

# 猪理想蛋白质理念及应用<sup>1</sup>

Jaap van Milgen<sup>1,2\*</sup> and Jean-Yves Dourmad<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>INRA, UMR1348 Pegase, 35590 Saint-Gilles, France

<sup>2</sup>Agrocampus Ouest, UMR1348 Pegase, 35590 Saint-Gilles, France

e-mail 地址:

Jaap van Milgen (通讯作者): [jaap.vanmilgen@rennes.inra.fr](mailto:jaap.vanmilgen@rennes.inra.fr)

Jean-Yves Dourmad: [jean-yves.dourmad@rennes.inra.fr](mailto:jean-yves.dourmad@rennes.inra.fr)

## 摘要:

了解猪对氨基酸的需求和猪对饲料中添加氨基酸的反应,对于设计饲料配方非常重要。氨基酸供应不足会导致猪生产性能不好,而供应过量会导致养猪成本升高和过多的氮排放,对环境造成潜在的负面影响。氨基酸的需求量很大程度上是由蛋白质在体内的最大沉积决定的,对于哺乳母猪来说,还和乳汁的分泌量和乳中蛋白的含量有关。理想蛋白质的概念 50 多年前就开始研究了,是指饲料蛋白质中的各种氨基酸含量与动物用于特定功能所需要的氨基酸量相一致,也就是说当动物对饲料中的氨基酸达到最大利用率时,不能再用任何量的一种氨基酸来替代另一种氨基酸。因为赖氨酸是第一限制性的氨基酸,理想的氨基酸模式通常以赖氨酸作为相对值来表述(例如赖氨酸= 100%)。虽然理想蛋白质模型相对于某生产阶段经常被设定为不变的,但实际上,理想蛋白模型会发生一些小的改变。这是由于在动物的生产过程中,各机体组成部分对氨基酸的需求会有变化,从而也改变了对理想蛋白质模型的相对贡献率。(例如:生长和维持对需求的贡献是不一样的)。氨基酸需要可以用剂量反应来测定,但研究方案、判断标准的选择、统计模型都会影响氨基酸需要的评估。尽管进行过大量的实验来测定生长猪对赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸的需要(在母猪上的研究较少),但是对于其它必需氨基酸的需求所知甚少。剂量反应的实验研究一般关注需要和较少供给时的反应(例如,氨基酸缺乏时的后果?)。后面的研究说明,某种程度上,研究理想蛋白质模型的方法应该是一种动态的方式。

**关键词:** 猪、生长、怀孕、哺乳、理想蛋白质、氨基酸、模型化。

## 前言

猪对日粮蛋白质的利用效率取决于日粮蛋白质的消化率、氨基酸组成以及日粮氨基酸的平衡和动物的需要量。过量的氨基酸在体内会脱氨形成尿素,通过尿液排出。无论如何,维持氨基酸供给量和需要量之间的平衡是非常重要的。蛋白质是相对昂贵的原料,许多国家依赖进口蛋白质原料进行动物饲养。同时,日粮蛋白质利用效率低,造成世界各地养猪的地方的氮排泄过多,影响环境,这是一个很大的问题。随着晶体氨基酸(如L-Lys, DL-Met, L-Thr, L-Trp, and L-Val)等的使用量的增加,配制氨基酸平衡的低蛋白日粮变得可能。而且,只要对动物所需要的氨基酸的需要量有精确的认识,减少日粮中蛋白的量且保持最佳的动物生产性能是可行的。这篇文章报告的是近年来在蛋白和氨基酸营养实际应用方面的技术发展水平和最新进展。

## 氨基酸的结构和作用

动物产品非常重要的作用是为人类提供优质的动物源蛋白质。氨基酸是蛋白构成的基本单元,

每个氨基酸都是由氨基(-NH<sub>2</sub>)、羧基(-COOH)以及不同的侧链构成，蛋白质是由许多氨基酸通过氨基与羧基脱水缩合而形成的肽键(peptide bond)相连形成的高分子含氮化合物。1930S伊利诺伊大学的William Rose率先提出“蛋白中有一些元素”是日粮的重要组成，他后来发现了其中的苏氨酸。Lys, Met, Thr, Trp, Phe, His, Val, Ile, 和 Leu是必需氨基酸，因为猪不能通过自身的代谢合成那些必需氨基酸的碳链。Ser, Gly, Arg, Ala, Pro, Glu, Gln, Asp, 和 Asn这些氨基酸可以在动物体内合成，因此叫非必需氨基酸，尽管猪可以自己合成这些氨基酸，但并不意味着自身的合成能力能够满足自身的需要。精氨酸通常被认为是非必需氨基酸，但小猪的合成能力是不够的[1]。酪氨酸和半胱氨酸是半必需氨基酸。苯丙氨酸可以通过苯丙氨酸脱羟基酶的对苯基脱羟基而合成酪氨酸，半胱氨酸是含硫氨基酸，可以由蛋氨酸和丝氨酸经巯基转移而合成。除了合成蛋白质的20种氨基酸，特殊的氨基酸也与新陈代谢有关（如，鸟氨酸、瓜氨酸参与鸟氨酸循环，高半胱氨酸参与蛋氨酸循环）或者来源于其它物质的衍生（如，羟基脯氨酸或1,3甲基组氨酸）。然而，日粮供给的蛋白必需能提供足够的氮源满足非必需或半必需氨基酸的合成代谢。

