生长牛的维持能量需要

根据国内对 6, 9, 12, 15 和 18 月龄的黑白花生长母牛在中立温度区进行的绝食代谢试验结果表明 (表 3-1) (蒋永清等, 1987): 绝食体重 (W) 和绝食产热量得到的公式如下:

$$\text{绝食代谢热 (kcal)} = 277.5 W^{0.53}$$

1989 年版饲养标准采用的公式:

$$\text{绝食代谢热 (kcal)} = 127 W^{0.67}$$

表 3-1 国内试验的结果与 1989 年版的饲养标准的参数比较

体重 (kg)	生长牛的绝食代谢产热 (kcal)	
	277.5 W ^{0.53}	127 W ^{0.67}
200	4 601	4 420
250	5 178	5 134
300	5 703	5 801
350	6 189	6 432

因两者差异不显著, 为照顾原有习惯, 故仍沿用 1989 年版饲养标准的参数。在以上计算基础上加 10% 的自由活动量便是维持需要量。

2. 生长牛增重的能量需要

$$\text{增重的能量沉积 (Mcal)} = \frac{\text{增重 (kg)} \times [1.5 + 0.0045 \times \text{体重 (kg)}]}{1 - 0.30 \times \text{增重 (kg)}}$$

国内外的实验结果表明, 生长牛维持以上的代谢能用于增重的利用率, 随年龄的增长而下降。

根据 1989 年第一版奶牛饲养标准采用的按增重的能量沉积换算成产奶净能的参数, 其回归式为:

$$\text{增重的能量沉积换算成产奶净能的系数} = -0.5322 + 0.3254 \ln (\text{体重, kg})$$

$$(r=0.9904, P<0.01)$$

按该式计算的增重能量沉积 (增重净能) 换算成产奶净能的系数如下:

奶牛营养需要和饲料成分

体重 (kg)	产奶净能=增重净能×系数
150	×1.10
200	×1.20
250	×1.26
300	×1.32
350	×1.37
400	×1.42
450	×1.46
500	×1.49
550	×1.52

四、饲料的能量

1. 饲料的总能

通常用测热仪测定饲料的燃烧热去确定其总能量值 (GE)。由于饲料中各种有机物质的燃烧热比较稳定, 为了方便起见, 常根据饲料中各种有机物质的平均燃烧热量去测算出总能。

$$\text{总能(kcal/100 g 饲料)}=5.72 \times (\text{粗蛋白质, \%})+9.5 \times (\text{粗脂肪, \%}) \\ +4.79 \times (\text{粗纤维, \%})+4.03 \times (\text{无氮浸出物, \%})$$

$$\text{或 总能(kJ/100 g 饲料)}=23.93 \times (\text{粗蛋白质, \%})+39.75 \times (\text{粗脂肪, \%}) \\ +20.04 \times (\text{粗纤维, \%})+16.86 \times (\text{无氮浸出物, \%})$$

2. 饲料的消化能

消化能 (DE) 是指饲料总能在整个消化道中被消化的能量, 即 $DE=GE \times \text{能量消化率}$ 。由于反刍动物的饲养消化过程是由瘤胃的微生物发酵和瘤胃后的消化道消化所组成, 所以影响消化率的因素比单胃动物要复杂得多, 其中饲养水平对消化率的影响较大, 相同的日粮, 在低进食水平时测得的表现消化率往往偏低, 反之则偏高; 饲养水平对日粮蛋白质表现消化率测定的影响更为明显, 其主要原因是没有考虑进入瘤胃的内源氮和瘤胃微生物蛋白质的合成量。饲料在瘤胃中滞留的时间亦会影响其消化率。同种类的营养物质, 由于其结构的差异也会导致消化率的差别。此外, 因为瘤胃和瘤胃后消化道的消化过程以及其消化终产物的不同, 以及瘤胃消化终产物与小肠消化终产物在中间代谢的互作效应对能量转化效率的影响甚大, 所以, 我们已提出分别评定瘤胃和小肠消化率及其消化终产物互作效应的新能量营养体系, 逐步实施。但目前国内外仍沿用以消化能或代谢能为计算基础的能量体系。

由于反刍动物的日粮由青粗饲料和混合精饲料组成, 且饲料种类繁多, 很难准确地评定出单个饲料的消化率, 国内外饲料营养价值表中的消化能大都用计算方法或体外法得出, 所以是近似值。

