

Amino Acids in Animal Nutrition and Feed

■ 氨基酸概述

■ 氨基酸的生物学特性

■ 氨基酸的可利用性及其评定方法

■ 氨基酸模式及其在动物营养与饲料配方中的应用

■ 氨基酸含量分析和氨基酸添加剂生物效价评定

■ 反刍动物氨基酸营养

■ 小肽营养原理与应用技术

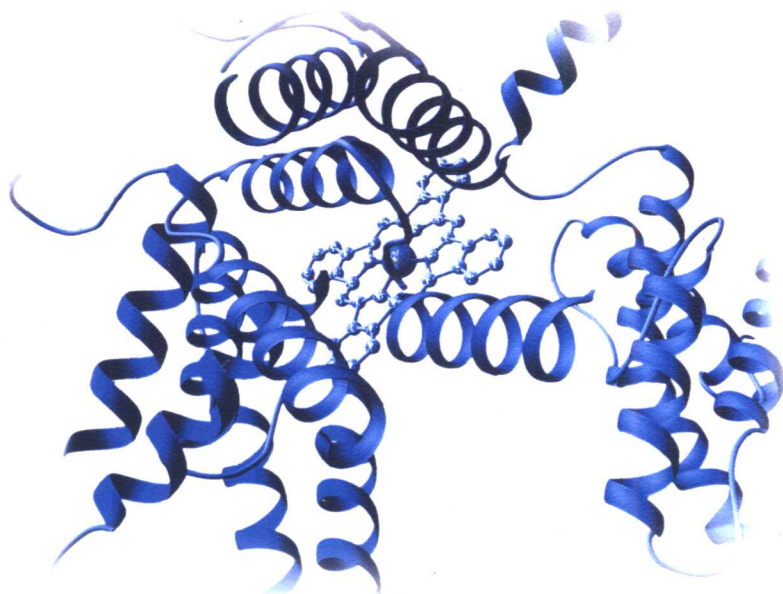
■ 氨基酸单体及其衍生物的理化特性与用途

■ 氨基酸的生产技术

动物

氨基酸营养与饲料

刁其玉 主编



化学工业出版社

动物氨基酸营养与饲料

刁其玉 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

动物氨基酸营养与饲料/刁其玉主编. —北京: 化学工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-122-00632-5

I. 动… II. 刁… III. 高蛋白饲料 IV. S816.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 086818 号

责任编辑: 邵桂林

文字编辑: 周 侗

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 427 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着对蛋白质营养和功能的深入研究，国内外的专家学者普遍意识到：决定蛋白质在体内发挥一切生理及营养功能的关键是其基本构成单位——氨基酸。因此，饲料中氨基酸的含量及其必需氨基酸和非必需氨基酸的比例决定了蛋白质的营养。氨基酸在动物体内参与生长、代谢、免疫、繁殖等各种生命活动，是机体的生命之源。氨基酸的功能、应用及其生产技术等的研究发展与畜牧业规模化养殖、畜产品品质、人类健康以及环境保护等具有重要联系。

本书共分为九章，包括氨基酸概述、氨基酸的生物学特性、氨基酸的可利用性及其评定方法、氨基酸模式及其在动物营养与饲料配方中的应用、氨基酸含量分析和氨基酸添加剂生物效价评定、反刍动物氨基酸营养、小肽营养原理与应用技术、氨基酸单体及其衍生物的理化特性与用途、氨基酸的生产技术。本书内容丰富，既有深入的理论探讨，同时也有大量的应用技术介绍，材料翔实，有一定的深度。本书适用于农业院校畜牧、动物营养、饲料等专业研究生及本科生的专业学习，也可专业科研人员及技术人员提供参考。

本书的编写、修订、出版得到了中国农业科学院与中国农业科学院饲料研究所领导的大力支持，也得到了广大同仁的帮助和鼓励，尤其是化学工业出版社为本书的尽早出版做了大量的工作。在本书的编写中，引用了大量的中外文献，在此向有关作者表示衷心的感谢。此外，在本书的资料整理过程中得到了姜成刚、王桂秋、杨威、杜红芳、国春艳、张蓉等研究生的帮助，在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请各位读者予以指正，以便再版时进行修订。

