

反刍动物干物质采食量预测模型研究进展

丁耿芝 孟庆翔*

(中国农业大学动物科技学院, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要: 准确估测反刍动物干物质采食量(DMI)在动物营养学理论和生产实践中具有重要的意义。该领域的研究已经进入建立预测模型并不断完善的时期。动物营养学家提出了多种预测反刍动物 DMI 的模型, 尽管所建立的模型不同, 但使用的变量、原理和评价方法是相近的。本文综述了反刍动物采食量的影响因素、调控理论以及 DMI 预测模型的种类和评价方法, 分析了美国(NRC, 1996 和 2001)、英国(AFRC, 1993)、法国(INRA, 1989)和澳大利亚(CSIRO, 2007)等国家提出的 DMI 预测模型特点, 最后提出了探索和完善我国反刍动物 DMI 预测模型思路。

关键词: 干物质采食量; 模型; 采食量调控理论; 模型评价方法

中图分类号: S823; S826

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)02-0248-08

干物质采食量(DMI)在动物营养学理论和生产实践中具有重要的意义。因为它不仅决定着维持动物健康与生产所需要养分的数量^[1], 而且也是决定反刍家畜生产力水平高低的重要参数。反刍家畜 DMI 是动物营养学领域研究的热点, 近年来该领域的研究已经进入建立预测模型并不断完善的时期。

美国(NRC, 1996 和 2001)^[1-2]、英国(AFRC, 1993)^[3]、法国(INRA, 1989)^[4]、澳大利亚(CSIRO, 2007)^[5]等国家纷纷提出了反刍动物 DMI 的预测模型。虽然这些模型各具特点、形式各异, 使用的变量也不尽相同, 但建立各种 DMI 预测模型遵循的原理和采用的方法基本是相通的。同时, 他们也对各种模型在不同条件下的预测能力和精确度进行评价。本文旨在综述影响采食量的因素、采食量调控理论、DMI 预测模型的种类与评价方法, 并分析讨论国际上现行反刍动物 DMI 预测模型的特点, 以便为探索和完善我国反刍动物 DMI 预测模型提供思路与方法。

1 反刍动物采食量的影响因素与调控理论

1.1 反刍动物采食量的影响因素

反刍动物的采食是一个复杂的、动态的、生物和非生物因素相互作用和相互影响的过程^[6], 其采食量受饲料品质、动物因素、饲养管理和环境等多种变量的影响(表 1), 有时各种因素之间还存在互作^[2]。动物因素决定着反刍动物的瘤胃容积和能量需要, 年龄大的动物其瘤胃容积较大, 消化器官发育比较完全, 因而其采食量也较大; 生产水平较高的动物对能量等营养水平的需求较高, 因而其采食量也相应较大。另外, 饲料、环境和管理等其他因素则通过与动物因素的互作影响动物的食欲和代谢, 影响其采食量。

1.2 反刍动物采食量调控理论

经过多年的研究, 动物营养学家对上述各种因素影响反刍动物采食量的效应已有了透彻的理解, 但其具体机制仍然处于探索阶段。目前, 反刍动物采食量调控理论有以下几种。

收稿日期: 2012-08-17

基金项目: 国家肉牛牦牛产业技术体系专项资金(CARS-38)

作者简介: 丁耿芝(1987—), 男, 山东聊城人, 博士研究生, 研究方向为反刍动物营养。E-mail: dinggengzhi@cau.edu.cn

* 通讯作者: 孟庆翔, 教授, 博士生导师, E-mail: qxmeng@cau.edu.cn

1.2.1 “瘤-网胃物理充盈度 (reticulum-rumen fill)”理论

“瘤-网胃物理充盈度”理论研究得比较深入,有多种表述方式。该理论认为,物理因素与动物的能量需要是影响采食量的主要因素。如若饲料的消化率低、能量含量低,物理因素(瘤胃充盈度、食糜流通速率等)是控制反刍动物采食量的主要因素;如若饲料的消化率高、能量含量高,这时动物的能量需要则上升为主要决定因素^[16]。Weston^[17]认为,瘤胃功能和能量利用间的相互作用,