由于氨基酸在蛋白合成中的作用，氨基酸的需求很大程度上取决于机体在生长过程中的蛋白质的沉积。由表1可见，猪不同身体部份氨基酸组成也不同[2]。当然，猪体不同部份提供的蛋白质的量不同，而胴体蛋白是体蛋白最大的一部分。同时，随着猪体重的增加，猪不同部分所提供的蛋白的量也会变化，胴体或血液部分所提供的蛋白质的量会逐渐增加，而内脏等猪下水部分所提供的蛋白质的量会减少[2]。尽管毛发蛋白只占了整个身体蛋白的一小部分，但它含有较高的半胱氨酸，毛发里含有整个机体15%以上的半胱氨酸。对于泌乳母猪，泌乳过程中需要合成大量的蛋白质，占机体总的蛋白合成量的大部分，所以泌乳母猪的氨基酸的需要量受乳蛋白氨基酸组成的影响很大[3]。必需和非必需的氨基酸不仅参与蛋白代谢，还具有某些生理功能（例如[1,4]文献是对氨基酸作用的综述）。

### 理想蛋白质

理想蛋白质的理念是 Mitchell 50多年前提出的[5],目前仍然非常有效。理想蛋白质的理念说明，对于动物的生长性能而言，所有的必需氨基酸都是限制性氨基酸，因此氨基酸的供给一定要和氨基酸的需要匹配。氨基酸供给不能不足也不能过量。理想蛋白质的氨基酸组成模式一般用各种必需氨基酸相对于赖氨酸的比例表示，（例：赖氨酸=100）。以赖氨酸做为参照来源于实践而且非常有效。赖氨酸在猪的日粮中是第一限制氨基酸，因此赖氨酸受到营养师最多关注，关于赖氨酸在生长、怀孕、哺乳期的需求变化进行过很多研究。如果其它氨基酸的需求主要是为了合成机体蛋白质，那么这些氨基酸的需要量的比例相对与赖氨酸是不变的。这使理想蛋白质模式在实际应用大大简化了，因为营养师只要知道赖氨酸在不同阶段的需求量，结合其它氨基酸需求量和赖氨酸需求量相对稳定的比例，就能在实际中应用理想蛋白质理念。ARC首先将理想蛋白的理念用于猪的实践 [6],从此，理想氨基酸模式成为表述氨基酸需求的一个常用模式而广泛应用于研究和实践。

### 使用正确的通用方式表述动物的氨基酸需要量和饲料氨基酸的价值

如前所述，氨基酸需要可以定量，和动物沉积体蛋白的潜在能力和乳蛋白的合成能力相关。这意味着氨基酸的实际需要由机体各部分对氨基酸需求决定。由日粮供给的氨基酸必需经过消化、吸收并且运送到目标组织才起作用，然而，部分氨基酸可能在到达目标组织前分解代谢掉了。因此在实际供给量（饲料里氨基酸含量）和需要量(蛋白质沉积所需要的氨基酸)之间有一个潜在的差值。现在习惯做法是用标准可消化氨基酸（SID）来表达饲料中氨基酸的价值和实际动物的需要量[7]。

因为只有回肠前被消化吸收的氨基酸，才能被动物作为氨基酸来利用。没有在回肠前被消化吸收的氨基酸会受到肠道微生物发酵的影响，出现在盲肠和结肠里的氨基酸不能被动物自身吸收利用。所谓标准化是指校准了动物自身回肠表观消化率的内源氮的损失。（例如肠道脱落的上皮细胞和内源性分泌物）。当猪饲喂正常日粮时，流动到回肠末端残留的氨基酸，一部分来源于未消化的日粮，另一部分来源于内源性的氨基酸的损失。当不校正内源性损失的氨基酸时，获得表观消化率（AID）。基础内源性的损失假定只和动物干物质的摄入量有关，而和日粮的组成没有关系。动物内源性氨基酸损失可以通过无蛋日粮来测定，通过对测定的表观回肠氨基酸消化率进行内源性氨基酸损失校正，可获得标准回肠可消化氨基酸消化率。

现在有相当多的有关饲料原料标准可消化氨基酸数据的文献资料。这很重要，因为“饲料中氨基酸的数值”和“动物的氨基酸需要的数值”应该相互匹配。利用上面提到的标准或表观可消化氨基酸的理念，很容易做到这一点。基础内源性的分泌物由动物自身提供，在SID系统中是“需要量”的一部分，然而在AID系统中，它是“饲料值”的一部分。因此，在评价饲料或饲料原料中氨基酸数值和动物氨基酸需要时，标准回肠可消化氨基酸评价系统比表观回肠可消化氨基酸评价系统更有效。

### 确定氨基酸的需要量

基本上有两种方法可以建立氨基酸的需要量：析因法和传统的实验方法。析因法是基于计算机体各部分的营养需要，如下列例子（数据来源于文献[8]）：

假设：

- 体重 50 kg
- 采食量: 2 kg/d
- 蛋白沉积: 150 g/d
- 体蛋白中赖氨酸含量: 6.96%
- 赖氨酸最大利用效率: 72%
- 维持赖氨酸需要量:  $0.0284 \text{ g/kg BW}^{0.75}/\text{d}$
- 基础内源损失: 0.313 g/kg 干物质摄入量

计算：

- 蛋白沉积赖氨酸的需求量:  $150 \times 0.0696 / 0.72 = 14.5 \text{ g/d}$
- 维持赖氨酸的需要量:  $28.4 \times 50^{0.75} = 0.534 \text{ g/d}$
- 基础内源性赖氨酸损失的量:  $0.313 \times 2 = 0.626 \text{ g/d}$
- 标准回肠可消化赖氨酸的需要量:  $14.5 + 0.534 + 0.626 = 15.66 \text{ g/d}$  (或日粮中 0.78% SID Lys)