编 者

2007年2月于北京

目 录

第一章 氨基酸概述	1
第一节 氨基酸的分类	1
一、根据侧链 R 基团的结构分类	1
二、根据 R 基团的极性分类	2
三、根据碳链结构分类	2
四、根据体内合成情况分类	2
五、根据体内代谢产物分类	3
六、氨基酸结构类似物	4
七、氨基酸的异构体	5
第二节 氨基酸的功能	6
一、氨基酸的营养功能	6
二、氨基酸的免疫功能	8
三、氨基酸参与转运体系	10
四、氨基酸生化 and 分子活性	11
第三节 氨基酸缺乏症与需要量	14
一、氨基酸缺乏症	14
二、氨基酸需要量	15
第四节 中国氨基酸生产状况	16
第五节 氨基酸生产技术发展概况	17
第六节 氨基酸的深加工及新产品开发	19
参考文献	20
第二章 氨基酸的生物学特性	22
第一节 动物体内的氨基酸代谢特性	22
一、氨基酸在动物体内的生物合成	22
二、机体氨基酸需要量的研究	23

三、氨基酸的中间代谢——与能量代谢的关系	24
四、不同生理条件下的氨基酸代谢	25
五、氨基酸可以作为代谢调控因子	26
六、氨基酸平衡可提高蛋白质的利用率	27
七、转基因技术对氨基酸研究的影响	28
第二节 氨基酸的代谢途径概论	29
一、氨基酸代谢的主要方式	30
二、其他生物活性分子的代谢反应	35
第三节 必需氨基酸与非必需氨基酸的比例	37
一、必需氨基酸和非必需氨基酸的比例的确定	38
二、方法学的确定	39
三、生长和蛋白质沉积的最适 E:T	39
四、E:T 对蛋白质和氨基酸利用的影响	42
五、维持最适 E:T	44
六、非必需氨基酸的功能	45
七、小结	45
第四节 氨基酸的有毒有害作用	46
一、氨基酸不平衡	46
二、支链氨基酸 (BCAA) 的拮抗	49
三、由非蛋白质氨基酸引起的拮抗作用	51
四、神经毒性氨基酸	53
五、氨基酸的毒性	54
六、小结	54
参考文献	55

第三章 氨基酸的可利用性及其评定方法

第一节 可利用氨基酸的定义	57
第二节 影响畜禽氨基酸可利用性的因素	58
一、动物品种、日龄和性别	58
二、原料种类及加工方式	59
三、日粮营养水平	59
四、环境因素	60
五、添加酶制剂或酸化剂	60
第三节 饲料氨基酸利用率的测定方法	61
一、体外法	61
二、间接体内法	65
三、直接体内法	65
四、半体内法 (运动尼龙袋法)	65

第四节 猪回肠氨基酸消化率的测定	66
一、屠宰法	67
二、瘘管法	67
三、回-直肠吻合术	67
第五节 禽类氨基酸消化率的测定	69
一、鸡回肠氨基酸消化率测定方法的发展	69
二、测定回肠氨基酸消化率的一些影响因素	70
第六节 内源氨基酸排泄量的测定方法	71
一、测定内源氨基酸排泄的意义	71
二、影响内源氨基酸排泄的因素	72
三、内源氨基酸的测定方法	72
四、各种测定方法的效果评价	81
第七节 可消化氨基酸的应用	83
一、真回肠氨基酸消化率的应用	83
二、鸡和鸭在氨基酸消化率上的差异	84
三、氨基酸消化率测定结果的应用	84
参考文献	84

第四章 氨基酸模式及其在动物营养与饲料配方中的应用

第一节 理想蛋白质氨基酸平衡模式的研究	85
一、理想蛋白质的概念及理论基础	85
二、氨基酸平衡理论的产生及其意义	86
三、氨基酸平衡与动物生产的关系	86
第二节 理想氨基酸模式的研究方法	87
一、血液氨基酸组合法	87
二、肌肉组织氨基酸组合法	87
三、同位素示踪法	87
四、“黑匣子”法	88
五、数学模拟模式拟合法	88
六、营养免疫学法	88
第三节 不同家畜的氨基酸平衡模式	88
一、猪的理想蛋白质	88
二、鸡的氨基酸模式	91
三、反刍动物的氨基酸模式	92
第四节 影响理想蛋白质氨基酸比例模式的主要因素	97
第五节 理想蛋白质氨基酸模式的实际应用及应考虑的问题	98
一、理想蛋白质氨基酸模式的应用	98
二、理想蛋白质氨基酸模式应用中应考虑的问题	99