是通过神经中枢来调节采食量的。食糜贮存在瘤胃内,使其产生饱觉信号,从而抑制采食;而能量消耗可以产生饥饿信号,从而促进采食。Allen^[11]和NRC(2001)^[1]对该理论进行了总结,认为瘤胃是调节采食量的主要位点。食糜通过填充和膨胀作用占据瘤胃的空间,阻碍动物采食,同时食糜还会刺激瘤胃和网胃胃壁上的张力感受器,限制采食。研究表明,消化率低的饲料在瘤胃中被清除的速率较慢,它是限制动物采食的主要因素^[1]。

表 1 影响反刍动物采食量的因素

Table 1 Factors affecting feed intake of ruminants

影响因素 Affecting factors	效应 Effect	文献来源 Literature source
动物因素 Animal factors		
品种 Breed	品种不同,采食潜力不同	NRC(1996) ^[2]
体脂含量 Body fat content	体脂含量过高,DMI减少	
性别 Gender	母牛的采食量较大	Ingvarsten 等 ^[7]
年龄 Age	大龄动物的采食量比幼龄动物大	NRC(1996) ^[2]
生理状态 Physiological state	产奶期:采食量增加 妊娠期:采食量降低	Roseler 等 ^[8] Ingvarsten 等 ^[7]
躯体体积 Frame size	大体型牛采食量比小体型牛大	Fox 等 ^[9]
饲料因素 Dietary factors		
中性洗涤纤维含量 NDF content	NDF含量越高,采食量越低	Poppi ^[10]
能量 Energy	能量越高,采食量越低	Allen ^[11]
含水量 Moisture content	含水量越高,DMI越低	Estrada 等 ^[12]
环境因素 Environmental factors		
环境温度 Ambient temperature	温度过高,采食量降低	Holter 等 ^[13]
日照时间(季节) Duration of sunshine (season)	日照时间长,则采食量增加	NRC(1996) ^[2]
冰雹、泥泞等 Precipitation and mud, etc.	与环境温度互动,影响采食量	NRC(1996) ^[2]
管理因素 Management factors		
饲喂方式 Feeding method	少喂勤添可提高采食量	Gibson ^[14]
饲料加工方式 Feed processing method	粗料粉碎可使采食量增加 精料粉碎可使采食量降低	NRC(2001) ^[1]
添加剂 Additives	添加莫能菌素:降低采食量 添加拉沙里菌素:提高采食量	Fox 等 ^[9] Malcolm 等 ^[15]

1.2.2 “代谢反馈调节 (metabolic-feedback)”理论

Illius 等^[18]认为,饲料的物理因素对采食量的限制机理已经研究得比较透彻,但是代谢因素对采食量的反馈调节机理尚不清楚,于是他们提出了“代谢反馈调节”理论。该理论认为,动物在不同的生长阶段或者生理状态下具有相应最大的生产潜力,并可以最大限度地利用饲料中营养物质来满足生产需要。当饲料营养物质的吸收低于需

要、超过需要或者吸收营养物质的比例(代谢蛋白质:代谢能)不当时,机体将启动负代谢反馈调节机制来调节采食量。

1.2.3 “氧消耗 (oxygen consumption)”理论

Ketelaars 等^[19]认为,如果像“瘤-网胃物理充盈度”理论中描述那样,易消化饲料的采食量由动物的能量需要来决定,那么有机物质的采食量(OMI)应该是稳定的,不会随着有机物质消化率(OMD)的增加而变化。但他们的研究表明

OMI 随 OMD 的增加而增加,两者呈线性关系;另外,他们还发现哺乳和冷应激将导致采食量增加,妊娠期导致采食量下降。而这些结论都恰恰与“瘤-网胃物理充盈度”理论相悖,因此, Ketelaars 等^[20]提出了“氧消耗”理论。该理论认为,动物并不是尽最大能力采食饲料,而是根据氧利用程度来控制能量的摄入量。

2 反刍动物 DMI 预测模型的种类与评价方法

2.1 预测模型的种类

经过多年的研究,人们将关注点聚焦到了精准预测 DMI 方面。由于受到多种因素的影响,所以精准预测反刍动物 DMI 是非常困难的。近年来,人们希望通过建立预测模型的方法来精准预测反刍动物 DMI。分析前人的研究成果,反刍动物 DMI 预测模型可以分为机制模型和经验模型 2 大类。机制模型是通过解释说明各种影响因素与 DMI 之间的生物学机理建立的预测模型,可以分为“动态”和“静态”2 种。“动态”机制模型描述了影响因素之间相互作用调控家畜 DMI 的短期机理,有助于人们理解 DMI 的调控机理,但其预测价值有限;“静态”机制模型则是基于动物采食饲料规律的长期事件,有较高的预测价值。