这个例子表明，相对于蛋白沉积的对赖氨酸的需求，维持和基础内源损失的赖氨酸需要量非常少，只占总SID赖氨酸需要量的7.4%。

### 评估氨基酸需要和理想蛋白质模型的实验室方法

NRC[9]建议下列准则用来研究氨基酸需要：

1. 基础日粮中待测AA不足
2. 基础日粮中其他氨基酸充足
3. 待测AA至少有四个梯度
4. 足够长的试验期，以使试验指标能够反映需要量
5. 一个适当的统计模型来描述动物对氨基酸反应和氨基酸需要

随着待测氨基酸供给的增加，测试指标（如日增重）也会逐渐增加到顶点，这时此氨基酸对动物生长来说不是限制因素，进一步的增加待测氨基酸水平也不会提高生长性能（图 1）。这个点对应的就是动物的需要量。一个关键的问题是确认动物不再受氨基酸限制影响的特征。如果营养值不再会制约动物的表现（如点 2 所示），很可能动物的生长潜能也已经极限了。如果需要量刚好与供给量平衡，那么氨基酸的供给量和动物的生长潜力都是生长性能提高的制约因素，此时需要量为在特定生长潜力下的需要量。也可以设计一个实验研究直接评估理想氨基酸:赖氨酸。在这种情况下，在这个研究中赖氨酸的供给是第二限制因素，仅次于生长潜力 [10]。赖氨酸的需要量在整个研究中稍微低于动物的需要量。在达到需要水平时，被测氨基酸和赖氨酸都是生长性能的限定因素，这是被测氨基酸的需要量就可表示为与其与赖氨酸的比例。。氨基酸需要研究主要是在基础日粮里添加不同水平的合成氨基酸。对于这种方法存在一些质疑，因为添加合成氨基酸不仅改变了被测氨基酸的量，也改变了被测氨基酸与其它氨基酸的比例。这将会打破氨基酸的平衡，使对需要量的评估有偏差。

选择一个合适的试验期，以能够充分的反应指标的变化是很微妙但很重要的事情。检测指标通常是一些生长性能指标，比如说生长猪体增重和饲料效率、怀孕母猪的氮存留、哺乳母猪的窝增重。但是也有用新陈代谢相关数据如血浆尿素氮[11]为指标，或者使用标记氨基酸氧化技术。在实际应用中，最常用的就是像日增重这样的指标。但是只有在实验持续足够长的时间之后才能精确评估日增重。然而生长猪、怀孕猪、哺乳猪在生产期间变化很快，氨基酸的需要量也是如此。因此需要在尽量短的试验时间（防止需要量发生变化）和尽量长的试验时间（以获得更准确地评估需要量之间进行平衡。

现有多种模型预测动物在不同氨基酸水平下的生长表现。线性-平台（或折线）和曲线-平台模型是最经常使用的模型[13]。趋势线和抛物线模型也会用到。但是这些模型都有一个缺点，趋势线模型下动物指标永远也达不到最大值，抛物线模型中高氨基酸水平下动物生长性能反而会低。这两种模型的主要区别在于，当氨基酸水平低于需要量时，线性模型中氨基酸水平与指标之间的边际效应是一个常数的，而在曲线模型中边际效应还是一个线性函数。这种不同会造成预测的氨基酸需要量会有很大的区别，曲线-平台模型预测的需要量要大大高于折线模型（图 1）。因此在解释或应用已发表的需要量数据时，将数据与所用的预测模型联系起来非常重要。通过比较额外的饲料成本和所产生的生长效益，曲线-平台模型可用于衡量最佳经济效益下的需要量。

关于第一限制氨基酸（如，Lys, Met, Met+Cys, Thr, and Trp）对生长猪的影响已有相当多的研究报告，而对其它的氨基酸（如,Ile）的研究就很少，甚至几乎没有（如，Val, Leu, Phe, Phe+Tyr, His,和 Arg）。关于怀孕和哺乳猪对一些氨基酸的响应信息不多（一些报告要追溯到上世纪六七十年代）或根本没有。参考文献[9]列出了一些猪不同生长阶段氨基酸需要量的出版物。实用可行的氨基酸需要量不可能通过一个试验就能得到。动物的生理阶段、日粮、环境都会影响动物利用紧缺营养物质的方式，最终影响到理想蛋白模型。因此，需要在不同条件下开展多个试验以消除其它因素对氨基酸需要量的影响。系统的综合分析是实现这个目标的最有用的工具(如,[9,14 – 17])。

#### 评估氨基酸需要量和理想蛋白质组成的模型

由于氨基酸需要量随着生长和生殖期的改变而改变，因此需要用建模的方法用来测定。析因法是 InraPorc[8,18]和 NRC[9]软件模型预测需要量的基础。两种模型工具都可以通过以下方式得到

(InraPorc 模型: [http://w3.rennes.inra.fr/inraporc/index\\_en.html](http://w3.rennes.inra.fr/inraporc/index_en.html) 和 NRC 模型:

<http://dels.nas.edu/Report/Nutrient-Requirements-Swine-Eleventh-Revised/13298>)。这些模型中已经录入一些特定指标,但是还需要用户输入蛋白沉积量和采食量等相关信息。利用提供的各种信息,模型可以动态的显示氨基酸的需要量曲线。下一章节中我们将描述 InraPorc 模型如何得到氨基酸需要量,同时简要的描述 NRC 模型与 InraPorc 模型的区别。