对 10 种日粮或饲料的体内法表现消化率的研究, 以淀粉代表无中性洗涤纤维 (NDF), 稻草代表高 NDF 含量的饲料, 不同比例的混合日粮的精料: 羊草从 0 : 100 至 75 : 25, 以及不同加工细度的羊草, 他们的 NDF/OM 范围为 0.00~0.76, 能量体内消化率实测结果的范围为 95%~43%, 所以其覆盖面积较宽, 结果表明 ADF/OM 或 NDF/OM 与能量消化率呈显著线性负相关, 故在无条件进行消化试验时, 可作为估测消化率的参考:

$$\text{能量消化率(\%)}=91.6694-91.3359(\text{ADF/OM})$$

$$(r = -0.9901, n = 10, P < 0.05)$$

或
$$\text{能量消化率}(\%) = 94.2808 - 61.5730(\text{NDF}/\text{OM})$$

$$(r = -0.9909, n = 10, P < 0.05)$$

其中：NDF 为中性洗涤纤维；ADF 为酸性洗涤纤维。

3. 瘤胃可发酵有机物质

由于饲料在瘤胃中发酵的终产物与在小肠中消化的终产物截然不同，因此饲料有机物质在瘤胃中的发酵率（FOM/OM）便成为新能量体系的重要参数。此外，在目前评定方法的条件下，通常采用瘤胃可发酵有机物质（FOM）作为估测瘤胃微生物蛋白质合成量的能量基础。但因国内外对 FOM 的体内法实测参数很少，所以对 FOM 的测算具有实用价值。

据国内对 10 种不同日粮，用消化道瘘管牛的体内法研究结果表明，在 NDF/OM 为 0~0.72 和 ADF/OM 为 0~0.44 的宽范围下，NDF/OM 或 ADF/OM，与 FOM/OM 呈显著线性负相关（图 4-1）。

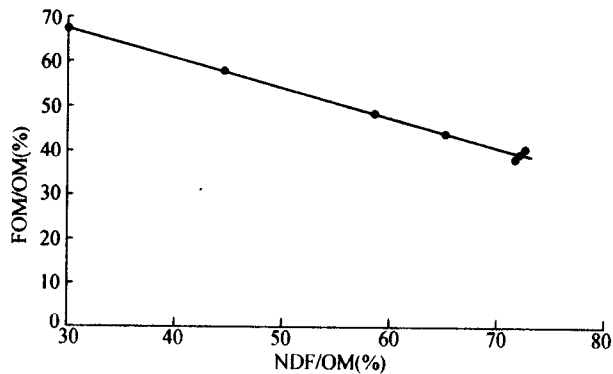


图 4-1 瘤胃有机物质发酵率（FOM，%）与 NDF/OM（%）的关系

$$\text{FOM}/\text{OM}(\%) = 92.8945 - 74.7568(\text{NDF}/\text{OM})$$

$$(r = -0.9950, n = 10, P < 0.01)$$

或
$$\text{FOM}/\text{OM}(\%) = 91.2202 - 118.6864(\text{ADF}/\text{OM})$$

$$(r = -0.9893, n = 10, P < 0.01)$$

$$\text{FOM} = \text{OM} \times \text{FOM}/\text{OM}$$

4. 饲料的代谢能

国际上对反刍家畜饲料代谢能（ME）通用计算方法为：

$$\text{代谢能} = \text{消化能} - \text{甲烷能} - \text{尿能}$$

(1) 甲烷的产生量

据国内用呼吸测热室对消化道瘘管牛饲喂不同日粮的研究结果表明，8 种日粮的甲烷平均产生量为 $(81.13 \pm 8.96 \text{ L}/\text{FOM}, \text{ kg})$ ，但发现甲烷的产生量（L/FOM，kg）与 FOM 中的可发酵中性洗涤纤维（FNDF）的含量呈显著线性相关：

$$\text{甲烷(L/FOM kg)} = 60.4562 + 0.2967(\text{FNDF/FOM, \%})$$

$$(r = -0.9842, n = 8, P < 0.01)$$

或简化为： 甲烷(L/FOM kg) = 48.1290 + 0.5352(NDF/FOM, %)

$$(r = -0.9675, n = 8, P < 0.01)$$

消化能(DE)中的甲烷能量损失(甲烷能/DE)亦与 FNDF/FOM 呈显著线性相关:

$$\text{甲烷能/DE(\%)} = 8.6804 + 0.0373(\text{FNDF/FOM, \%})$$

$$(r = 0.9845, n = 8, P < 0.01)$$

或简化为： 甲烷能/DE(%) = 7.1823 + 0.0666(NDF/FOM, %)

$$(r = 0.9478, n = 8, P < 0.01)$$

由于上式实测日粮的 FNDF/FOM 范围为 21.54%~91.06%，所以其适用面较宽。

(2) 尿能的损失

尿能的损失量相对较小，据国内对 19 种日粮用牛体内法实测结果表明，尿能/DE (%) 的平均值为 4.27 ± 0.94 。

(3) 消化能转化为代谢能的效率

据国内对 19 种日粮用牛呼吸测热室的测定结果表明，ME/DE 平均为 0.84 ± 0.0182 ，比较稳定。所以为简化起见，可采用 $ME = DE \times 0.84$ 进行计算。