机制模型需要更复杂的变量(如饲料的瘤胃降解率、饲料在瘤胃内的存留时间等),这些变量在实际生产中不易获得。Madsen 等^[21]和 Stensig 等^[22]根据饲料在瘤胃内的降解参数、饲料在瘤胃存留的时间以及瘤胃容积的大小(rumen pool size)建立了一种机制模型。但是这种机制模型需要使用掏空瘤胃的方法来测定瘤胃容积的大小,而且不同品种的牛或不同年龄的牛其瘤胃容积大小也是不同的。因此,类似这种机制模型只能预测某一品种在特定年龄段时的 DMI。Fisher 等^[23]和 Poppi 等^[24]整合了“瘤-网胃物理充盈度”理论和“代谢反馈调节”理论提出了一种新型的机制模型,这种模型需要输入物理变量(如采食速率、消化速率等)和代谢变量(如蛋白质的沉积、产热量和 ATP 的消耗量等)等。这种模型使用的变量更多、更复杂,有助于理解 DMI 的调控机理,但在实际生产中不宜使用。

经验模型是以前人大量的研究工作为基础,应用各种影响 DMI 的变量与 DMI 的关系建立的

预测模型。这种模型不能说明 DMI 与各影响因素间的因果关系,但其预测结果较精确^[6,25]。经验模型有以下 2 种形式:1)一元或多元线性或非线性回归直接预测 DMI,这种模型将动物因素和饲料因素整合在一个方程式中,只能在一定的范围内使用,超出适用范围会导致错误结果的产生^[16,26],例如 NRC(1996)的肉牛 DMI 模型和康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系(CNCPS)DMI 子模型。2)充盈度单位模型,这种模型是整合了物理因子和代谢因子而建立的。充盈度模型具有机制模型的特点,每个具体指标(采食能力、充盈度价等)是根据大量试验得出的经验数据。但该模型应用灵活,在法国和北欧广泛使用^[26-27]。

2.2 预测模型的评价方法

通过上述分析可知,反刍动物 DMI 模型形式各异,所用的参数也不同。在实际生产中,为判定哪种模型更为实用,需要对预测模型的精确性和准确性进行评价。

模型的精确度是反应模型优劣的常用指标,可使用平均偏差(mean bias,预测值的平均值与观测值的平均值之差)和均方预测误差(mean-square prediction error, MSPE)或均方根预测误差(root mean-square prediction error, RMSPE)来评价。通过计算预测值与观测值之差的偏移程度可直观的反映模型的精确性。这种评价方式需要根据平均值落在 95% 置信区间内的原则设定可接受的最大范围。评价 DMI 模型的精确度时,DMI 预测值可接受的最大范围设定为 $-0.4 \sim 0.4$ kg/d。

模型预测的准确度评价提倡采用对观察值和预测值回归的办法进行。Zhao 等^[28]认为,理想模型的预测值与观测值的回归关系需满足以下条件:1)高决定系数($R^2 > 0.75$);2)截距为零(或者与零之间无显著差异);3)斜率为 1(或与 1 之间无显著差异)。模型的准确度预测也可以采用 MSPE、RMSPE、相对预测误差(relative prediction error, RPE)等指标来评价,评价原理如下:

$$MSPE = [\sum (A - P)^2] / n。$$

Zom 等^[29]对 MSPE 做如下拆分:

$$MSPE = (\bar{A} - \bar{P})^2 + S_A^2(1 - b)^2 + S_P^2(1 - r^2)。$$

式中: \bar{A} 为观测值的平均值; \bar{P} 为预测值的平均值; S_A^2 为观测值的方差; S_P^2 为预测值的方差; b 为观测值和预测值回归直线的斜率; r 为观测值与预测值的相关系数。如果 $b < 1$,动物实际 DMI 低

时,模型会低估 DMI;动物实际 DMI 高时,模型会高估 DMI。如果 $b > 1$,模型预测效果与 $b < 1$ 时相反。

$$RPE = RMSPE/A = \sqrt{MSPE}/A。$$

Fuentes-Pila 等^[30]和 Zom 等^[29]认为, $RPE \leq 0.1$,表明预测结果良好; $0.1 < RPE \leq 0.2$,表明模型的预测结果可接受; $RPE > 0.2$,表明模型的预测结果较差。