### InraPorc 模型中生长猪的氨基酸需要

如上所述,生长猪蛋白沉积是氨基酸需要量的主要决定因素。氨基酸需要量以及采食量决定日粮中氨基酸的推荐量。然而,蛋白沉积和采食量在生长期会改变,在日粮中氨基酸的需要量大致上由蛋白的沉积曲线和采食量曲线决定,模型使用者需要提供这些信息才能获得的精确氨基酸需要预测评估。由于体内蛋白和水份有很强相关关系,因此体内蛋白和体重之间的相关关系也很强。根据使用者提供的一系列体重和采食量数据(生长育肥期至少 3 个数据),软件能画出饲料采食量和蛋白沉积曲线。蛋白沉积曲线通过 3 个模型因子描述:初始蛋白量(与初始体重密切相关)、生长期日均蛋白沉积量(与日增重密切相关)、一个“成熟”指标(表示动物是早熟的或者晚熟的)。根据此沉积曲线和所沉积蛋白的氨基酸组成(表 2),可以得到氨基酸的沉积曲线。

InraPorc 模型中赖氨酸最大沉积效率为 72%,意味着沉积 1g 赖氨酸至少需要 1.39g 赖氨酸。即使赖氨酸是动物的第一限制性氨基酸,也有 0.39g 被动物降解。Moughan[19]将之称为“代谢必须量”,代表分解代谢从未完全关闭。各种氨基酸的最大沉积效率不可能完全相同。其他氨基酸的最大沉积效率通过赖氨酸的最大沉积效率和理想蛋白模型在后台计算出来(表 2)。事实上,关于氨基酸的最大沉积效率的资料几乎没有。从表 2 中可以看出,不同氨基酸的最大沉积效率差别非常大。沉积效率最大的氨基酸为精氨酸,超过 100%,说明精氨酸能在猪体内合成。组氨酸的最大沉积效率也相当高,但这在生物学上是不是现实可行的还不知道。由于这些沉积效率是通过理想蛋白组成计算得到的,理想蛋白组成的错误数据也会导致不正确的沉积效率。如,在 InraPorc 模型的初始版本中[8],SID 异亮氨酸赖氨酸比为 60%,与之对应的异亮氨酸的最大沉积效率为 60%。但本实验室的研究表明 SID 异亮氨酸赖氨酸比 60%有些高[20,21]。SID 异亮氨酸赖氨酸比应用 55%(这还是保守值)之后,相应的异亮氨酸最佳沉积效率就变为 67%(表 2)。

氨基酸的维持需要量由皮毛损失和最小蛋白代谢损失组成。这些数据由 Moughan[19]发表的相关数据计算得到。基础内源损失的数据就是 INRA-AFZ 饲料营养成分表[22]中的数据,并与软件中的 SID 数据一致。氨基酸的最大沉积效率仅仅指氨基酸被用于蛋白沉积的部分,不包括维持需要和基础内源损失部分。SID 氨基酸应用于维持和内源损失的效率认定为 100%。

长期以来,维持所需的赖氨酸被认定为  $36 \text{ mg/kg BW}^{0.75}/\text{d}$ [23,24]。尽管这里所用的值(i.e.,  $4.5 + 23.9 = 28.4 \text{ mg/kg BW}^{0.75}/\text{d}$ )低于 36,但其中也包括了基础内源损失。在上文的例子中(对 1 头 50kg 体重、采食量为 2kg/d 猪的需要量进行析因分析),基础内源损失为 0.626 g/d,相当于  $33 \text{ mg/kg BW}^{0.75}/\text{d}$ 。因此在 Inraporc 模型里,维持所用赖氨酸需要量再加上基础内源性损失会高于 Wang 和 Fuller [23]的推荐量。尽管如此,维持需要占整个氨基酸需要量的比例是很小的。基于以上描述,可以计算生长育肥猪在某一阶段的 SID 氨基酸需要量,图 2 赖氨酸利用的一个示例。因为基础内源性损失、维持和蛋白沉积需要量的相对比例会随生长而变化理想蛋白模型并不是恒定的。苏氨酸和缬氨酸的内源性损失相对较多。由于这些氨基酸的损失随着生长而增加,因此在体重由 30kg 增加到 110kg 时 SID 苏:赖和缬:赖比例提高了约 2 个百分点。

如图 2 所示, InraPorc 模型提供了一个对单个动物氨基酸需要的预测。这个推荐量低于一群猪有相同生长表现时的需要量。虽然详细解答这个问题超出了本文的范围(这个问题更详细的解答请参考[25]), InraPorc 模型给出的是猪群的平均需要量, 这比猪个体平均的需要量高约 10%。

### **NRC 模型里生长猪氨基酸的需要量**

最新的 NRC 模型[9]和 InraPorc 模型概念上相似。两者主要的不同是氨基酸的利用效率。NRC 模型默认赖氨酸用于维持的最大效率是 75%。为了解释动物之间的变异, 一系列严格控制的屠宰试验数据用来测试模型, 以调整氨基酸用于沉积蛋白效率的数据。

此外, 最大效率会随体重变化。蛋白沉积赖氨酸的最大效率在 20 kg 体重时为 68.2%, 下降至 120 kg 体重时的 56.8%。这与 InraPorc 模型中的策略不同, InraPorc 模型在整个生长期使用一个恒定的效率(72%), 而动物之间的变异会在后边解释。与此同时, NRC 模型中氨基酸用于维持和内源损失的效率与用于蛋白沉积的效率相同, 而 InraPorc 模型认为氨基酸用于维持和内源损失的效率为 100%。NRC 模型中不同氨基酸的内源损失要比 InraPorc 模型中的内源损失高 15-85%不等。