第六节 动物氨基酸需要量与缺乏量	100
一、氨基酸需要量的研究方法	100
二、不同家畜氨基酸需要量的研究	101
三、氨基酸的缺乏	113
四、影响动物氨基酸需要量的因素	113
第七节 低蛋白质日粮的配制技术	115
一、配制低蛋白质日粮的意义	115
二、低蛋白质日粮的配制方法	117
三、低蛋白质日粮的使用效果	119
第八节 合成氨基酸科学选用	121
参考文献	122

第五章 氨基酸含量分析和氨基酸添加剂生物效价评定 123

第一节 样品的前处理	123
一、酸水解和氧化水解	123
二、碱水解	125
三、游离氨基酸的提取	126
第二节 氨基酸的分离方法	126
第三节 氨基酸的检测方法	127
一、化学分析法	128
二、电化学分析法	128
三、分光光度法	128
四、有效赖氨酸的测定方法	133
第四节 柱前衍生和柱后衍生反应在氨基酸检测中的应用	133
一、柱后衍生反应	134
二、柱前衍生反应	134
三、未衍生氨基酸的其他分离和检测技术	135
第五节 近红外技术在饲料原料氨基酸含量估测中的应用	136
第六节 饲料生产中分析氨基酸含量的意义	138
一、了解饲料原料, 优化饲料配方	138
二、监控配合饲料质量	139
三、测定可消化氨基酸	139
参考文献	139

第六章 反刍动物氨基酸营养 141

第一节 反刍动物蛋白质和氨基酸研究简史	141
---------------------------	-----

第二节 氨基酸在反刍动物体内的消化	143
一、氨基酸在瘤胃内降解与合成	143
二、小肠氨基酸来源	143
三、小肠氨基酸供应量的预测	145
四、氨基酸在反刍动物小肠内的消化	145
第三节 氨基酸在反刍动物体内的吸收	145
一、胃肠道氨基酸的吸收	145
二、胃肠道小肽的吸收	147
第四节 氨基酸在反刍动物体内的代谢	147
一、肝脏的氨基酸代谢	147
二、乳腺的氨基酸代谢	148
三、反刍动物组织中氨基酸代谢	150
第五节 反刍动物氨基酸需要量的研究	151
第六节 反刍动物氨基酸的平衡	151
一、必需氨基酸 (EAA) 与非必需氨基酸 (NEAA)	152
二、反刍动物限制性氨基酸研究进展	153
第七节 反刍动物氨基酸的平衡与调控	158
一、小肠氨基酸供应模型的调控	158
二、促进小肠养分吸收的调控	159
三、组织养分利用与分配的调控	159
第八节 反刍动物氨基酸保护研究	159
一、反刍动物过瘤胃技术的应用现状	160
二、氨基酸的过瘤胃保护原理和方法	161
三、包被技术在 RPAA 的应用	162
四、RPAA 的稳定性检验与评价	163
五、影响 RPAA 饲用效果的因素	163
六、RPAA 的优点及应用	164
第九节 反刍动物氨基酸模型估计	165
一、析因模型	165
二、回归模型	169
三、可消化氨基酸模型	171
四、剂量-反应模型	173
参考文献	175

第七章 小肽营养原理与应用技术

第一节 小肽的生理生化特点	177
一、小肽的吸收机制	177
二、小肽的吸收特点	182

三、影响小肽吸收的因素	183
第二节 小肽的营养功能	185
一、小肽的基本营养功能	185
二、肽的生理活性作用	187
三、组织对小肽的利用	190
四、肽营养的调控技术	190
第三节 小肽的生产与研究方法	191
一、小肽的生产方法	191
二、生物活性肽	194
三、小肽的研究方法	200
四、小肽的测定方法	201
第四节 小肽的应用	202
一、小肽在家禽饲料中的应用	202
二、小肽在猪饲料中的应用	203
三、小肽在反刍动物饲料中的应用	205
四、小肽在水产动物饲料中的应用	207
第五节 小肽研究新动向	207
参考文献	208