3 国际上现行 DMI 预测模型的分析 and 讨论

世界各国已经陆续提出了各具特色的预测采食量的模型,现行使用较广的模型有美国 NRC 的 DMI 预测模型与 CNCPS 的 DMI 子模型、英国 AFRC 的 DMI 预测模型、法国 INRA 的瘤胃充盈度单位体系和澳大利亚 CSIRO 的 DMI 模型。

3.1 美国 CNCPS 的 DMI 子模型与 NRC 的 DMI 预测模型

3.1.1 肉牛 DMI 预测模型

CNCPS 的 DMI 预测模型已经基本上被 NRC (1996) 接受^[31]。NRC(1996)^[2]提出的肉牛 DMI 预测模型是根据动物的饥饿体重和饲料的净能值建立的一个基础预测模型,再利用动物的品种、环境因素和管理因素等变量对基础模型进行校正。如下:

$$DMI(\text{kg/d}) = \{ [SBW^{0.75} \times (0.2435 \times NE_{\text{ma}} - 0.0466 \times NE_{\text{ma}}^2 - 0.1128)] / NE_{\text{ma}} \} \times (BAFA \times BI \times ADTV \times TEMP \times MUDI)。$$

式中: SBW 为绝食体重; NE_{ma} 为饲料的维持净能; $BAFA$ 为体脂校正因子; BI 为品种校正因子; $ADTV$ 为添加剂校正因子; $TEMP$ 为温度校正因子; $MUDI$ 为泥泞度校正因子。

Zhao 等^[28]研究了 CNCPS 的 DMI 子模型预测中国本地肉牛(晋南牛、鲁西牛) DMI 的效果。结果发现,CNCPS 模型预测的 DMI 结果与实际观测值间回归直线的决定系数(R^2)大于 0.73,截距与零无显著差异($P = 0.32$),斜率与 1 差异显著($P < 0.001$)。作者认为,用 CNCPS 模型预测中国本地牛 DMI 的结果是可以接受的。

Du 等^[32]研究了 CNCPS 的 DMI 子模型预测中国本地杂交牛(西门塔尔×蒙古牛、利木赞×福州牛)采食量的效果。结果发现,模型预测西门塔

尔×蒙古牛 3 组不同处理时,RMSPE 均较小,落在 $-0.4 \sim 0.4 \text{ kg/d}$ 内的点分别为 93.3%、80.0% 和 73.3%;预测利木赞×福州牛 4 组不同处理时,RMSPE 均较小,落在 $-0.4 \sim 0.4 \text{ kg/d}$ 内的点分别为 86.7%、73.3%、73.3% 和 80.0%。模型预测值与实际观测值回归分析的 $R^2 = 0.79$,截距与零之间差异显著($P < 0.05$),且斜率与 1 之间差异显著($P < 0.05$)。

3.1.2 奶牛 DMI 预测模型

NRC(2001)^[1]认为,在泌乳牛配制饲料常用方法中,首要明确的是泌乳牛的营养需要量和 DMI,然后才考虑饲料原料的组成。考虑饲料组成因素的预测方程式最好用来评价饲喂效果,不是用来预测实际生产中应该使用什么饲料原料。因此,NRC(2001)^[1]提出的荷斯坦泌乳牛的 DMI 预测模型仅仅包含了动物因素。如下:

$$DMI(\text{kg/d}) = (0.372 \times FCM + 0.0968 \times W^{0.75}) \times \{ 1 - e^{-[0.192 \times (WOL + 3.67)]} \}。$$

式中: FCM 为 4% 校正乳产量; $W^{0.75}$ 为代谢体重; WOL 为泌乳周龄; $1 - e^{-[0.192 \times (WOL + 3.67)]}$ 为校正泌乳早期 DMI 下降的校正项。

Fox 等^[33]提出的 CNCPS 的 DMI 子模型与 NRC(2001)^[1]的 DMI 预测模型一样,只考虑了动物因素。但随着泌乳周龄进一步细化,引入了产后泌乳高峰期这一变量,并对 DMI 进行校正。如下:

$$DMI(\text{kg/d}) = (0.0185 \times W^{0.75} + 0.305 \times FCM) \times \{ 1 - e^{-[(0.564 - 0.124 \times PKMK) \times (WOL + P)]} \}。$$

式中: FCM 为 4% 校正乳产量; $W^{0.75}$ 为代谢体重; $PKMK$ 为产后泌乳高峰的月份(1、2、3), $PKMK$ 为 1 或 2 时, P 为 2.36,而 $PKMK$ 为 3 时, P 为 3.67。