当 InraPorc 模型和 NRC 模型输入相似的参数时(例如, 采食量和蛋白沉积曲线), 可以对两个模型预测的需要量进行比较。在预测 20 公斤体重时 SID 氨基酸需要量时, InraPorc 模型稍微高于 NRC 模型(不到 10%), 而在预测 140 公斤体重时正好相反, InraPorc 模型预测值会稍微较低。尽管两种方法预测需要量稍有不同, 但整体来说还是非常相似的。由于 InraPorc 和 NRC 两个模型都是动力学模型, 所以理想蛋白模型在生长期也是变化的。在 InraPorc 模型中变化最重要的是苏氨酸和缬氨酸, NRC 中最大的是苏氨酸、蛋+胱氨酸、缬氨酸和异亮氨酸。从 20 到 140kg 体重, InraPorc 模型中 SID 苏:赖从 64%增加到 65%, NRC 模型中从 62%增加到 67%。尽管不同时期 SID 氨基酸和赖氨酸比有变化, 但是这两个模型都可以计算整体的理想蛋白组成。如表 3 所示, 这两个模型之间非常相似, 只有少数例外(如蛋+胱、苏、缬和异亮)

### **InraPorc 模型中怀孕母猪和哺乳母猪氨基酸的需要**

InraPorc 母猪模型是描述不同胎次母猪营养利用和需要的少有的几个模型之一。Dourmad 等对这个模型有详细的描述[18,26], 整个模型基于怀孕和泌乳阶段能量和氨基酸利用。其中包括不同胎次胚胎的生长、母体增重、产奶量以及哺乳期体组织的动员。

由于怀孕母猪限饲和哺乳期蛋白摄入通常低于产出, 在繁殖母猪中很难应用体蛋白沉积这一概念(不同于生长猪)。实际生产中母猪饲喂的主要目标是分娩时达到理想体重和背膘厚, 实际的蛋白沉积量很难达到母猪的潜在蛋白沉积量(自由采食时的蛋白沉积量)。因此, InraPorc 模型基于怀孕期胎儿蛋白沉积和摄入的能量剩余(摄入能量-维持能量), 利用经验公式描述母猪的蛋白沉积。设定赖氨酸的最大沉积效率为 65%。其他氨基酸的限制量通过怀孕母猪理想蛋白组成计算得到(表 3)。哺乳期乳中蛋白和氨基酸的流失也是通过经验公式计算得到。通过窝增重和窝仔猪数计算乳蛋白的流失量。日产奶量通过将平均产奶量和哺乳天数代入模型中计算得到。产奶量在前 19 天逐渐增加, 随后稍微降低。哺乳期的蛋白沉积(更准确的说是蛋白动员)也通过一个经验方程(通过计算第一限制氨基酸的摄入和乳中蛋白的损失)描述。其他氨基酸的平衡通过哺乳母猪理想蛋白组成(表 3)计算。由于使用的是经验方程, 因此氨基酸用于产奶的效率也未知。但是从经验来说, 氨基酸转化为产奶的效率相对较高(如 SID 赖氨酸的效率为 80-82%), 由于乳蛋白的生成不需要或很少需要蛋白周转, 这与肌肉蛋白合同不同。

图 3 阐述了初产母猪在第一次繁殖周期的 SID 赖氨酸利用情况。在怀孕早期，母猪需要沉积大部分的赖氨酸(主要表现为肌肉)，因为初产母猪还未达到成熟体重。给母猪提供充足的赖氨酸就会发挥它的生长潜力，而赖氨酸过量则会脱氨。大约从 60 天开始，在母体肌肉生长时在每窝仔猪（胎儿）中赖氨酸的滞留快速地增加，从 85 天开始，赖氨酸不足以维持最大的母体生长。因此，在怀孕最后一周提供给母猪高 SID 赖氨酸含量的泌乳日粮，母猪就可以更好地表现出赖氨酸沉积的潜能。在泌乳期间，采食量的快速增加允许更多的赖氨酸用于生产和储存在母乳中。然而，增加的采食量不足以维持全部产乳量，因此母猪将会动员体蛋白来用于产乳，尤其在泌乳的最后 14 天。断奶后，赖氨酸供应充足并开始恢复体蛋白储存。因此，对于初产母猪关于“母猪赖氨酸需要量”这个问题不能简单地回答，母猪仍然在生长同时在泌乳期又在失重，然后在下次怀孕期间重新恢复体重。另外，母猪在怀孕期间采用限饲，这也可能导致蛋白质和赖氨酸沉积低于母猪的生物潜能。在泌乳期间，母猪动员体储备来提供产乳所需的能量和体蛋白以及体脂的动员。因此，日粮中增加赖氨酸含量并不一定能减少体蛋白的动员。

### **NRC 模型里怀孕和哺乳母猪的氨基酸需要量**

NRC 模型也使用析因法评估怀孕母猪和哺乳母猪的氨基酸需要量。对于怀孕母猪，NRC 模型明确地考虑了每胎产仔数、乳腺组织、胎盘、羊水、子宫、时间依赖的母体蛋白沉积和能量依赖的母体蛋白沉积作为单独地蛋白池评估。对于前四个蛋白池，胎儿蛋白沉积的定量分析是最重要的，通过类似于 InraPorc 使用的关系来描述。时间和能量依赖的蛋白沉积与 InraPorc 使用的很相似。氨基酸需要量获得是通过每个蛋白池的氨基酸成分的蛋白沉积相乘，除以这些氨基酸的利用效率。这些效率是通过拟合（限制）提供的数据模型预测估计。基础内源性损失占怀孕和哺乳母猪的不同内源性蛋白损失比分别为 (17.6 和 9.8 g/kg 干物质摄入量)，但是对于生长猪氨基酸组成相同。

对于每个阶段的母猪很难给出一个“账面价值”表示的氨基酸需要量，因为增重、失重和背膘厚度，窝仔数和窝增重所有的都会影响氨基酸的需要量。InraPorc 和 NRC 模型需要用户根据实际情况输入以便使上面描述的总体理念可以放大或缩小。这是一种可以自动校准的程序，当用户提供输入与输出的模式相比后，可调整所选模型的参数以便预测实际情况的营养需要量。