第八章 氨基酸单体及其衍生物的理化特性与用途 210

第一节 必需氨基酸单体及其衍生物	210
一、L-赖氨酸	212
二、蛋氨酸	214
三、L-组氨酸及其衍生物	217
四、苏氨酸及其衍生物	218
五、色氨酸及其衍生物	221
六、苯丙氨酸及其衍生物	223
七、精氨酸及其衍生物	225
八、支链氨基酸 (BCAA)	227
第二节 非必需氨基酸单体及其衍生物	232
一、牛磺酸	232
二、L-胱氨酸	234
三、L-酪氨酸	234
四、脯氨酸及其衍生物	235
五、L-谷氨酰胺	237
六、甘氨酸	239
七、丝氨酸及其衍生物	240
八、DL-丙氨酸	242

九、L-丙氨酸	242
十、天冬氨酸及其衍生物	243
十一、L-天冬酰胺	244
参考文献	245

第九章 氨基酸的生产技术 246

第一节 氨基酸的生产方法概论 246

一、直接发酵法	246
二、添加前体发酵法	247
三、酶法	247
四、化学合成法	247
五、蛋白质水解提取法	248
六、氨基酸的工业现状和动态	248

第二节 直接发酵法生产氨基酸 249

一、L-谷氨酸的生产	249
二、L-赖氨酸的生产	254
三、L-苏氨酸的生产	258
四、L-苯丙氨酸的生产	260
五、L-异亮氨酸、L-缬氨酸和 L-亮氨酸的生产	263
六、L-谷氨酰胺的生产	266
七、L-脯氨酸的生产	267
八、L-精氨酸的生产	267

第三节 添加前体发酵法生产氨基酸 270

一、L-丝氨酸的生产	270
二、L-色氨酸的生产	272
三、L-脯氨酸的生产	272

参考文献 272

附录 主要缩略词英汉对照表 273

氨基酸是含氨基和羧基的有机化合物的统称，其中蛋白质氨基酸有 20 种，非蛋白质氨基酸有 450 多种，其衍生物和合成的短肽达数千种之多。氨基酸是构成生物体蛋白质的基本单位，是生物有机体的重要组成部分，在生命现象中起着至关重要的作用。氨基酸对机体的营养、生存和发展有极其重要的作用，在生命体内物质代谢调控、信息传递等方面扮演重要角色。随着生命科学的发展，人类逐渐掌握了生物体内的生理机能及代谢规律，更进一步了解了氨基酸在生物体内的重要生物机能。

氨基酸作为人类营养添加剂、调味剂、饲料添加剂、医药、农药等在食品工业、农业、畜牧业及人类健康、保健等诸多方面有着广泛的应用。其中作为食品添加剂占 40%~50%，饲料添加剂占 30%~40%，药用和保健、化妆品及其他用途的氨基酸约占 20%。氨基酸工业是自 20 世纪 50 年代以来，作为一个朝气蓬勃的新兴工业体系，已广泛应用于医药、食品、保健、饲料、化妆品、农药、肥料、制革、科学研究等领域。50 多年来，氨基酸的研究、开发和应用均取得了重大进展。从产量上看，1960 年左右，世界氨基酸总产量不超过 10 万吨，现在已高达几百万吨，产值超过百亿美元；从种类上看，1980 年左右各厂家生产的氨基酸产品仅 400 多种，截至目前已高达 1000 多种，其中用于药物的氨基酸及氨基酸衍生物已达 100 多种。据统计世界氨基酸的年需求量以每年 10% 的速度递增，因此，目前全球氨基酸产品年总产量与实际需求量还有较大距离，据专家们预计，世界市场总需求量至少为 200 万吨。由于氨基酸需求量大，价格贵，世界各氨基酸生产大国的厂商积极发展氨基酸生产技术，抢占世界市场，竞争十分激烈。

第一节 氨基酸的分类

氨基酸分类的方法有多种，目前常以氨基酸的 R 基团的结构和性质作为氨基酸分类的基础。

一、根据侧链 R 基团的结构分类

如果按侧链 R 基团的结构分类，可将 20 种氨基酸分为七类。

① R 为脂肪族基团的氨基酸。

② R 为芳香族基团的氨基酸。芳香族氨基酸包括苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸。苯丙