Fox 等^[33]将 CNCPS 的 DMI 子模型与 NRC 的 DMI 预测模型预测的阉牛、小母牛和泌乳期荷斯坦奶牛 DMI 与实际的 DMI 进行了比较。结果表明,预测阉牛的 DMI 时,NRC 和 CNCPS 预测模型的预测偏差分别为 6% 和 3%;预测小母牛的 DMI 时,NRC 和 CNCPS 预测模型的预测偏差分别为 0 和 -4%;预测泌乳期奶牛的 DMI 时,NRC 和 CNCPS 预测模型的预测偏差分别为 -5% 和 6%,但 CNCPS 预测模型预测值的标准差较 NRC 预测模型预测的标准差低 12%,说明 CNCPS 预测模型的预测精度比 NRC 预测模型的高。

3.2 英国 AFRC 的 DMI 预测模型

AFRC(1993)^[3]预测泌乳期奶牛的 DMI 时只考虑了精料和泌乳月份对 DMI 的影响。如下:

$$DMI(\text{kg/d}) = 0.076 + 0.404 \times C + 0.013 \times W - 0.129 \times n + 4.12 \times \lg n + 0.14 \times Y。$$

式中: C 为精料干物质; W 为奶牛的实际体重; n 为泌乳周数; Y 为产奶量。

与 NRC(2001) 预测模型优先考虑动物因素对 DMI 的影响相反, AFRC 更倾向于评价某种饲料的饲喂效果, 针对某一类饲料给出一个预测方程。例如, 青贮饲料的 DMI 预测方程如下:

$$SDMI(\text{kg/d}) = -3.73 - 0.387 \times C + 1.486 \times (F + P) + 0.0066 \times W_n + 0.0136 \times DOMD。$$

式中: C 为精料干物质; F 为每天乳脂的产量; P 为每天乳蛋白的产量; W_n 为奶牛的实际体重; $DOMD$ 为青贮饲料的可消化有机物质含量。

饲料为精料加长草或短草的预测方程式如下:

$$TDMI(\text{g/kg } W^{0.75}) = 24.1 + 106.5 \times (ME/DE) + 0.37 \times C。$$

式中: C 为精料占饲料的比例; ME 为代谢能; DE 为消化能。

饲料为精料加饲草颗粒的预测方程式如下:

$$TDMI(\text{g/kg } W^{0.75}) = 116.8 - 46.6 \times (ME/DE)。$$

式中: ME 为代谢能; DE 为消化能。

3.3 法国 INRA 的瘤胃充盈度单位体系

INRA(1989)^[4]认为, DMI 虽然能预测, 但非真正的生理学含义, 也不能准确预测青粗饲料的 DMI, 因为反刍动物对青粗饲料的摄取能力 (feed ingestibility, 参照牧草的最大 DMI) 依赖于动物本身的采食能力 (feed intake capacity), 从而提出了充盈度单位体系。其内容规定为: 参比青粗饲料 1 kg 干物质为 1 个充盈度单位 (Fu)。参比牧草每千克干物质含有 150 g 粗蛋白质、250 g 粗纤维素、有机物质消化率 (以羊为测定动物) 为 77%, 其产奶净能为 6.78 MJ、产肉净能为 6.88 MJ。参比牧草的最大 DMI 对标准绵羊 (standard sheep, 1.5 ~ 4 岁阉割的特塞尔绵羊, 平均体重为 60 kg) 为 75 g/kg $W^{0.75}$, 对标准肉牛 (standard cattle, 16 ~ 18 月龄的阉牛, 平均体重为 400 kg) 为 95 g/kg $W^{0.75}$, 对标准产奶牛 (standard lactating cow, 第 4 产奶月龄时 4% 脂肪校正乳产量为 25 kg/d 的产奶牛, 平均体重为 600 kg) 为 140 g/kg $W^{0.75}$ 。充盈度单位体系的

原理^[29,35-35]如下:

$$DMI(\text{kg/d}) = IC / \sum pDM_i FV_i。$$

式中: IC 为动物的采食能力; pDM_i 为第 i 个原料在饲料中所占的比例; FV_i 为第 i 个原料的充盈度价。

动物的采食能力是指在自由采食条件下, 动物摄入饲料的最大量。动物的采食能力取决于动物的体重、生产性能等特征, 与饲料的特性无关。粗饲料的充盈度价与饲料的细胞壁成分有关, 是饲料本身的一种特性, 与动物无关, 和蛋白质、能量一样具有可加性。该充盈度价是饲料摄取能力倒数的函数, 也可以通过饲料的有机质消化率计算得出。精料的充盈度价取决于粗料充盈度价和替代率, 即