InraPorc模型分别对怀孕母猪和哺乳母猪使用各自固定的理想蛋白质组成(表3)。这与NRC模型不同,其中每个蛋白质池都有自己的理想蛋白模型,这样怀孕期和哺乳期的整个理想蛋白模型将随着胎次和窝仔数的改变而改变。然而,这些变化是相对较小的,表3列出了泌乳母猪和怀孕母猪群的平均理想蛋白模型。除了异亮氨酸和含硫氨基酸,InraPorc使用的理想模式和NRC非常相似。两个模型表明在泌乳期的Met+Cys:Lys的比值比在怀孕期的更低,但NRC模型比InraPorc模型差异更大。

### **配种配方日粮是基于需求量还是基于生长性能?**

最低成本的饲料配方是基于限制营养指标的线性方案(例如：日粮中营养元素的最小和最大含量)，在满足动物营养需要的前提下饲料原料以最低成本来组合。最低成本饲料配方的局限性是需要量是一个固定值，且配方日粮中的营养含量需要在配方师设定的安全范围之内。有经验的配方师可以调整需要量值和评估生长表现。让人吃惊的是，关于量化和系统化报告营养缺乏的影响的营养研究受到人们的关注很少。例如，赖氨酸、色氨酸或缬氨酸的缺乏对生长表现的影响？在一系列的关于仔猪“二次氨基酸”的研究试验，我们发现缺乏缬氨酸或者异亮氨酸对生长性能的危害大于亮氨酸、组氨酸或者苯丙氨酸[20, 21, 27, 28]。建模方法例如在 InraPorc 和 NRC 模型使用的方法时向前迈进的重要一步，因为他们一定程度上能预测由于缺乏氨基酸而在生长性能上的降低。然而，这

些模型不能解释氨基酸间的互作（例如：支链氨基酸间的互作）以及一个氨基酸的缺乏或过量对采食量的影响。

## 结论

不同文献中提出了生长猪和母猪的不同理想蛋白组成模式[1, 8-10, 18, 23, 24, 29-32]。这些蛋白模式和赖氨酸需求是基于个人实验研究、或者实验汇编确定的。模型生成的理想蛋白组成在未来将更有用，而不是在猪只不同阶段推荐一种理想蛋白组成。模型考虑了氨基酸利用的不同方面以及在生产过程中发生的动态变化。无论是 InraPorc 模型 或者 NRC 模型，哪一种是最适合的需要留给使用者去判定。

## 缩写

AA: 氨基酸; AID: 表观回肠消化率; BW: 体重; SID: 标准回肠消化率.

## 利益冲突

作者声明他们没有利益冲突。

## 作者的贡献

作者完成这篇综述的撰写，他们阅读并批准手稿的出版。

## 致谢

感谢 Roberto Barea, Mathieu Gloaguen 和 Alberto Conde 的博士后工作为本论文做出的贡献，使我们了解了猪的氨基酸营养和代谢。同时也感谢 INRA 研究所在实验设备和实验室分析的支持以及他们在专业技术和氨基酸营养和代谢研究项目上的承诺。

表 1 猪屠宰后各部分重量的比例及其和乳中氨基酸的组成

	体组织				
	胴体	内脏	全血	毛发	乳
组成, %					
8.5 kg 体重时	66.2	28.0	4.0	1.8	-
108 kg 体重时	78.8	14.1	5.4	1.7	-
氨基酸, %					
赖氨酸	7.6	6.6	9.0	4.0	7.5
蛋氨酸	1.9	1.6	0.8	0.5	2.0
胱氨酸	1.1	1.3	1.5	13.0	1.7
苏氨酸	4.0	3.6	3.7	5.7	4.3
色氨酸	1.1	1.3	1.5	0.3	1.4
缬氨酸	4.7	4.9	9.0	5.9	5.1
异亮氨酸	3.9	3.5	1.3	3.7	4.3
亮氨酸	7.1	7.1	13.0	8.0	8.7
苯丙氨酸	3.8	4.0	6.8	2.7	4.2
酪氨酸	3.0	3.1	2.9	3.4	4.1
组氨酸	3.7	2.8	5.6	2.0	3.9
精氨酸	6.5	5.6	3.8	6.5	5.5

表 2 InraPorc 模型中[8]由理想蛋白组成、体蛋白组成和维持需要计算得到的氨基酸利用的最大效率

	基础内源损失 (g/kg 干物质摄入量)	皮毛需要 (mg/kg BW <sup>0.75</sup> /d)	最少周转需要 (mg/kg BW <sup>0.75</sup> /d)	体蛋白组成 (%)	理想蛋白 (%)	最大效率 (%)
赖氨酸	0.313	4.5	23.9	6.96	100	72
蛋氨酸	0.087	1.0	7.0	1.88	30	64
胱氨酸	0.140	4.7	4.7	1.03	30	37
苏氨酸	0.330	3.3	13.8	3.70	65	61
色氨酸	0.117	0.9	3.5	0.95	18	57
缬氨酸	0.357	3.8	16.4	4.67	70	71
异亮氨酸	0.257	2.5	12.4	3.46	55	67
亮氨酸	0.427	5.3	27.1	7.17	100	76
苯丙氨酸	0.273	3.0	13.7	3.78	50	82
酪氨酸	0.223	1.9	9.0	2.86	45	67
组氨酸	0.130	1.3	10.2	2.79	32	93
精氨酸	0.280	0.0	0.0	6.26	42	154
蛋白	8.517	104.4	361.1	-	-	85