氨酸和酪氨酸结构相似，苯丙氨酸在体内一般先转变为酪氨酸，酪氨酸可以降低苯丙氨酸的需要量。

- ③ R 为含硫基团的氨基酸。
- ④ R 为含醇基基团的氨基酸。
- ⑤ R 为碱性基团的氨基酸。
- ⑥ R 为酸性基团的氨基酸。
- ⑦ R 为含酰胺基团的氨基酸。

二、根据 R 基团的极性分类

根据 R 基团的极性可将氨基酸分为四大类：①非极性 R 基团氨基酸；②极性不带电荷 R 基团氨基酸；③R 基团带负电荷的氨基酸；④R 基团带正电荷的氨基酸。这种分类方法更有利于说明不同氨基酸在蛋白质结构和功能上的作用。

三、根据碳链结构分类

按照碳链结构可分出支链氨基酸（BCAA）：缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸，这三种均含有支链；按照碳链的苯环结构可分出芳香族氨基酸：苯丙氨酸、酪氨酸、色氨酸分子中含有芳香环；含硫氨基酸（SAA）：甲硫氨酸、半胱氨酸分子中含硫元素，甲硫氨酸也叫蛋氨酸；亚氨基酸：脯氨酸，其氨基处于环中，为亚氨基酸；特殊氨基酸包括谷氨酸和组氨酸。

四、根据体内合成情况分类

按照氨基酸在体内的合成和需要情况，可分为必需氨基酸和非必需氨基酸（表 1-1）。蛋白质仅由 20 多种氨基酸组成，其中动物体内不能自身合成，必须从饲料中获得的氨基酸称为必需氨基酸。对于生长猪，必需氨基酸有 10 种，赖氨酸、色氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸和缬氨酸。猪成年后，体内组氨酸和精氨酸的合成能力逐渐增强，其需要量相对下降，所以成年猪的必需氨基酸仅为 8 种，生长猪由 10kg 增至 110kg 期间，含硫氨基酸和苏氨酸对维持的贡献越来越大。

表 1-1 氨基酸营养分类

必需氨基酸(EAA)		非必需氨基酸(NEAA)			
一般动物	特殊动物需要	准 EAA	半 EAA	条件 EAA	绝对 NEAA
赖氨酸 Lys 缬氨酸 Val 亮氨酸 Leu 异亮氨酸 Ile 苏氨酸 Thr 蛋氨酸 Met 苯丙氨酸 Phe 色氨酸 Trp 组氨酸 His	精氨酸 Arg (猫、家禽、鱼) 牛磺酸 Tau(猫)	组氨酸 His 精氨酸 Arg	酪氨酸 Tyr 胱氨酸 Cys	胱氨酸 Cys 酪氨酸 Tyr 精氨酸 Arg 脯氨酸 Pro	谷氨酸 Glu 谷氨酰胺 Gln 甘氨酸 Gly 丝氨酸 Ser 丙氨酸 Ala 天冬氨酸 Asp 天冬酰胺 Asn

对于家禽来说,必需氨基酸有 11 种,除与猪相同的 10 种外,还有甘氨酸。甘氨酸可在鸡体内合成,但不能满足家禽最大生长需要(排出尿酸),因此也是必需氨基酸。

对于反刍动物来说,小肠中氨基酸主要来源于微生物蛋白质、非降解饲料蛋白质和内源蛋白质,瘤胃微生物蛋白(各种氨基酸)的供应量随饲喂水平的提高也相应地提高。然而在大多数情况下,当反刍动物生产率提高时,细菌蛋白的供应量无法满足动物的需要。赖氨酸与能量需要量之间存在相关性,但目前还不能确切地定出生长时赖氨酸与能量之间的比例。假若赖氨酸和蛋氨酸不是第一限制性氨基酸时,就需要添加其他过瘤胃保护性氨基酸产品来调整到达十二指肠的氨基酸模式,有选择性地添加抗瘤胃降解的蛋白源也特别有效果,前提是这种蛋白源必须能提供含有这种限制生长的氨基酸。