精料充盈度价 (Fu/kg) = 替代率 × 粗料充盈度价。

Keady 等^[36]评价了应用充盈度单位模型预测 DMI 的精确度。结果表明, 模型预测结果较实际 DMI 低 2.88 kg/d, MSPE 达到 10.8, 表明预测结果较差。作者认为原因在于: 1) 充盈度模型在建立时使用了羊作为动物模型来估测奶牛的采食能力; 2) 充盈度模型忽略了品种对采食能力的影响, 认为特定体重的奶牛具有唯一的采食能力; 3) 充盈度模型使用了标准奶牛, 即第 4 个泌乳月产奶量为 25 kg 脂肪校正奶的奶牛; 4) 该模型没有考虑产奶期和体况对 DMI 的影响。

Zom 等^[29]根据充盈度模型的原理提出一个新的预测奶牛 DMI 的模型。该模型的最大特点是使用了动物年龄作为评价奶牛采食能力的指标, 而没有使用产奶量、体重等指标。Zom 等^[37]评价了该模型与其他 5 种模型的预测效果, 结果表明新模型比其他 5 个模型的预测效果都好。

3.4 澳大利亚 CSIRO 的 DMI 模型

CSIRO(2007)^[5]认为, 法国、美国等提出的预测模型存在一个共同的缺陷, 即估测 DMI 时都是建立在代谢体重 ($W^{0.75}$) 基础上的, 忽略了动物成熟程度对 DMI 的影响。因此, CSIRO 体系使用了标准参比体重 (SRW)、正常体重 (N)、当前体重 (W) 和体况因子 (CF) 等指标估测动物的潜在采食量 (potential intake)。其中, SRW 是指骨骼发育完全、空腹体躯含脂率 25%, 5 级评分制的体况评分为 3 分时的体重。N 与 SRW、初生重 (B) 和动物的月龄 (T) 有关, 其计算方程式如下:

$$N(\text{kg}) = A - (A - B) \times \exp(-k \times T \times A^{-0.27})。$$

式中: A 为标准参比体重; B 为初生体重; T 为动物的月龄;试验动物为羊和牛时, k 值分别为 0.47 和 0.35。

CF 与 W 和 N 的比值(RC)有关。当 $RC \leq 1.0$ 时, $CF = 1.0$;当 $RC > 1.0$ 时, $CF = RC(1.5 - RC)$ 。

该体系还使用了牧草相对采食量(relative intake)的概念,是指牧草可以满足采食潜力的程度,其量值由牧草的化学组成和物理性质所决定。而动物的采食量等于潜在采食能力与饲草相对采食量的乘积,即

$$\text{动物的采食量}(\text{kg/d}) = \text{潜在采食能力} \times \text{饲草相对采食量}。$$

有人比较了 CSIRO、AFRC 和 NRC 这 3 种山羊 DMI 预测模型发现,AFRC 模型预测的精确度最好,预测偏差为 91 g/d,CSIRO 模型的预测偏差为 254.6 g/d,NRC 模型的预测偏差为 162 g/d^[38]。由此可见,尽管 CSIRO 的 DMI 预测模型使用的变量最多,考虑影响采食量的因素最全面,但预测结果精确度却较差。

4 给我国建立反刍动物 DMI 预测模型提出的建议

我国对反刍动物 DMI 模型的研究相对较晚,提出的 DMI 预测模型只包含了动物体重和日增重等有限的指标^[39],适用范围受限。但随着我国畜牧业的发展,完善我国反刍动物 DMI 预测模型已经势在必行。通过上文的分析,基于我国现阶段的国情,作者认为,建立我国反刍动物 DMI 模型应当考虑如下几个方面:1)选择一种采食量调控理论作为基础,如“瘤-网胃物理充盈度”理论;2)在选定采食量调控理论的基础上,分别确定影响反刍动物 DMI 的动物因素和饲料因素,建立相应的基础模型;3)利用环境、管理等影响因子对基础模型进行合理的校正;4)采用动物试验对建立的模型进行精确度和准确度评价,在此基础上对模型进行修正和完善。