表 3 InraPora 模型[8,18]和 NRC 模型[9]中生长猪、怀孕母猪和哺乳母猪理想蛋白组成（以其与赖氨酸的百分比表示）

	生长猪 (20-140 kg)		怀孕母猪		哺乳母猪	
	InraPorc	NRC	InraPorc	NRC	InraPorc	NRC
蛋氨酸	30	29	28	28	30	26
蛋+胱氨酸	60	56	65	69	60	53
苏氨酸	65	61	72	76	66	63
色氨酸	18	17	20	20	19	19
缬氨酸	70	65	75	74	85	85
异亮氨酸	55	52	65	55	60	56
亮氨酸	100	101	100	95	115	113
苯丙氨酸	50	60	60	57	60	54
苯丙+酪氨酸	95	94	100	98	115	112
组氨酸	32	34	30	32	42	40
精氨酸	42	46	-	53	-	56

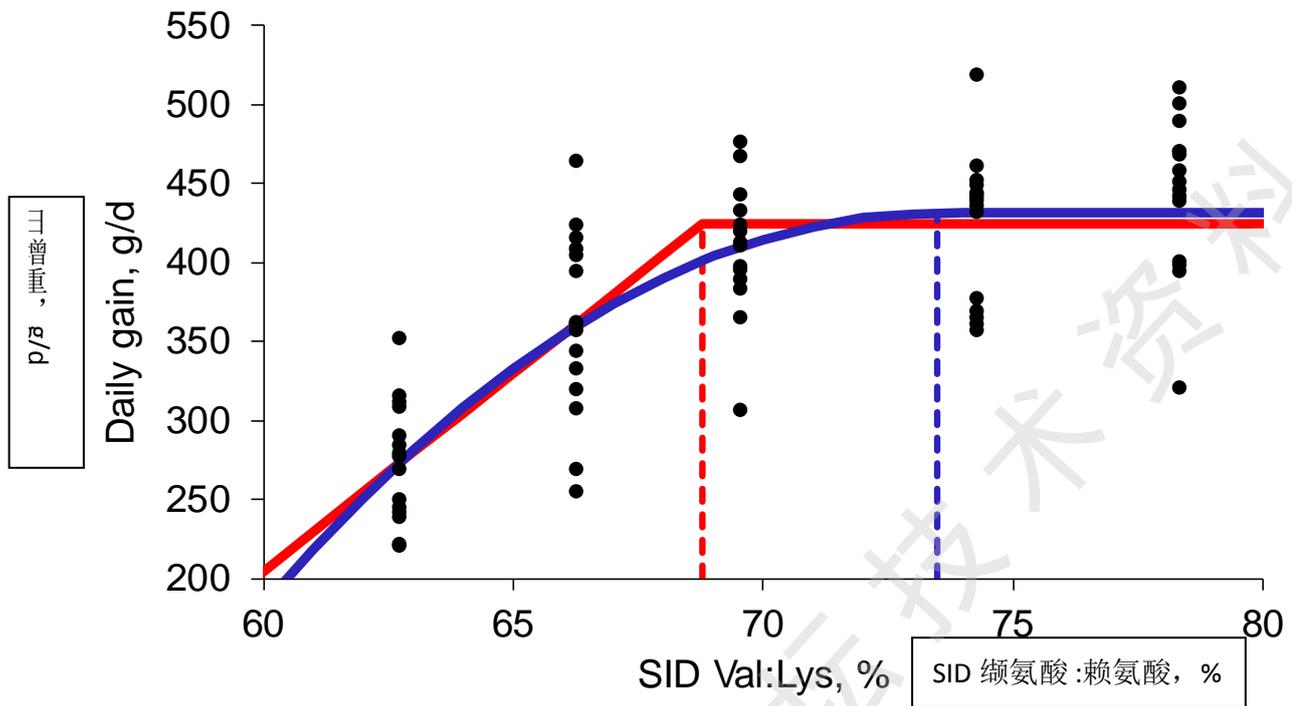


图 1 日粮 SID 缬氨酸 : 赖氨酸对生长猪生长的影响。  
 每个点(●)代表单个动物的生长性能[33]。红色实线代表着折线模型，蓝色实线为曲线-平台模型。虚线代表着两个模型预测的 SID 缬氨酸 : 赖氨酸需要量