此外,过去认为组氨酸仅对婴儿来说是必需氨基酸,现在认为对于成年人来说组氨酸也是必需的,虽然成年人体内能合成组氨酸,但其合成速度不能满足机体需要。另外,人们把胱氨酸、酪氨酸、精氨酸、甘氨酸称为半必需氨基酸。因为它们在体内合成的原料是必需氨基酸,特别是胱氨酸和酪氨酸分别由蛋氨酸和苯丙氨酸转变而成,所以把这些氨基酸称为半必需氨基酸。

动物在早期快速生长期需要日粮提供充足的精氨酸和脯氨酸,故将精氨酸和脯氨酸称为准必需氨基酸。机体内由谷氨酸(或谷氨酰胺)和脯氨酸内源合成的精氨酸对初生或断奶仔猪起重要的作用,快速生长猪所需的精氨酸 40% 由日粮供给,精氨酸是生成尿素与鸟氨酸的前体物质,精氨酸和鸟氨酸可推动肝脏中尿素合成,解除氨中毒。体内缺乏精氨酸会导致肝脏组织异常快速生长,泌乳期母猪初乳和乳汁中精氨酸缺乏。

精氨酸是猫的必需氨基酸,猫体内不能合成鸟氨酸进而生成精氨酸,猫日粮中缺乏精氨酸时,会导致呕吐、破伤风及痉挛等症状。精氨酸还可防止猫视网膜降解。家禽因缺乏某些关键的酶,如氨甲酰磷酸酶而不能合成精氨酸,因此只能由日粮来提供。虽然有报道称在提供瓜氨酸的情况下,家禽可在肾和巨噬细胞内合成精氨酸,但通过这种途径合成精氨酸的效率很低(Su, 1999)。

非必需氨基酸是相对必需氨基酸而言的,它们也参与组成体内蛋白质,为生长发育和正常代谢所必需,如缺乏这些氨基酸仍会引起代谢障碍,但由于这些氨基酸在饲料提供不足的情况下,体内可以用另外一些氨基酸合成,所以称这些氨基酸为非必需氨基酸。非必需氨基酸包括:谷氨酸、天冬氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸、丝氨酸。非必需氨基酸可能在动物生长中具有一定的作用。例如,在雏鸡日粮中添加谷氨酸可改善生长性能,刺激胃肠道和免疫系统的发育;在粗蛋白含量较低,且蛋白来源为植物性原料的日粮中,甘氨酸可能是幼雏的限制性氨基酸。也有研究表明日粮中添加苏氨酸可降低鸡的甘氨酸需要量,但关于这一转化机制及其对生长期肉鸡影响的资料较少。此外,也有部分研究表明甘氨酸+丝氨酸与苏氨酸之间存在一定的相互作用。

五、根据体内代谢产物分类

有些氨基酸经转氨作用生成丙酮酸或三羧酸循环的中间产物,通过磷酸烯醇式丙酮酸途径生成葡萄糖,称为生糖氨基酸;生酮氨基酸是产生乙酰 CoA 及乙酰乙酰 CoA 或乙酰 CoA 的衍生物,乙酰 CoA 及乙酰乙酰 CoA 是酮体的前体。亮氨酸和赖氨酸是生酮氨基酸,缬氨酸产生琥珀酸单酰 CoA,异亮氨酸产生乙酰 CoA 及琥珀酸单酰 CoA 分别纳入生

糖或生酮的代谢。生糖氨基酸与生酮氨基酸分类见表 1-2。

表 1-2 生糖氨基酸与生酮氨基酸

生糖氨基酸	生酮氨基酸	生糖兼生酮氨基酸
苏氨酸 Thr	亮氨酸 Leu	异亮氨酸 Ile
精氨酸 Arg	赖氨酸 Lys	色氨酸 Trp
蛋氨酸 Met		酪氨酸 Tyr
缬氨酸 Val		
组氨酸 His		
胱氨酸 Cys		
谷氨酸 Glu		
谷氨酰胺 Gln		
天冬氨酸 Asp		
天冬酰胺 Asn		
甘氨酸 Gly		
丝氨酸 Ser		
脯氨酸 Pro		
丙氨酸 Ala		