5 小 结

反刍动物 DMI 受到多种因素的影响,很难精准预测。建立 DMI 预测模型是实现精准预测反刍动物 DMI 的主要途径之一。世界各国营养学家提

出的 DMI 预测模型都有合理之处,但也都存在很多缺陷。为完善反刍动物 DMI 预测模型,作者认为应在以下 2 个方面努力:1)整合、发展现有模型的优点;2)继续探索调节反刍动物 DMI 的生物学机理。经过不懈的努力,精准预测反刍动物 DMI 的夙愿终将会实现。

参考文献:

- [1] NRC. Nutrient requirements of dairy cattle [S]. 7th ed. Washington, D. C. : National Academy Press, 2001.
- [2] NRC. Nutrient requirements of beef cattle [S]. 7th ed. Washington, D. C. : National Academy Press, 1996.
- [3] AFRC. Energy and protein requirement of ruminants: an advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on responses to nutrients [S]. Wallingford, U. K. : CAB International, 1993.
- [4] INRA. Ruminant nutrition: recommended allowances and feed tables [S]. Paris: John Libbey Eurotext, 1989.
- [5] CSIRO. Nutrient requirements of domesticated ruminants [S]. Collingwood VIC 3066 Australia, 2007.
- [6] 龙瑞军,董世魁,王元素,等. 反刍动物采食量的概念与研究方法 [J]. 草业学报, 2003, 12(5) : 8 - 17.
- [7] INGVAERTSEN K L, ANDERSEN H R, FOLDAGER J. Effect of sex and pregnancy on feed intake capacity of growing cattle [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A: Animal Science, 1992, 42(1) : 40 - 46.
- [8] ROSELER D K, FOX D G, PELL A N, et al. Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating Holstein dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 1997, 80(5) : 878 - 893.
- [9] FOX D G, SNIFFEN C J, O'CONNOR J D. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations [J]. Journal of Animal Science, 1988, 66(6) : 1475 - 1495.
- [10] POPPI D P. Predictions of food intake in ruminants from analyses of food composition [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1996, 47(4) : 489 - 504.
- [11] ALLEN M S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants [J]. Journal of Animal Science, 1996, 74(12) : 3063 - 3075.
- [12] ESTRADA J I C, DELAGARDE R, FAVERDIN P, et al. Dry matter intake and eating rate of grass by dairy cows is restricted by internal, but not external water