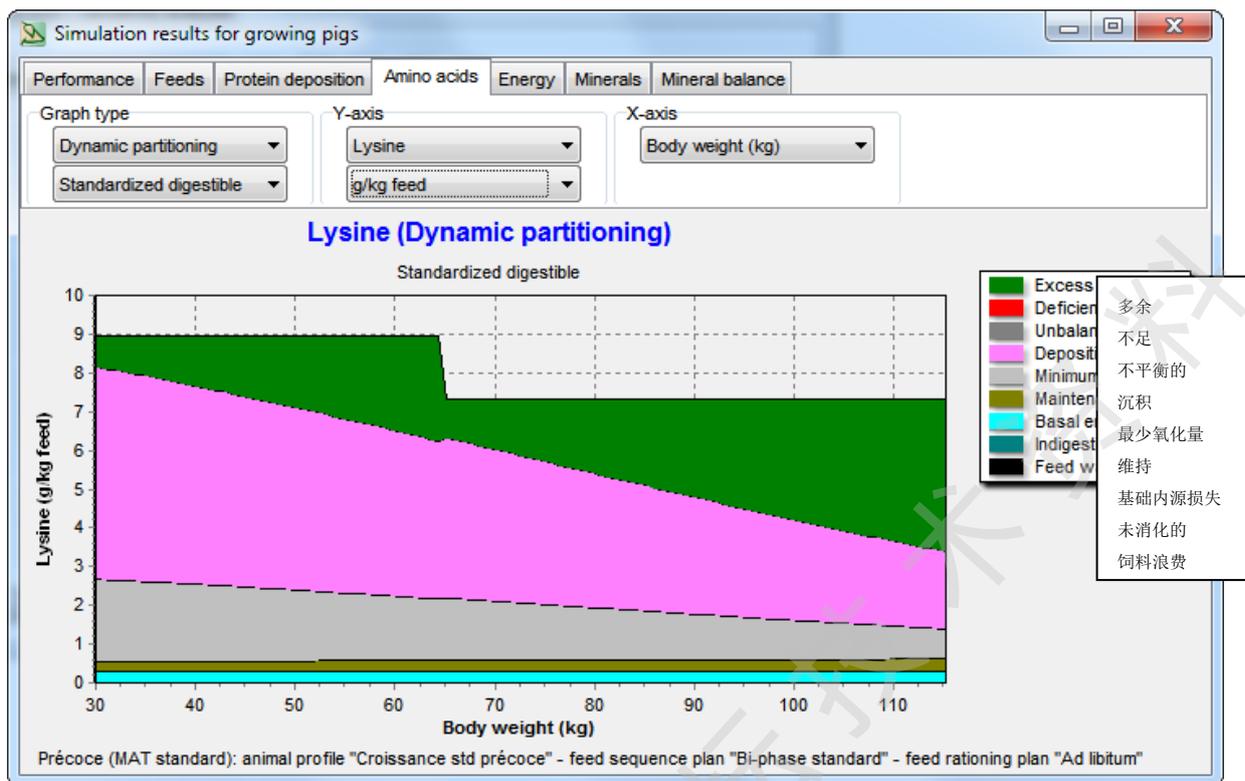


图 2 InraPorc 模型预测 30-115kg 阶段猪对 SID 赖氨酸的利用情况。

竖轴为赖氨酸利用量，单位为 g/kg 日粮。在 65kg 体重时，猪只日粮改为 SID 赖氨酸较低的育肥日粮。

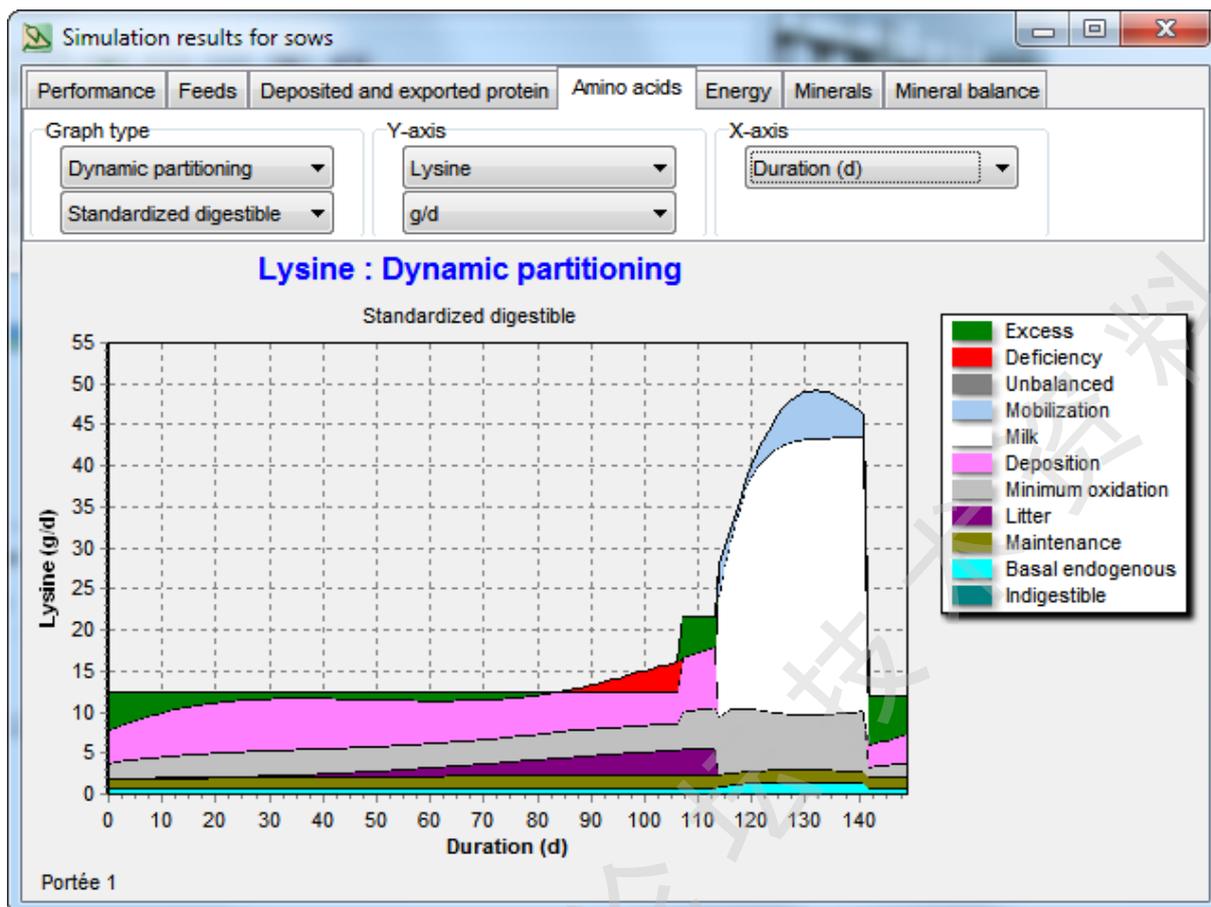


图 3 InraPorc 模型对初产母猪 SID 赖氨酸利用的预测。

母猪限饲怀孕日粮，直至怀孕最后一周。然后开始饲喂哺乳日粮（SID 赖氨酸含量增加），哺乳期自由采食。在发情间隔时继续限饲怀孕日粮。