- [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 114 (1): 59–74.
- [13] HOLTER J B, WEST J W, MCGILLARD M L. Predicting *ad libitum* dry matter intake and yield of Holstein cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80 (9): 2188–2199.
- [14] GIBSON J P. The effects of frequency of feeding on milk production of dairy cattle; an analysis of published results [J]. *Animal Production*, 1984, 38 (2): 181–189.
- [15] MALCOLM K J, BRANINE M E, GALYEAN M L. Effects of ionophore management programs on performance of feedlot cattle [J]. *Agri-Practice*, 1992, 13 (7): 7–8, 12–14, 16.
- [16] FORBES J M. Models for the prediction of food intake and energy balance in dairy cows [J]. *Livestock Production Science*, 1983, 10 (2): 149–157.
- [17] WESTON R H. Some aspects of constraint to forage consumption by ruminants [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1996, 47 (2): 175–197.
- [18] ILLIUS A W, JESSOP N S. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants [J]. *Journal of Animal Science*, 1996, 74 (12): 3052–3062.
- [19] KETELAARS J J M H, TOLKAMP B J. Toward a new theory of feed intake regulation in ruminants 1. Causes of differences in voluntary feed intake; critique of current views [J]. *Livestock Production Science*, 1992, 30 (4): 269–296.
- [20] KETELAARS J J M H, TOLKAMP B J. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans [J]. *Journal of Animal Science*, 1996, 74 (12): 3036–3051.
- [21] MADSEN J, STENSIG T, WEISBJERG M R, et al. Estimation of the physical fill of feedstuffs in the rumen by the *in sacco* degradation characteristics [J]. *Livestock Production Science*, 1994, 39 (1): 43–47.
- [22] STENSIG T, WEISBJERG M R, MADSEN J, et al. Estimation of voluntary feed intake from *in sacco* degradation and rate of passage of DM or NDF [J]. *Livestock Production Science*, 1994, 39 (1): 49–52.
- [23] FISHER D S, BURNS J C, POND K R. Modelling *ad libitum* dry matter intake by ruminants as regulated by distension and chemostatic feedbacks [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1987, 126 (4): 407–418.
- [24] POPPI D P, GILL M, FRANCE J. Integration of theories of intake regulation in growing ruminants [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1994, 167 (2): 129–145.
- [25] TEDESCHI L O, FOX D G, SAINZ R D, et al. Mathematical models in ruminant nutrition [J]. *Scientia Agricola*, 2005, 62 (1): 76–91.
- [26] INGVAERTSEN K L. Models of voluntary food intake in cattle [J]. *Livestock Production Science*, 1994, 39 (1): 19–38.
- [27] FAVERDIN P, BARATTE C, DELAGARDE R, et al. Grazeln; a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 1. Prediction of intake capacity, voluntary intake and milk production during lactation [J]. *Grass and Forage Science*, 2011, 66 (1): 29–44.
- [28] ZHAO J S, ZHOU Z M, REN L P, et al. Evaluation of dry matter intake and daily weight gain predictions of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System with local breeds of beef cattle in China [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 142 (3): 231–246.
- [29] ZOM R L G, ANDRÉ G, VAN VUUREN A M. Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows; 1. Prediction of feed intake [J]. *Livestock Science*, 2012, 143 (1): 43–57.
- [30] FUENTES-PILA J, DELORENZO M A, BEEDE D K, et al. Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 1996, 79 (9): 1562–1571.
- [31] 赵金石. 基于 CNCPS 模型思路的中国肉牛、奶牛营养动态模型的建立与应用 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2008: 3–19.
- [32] DU J P, LIANG Y, XIN H S, et al. Evaluation of dry matter intake and average daily gain predicted by the cornell net carbohydrate and protein system in cross-bred growing bulls kept in a traditionally confined feeding system in China [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 2010, 23 (11): 1445–1454.
- [33] FOX D G, SNIFFEN C J, O'CONNOR J D, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets; III. Cattle requirements and diet adequacy [J]. *Journal of Animal Science*, 1992, 70 (11): 3578–3596.
- [34] JARRIGE R, DEMARQUILLY C, DULPHY J P, et al. The INRA "fill unit" system for predicting the voluntary intake of forage-based diets in ruminants; a review [J]. *Journal of Animal Science*, 1986, 63 (6): 1737–1758.
- [35] JOUVEN M, AGABRIEL J, BAUMONT R. A model predicting the seasonal dynamics of intake and produc-

- tion for suckler cows and their calves fed indoors or at pasture [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 143 (1) : 256 - 279.
- [36] KEADY T W J, MAYNE C S, KILPATRICK D J. An evaluation of five models commonly used to predict food intake of lactating dairy cattle [J]. *Livestock Production Science*, 2004, 89 (2/3) : 129 - 138.
- [37] ZOM R L G, ANDRÉ G, VAN VUUREN A M. Development of a model for the prediction of feed intake by dairy cows 2. Evaluation of prediction accuracy [J]. *Livestock Science*, 2012, 143 (1) : 58 - 69.
- [38] DE ALMEIDA TEIXEIRA I A M, ST-PIERRE N, DE RESENDE K T, et al. Prediction of intake and average daily gain by different feeding systems for goats [J]. *Small Ruminant Research*, 2011, 98 (1/2/3) : 93 - 97.
- [39] 伊涛, 熊本海. 我国肉牛饲养标准与 NRC 肉牛营养需要的比较分析 [J]. *饲料研究*, 2010, (4) : 68 - 71.

Research Advances in Prediction Models of Dry Matter Intake in Ruminants

DING Gengzhi MENG Qingxiang*

(*State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China*)

Abstract: Accurate estimation of dry matter intake of ruminants is of great significance in theory of animal nutrition and practice. The research in this field has been in the period of building and improving prediction models. A variety of models to predict ruminant dry matter intake were established, which were made by different methods and in different forms but used similar variables, theories and evaluation methods. The paper reviewed the factors impacting ruminant feed intake, feed intake regulation theories, kinds of establishing models and methods for evaluating the models. Ruminant dry matter intake models of United States (NRC, 1996 and 2001), UK (AFRC, 1993), France (INRA, 1989) and Australia (CSIRO, 2007) were briefly analyzed. Finally the way to establish and improve ruminant dry matter intake models in China was suggested. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25 (2) : 248-255]

Key words: dry matter intake; model; feed intake regulation theories; model evaluation method