六、氨基酸结构类似物

非蛋白氨基酸不仅是自然存在的天然产物，还具有独特的生物学功能和药用价值。在豆科植物种子、叶子中存在许多非蛋白氨基酸，据资料表明，至今已发现 450 种以上非蛋白氨基酸，其中有药用价值的约 100 种。如环丝氨酸有抗结核作用，昆布氨酸有降压作用，茶氨酸有利于防治肝昏迷、记忆障碍和智力减退。这类特殊结构氨基酸的需求越来越大，现有的氨基酸品种已经远远不能满足需求，非天然氨基酸的合成可以缓解这一矛盾，所以它已成为一个非常活跃的研究领域。植物中含有的对动物有潜在副作用的非蛋白氨基酸见表 1-3。

表 1-3 植物中氨基酸类似物

精氨酸类似物	芳香族氨基酸类似物	含硫氨基酸类似物	神经递质
刀豆氨酸	含羞草氨酸	硒代蛋氨酸	β -N-草酰胺丙氨酸
α -氨基- ϵ -胍基己酸	二羟(基)苯丙氨酸	硒代胱氨酸	β -丙氨酸
高精氨酸	(左旋多巴)	S-甲基半胱氨酸亚砷(SMCS)	α,γ -二氨基丁酸

牛磺酸是一种游离的非蛋白氨基酸，不参加蛋白质的合成。药理实验表明，牛磺酸具有利胆、保肝、解毒作用；有镇静、消炎、解热、镇痛、抗惊厥、抗风湿、抗病毒作用；有利于脂质、磷脂代谢，增加脂溶性维生素、激素的吸收；有强心和兴奋呼吸作用。临床用于治疗感冒、发烧、疼痛、神经痛、扁桃体炎、支气管炎、风湿性关节炎及药物中毒等；滴眼剂用于治疗急性结膜炎、疱疹性结膜炎、病毒性结膜炎等。牛磺酸不仅是一个良好的治疗药物，尤其重要的是对婴幼儿大脑发育、神经传导、视觉功能及钙质的吸收等都有良好的保健作用，是婴幼儿保健食品的重要添加剂。目前，在美国、日本等国家，99%的牛磺酸用作食品添加剂。国内 20 世纪 80 年代开始研制并投入批量生产，因此，开发用于特殊营养食品的添加剂具有广阔的发展前景。

左旋多巴是生物体内一种重要的生物活性物质。左旋多巴是治疗常见老年病——帕金森

森病的主要药物。临床上还用来治疗腿多动综合征、肝昏迷、CO中毒、锰中毒、精神病、心力衰竭、溃疡病、脱毛症，调节人的性功能等。此外，还发现它有抗衰老的神奇功效。随着我国人口老龄化速度的加快，对左旋多巴的需求将迅速增加。目前，国内市场上的左旋多巴来源绝大部分依靠进口，国内虽有多家制药厂生产左旋多巴及其制剂，但都是从植物中提取的。如何能使微生物合成左旋多巴在国内投入工业化生产是一个亟待解决的问题。

γ -氨基丁酸（GABA）又名氨酪酸，是一种在动植物体内起神经镇定作用的非蛋白质氨基酸。分布在哺乳动物脑、肾脏、肝脏和血管等器官和组织中，主要是由谷氨酸在谷氨酸脱羧酶的催化下脱羧生成的，继而在 γ -氨基丁酸转氨酶作用下生成琥珀酸半醛进入三羧酸循环。GABA 为动物中枢神经系统抑制性神经递质，可抑制脑干中呼吸中枢的整合作用，降低动物的呼吸频率。具有突触后抑制作用，可通过突触后膜超极化、减少离子内流、降低细胞代谢及氧消耗等机制，使突触后神经元处于保护性抑制状态，并可通过突触前抑制减少谷氨酸的释放，从而减少灌注区神经元的死亡。GABA 是一种中枢神经镇静剂，GABA 具有安定、抗惊厥、降血压、增进脑活力、营养神经细胞、促进生长激素分泌以及保肝利肾等作用（茅原等，2001），目前在医药和食品工业中有着广泛的应用。

七、氨基酸的异构体

植物蛋白质氨基酸是以 L-异构体存在，所以一般饲料中蛋白质氨基酸也是以 L-异构体存在。但氨基酸的 D-异构体也普遍存在于自然界中，如细菌细胞壁中的部分氨基酸以及一些抗生素中的氨基酸。饲料、食品中的 L 型氨基酸可以在加工过程中由于高温和高压等作用致使 L 型氨基酸异构化而产生相应 D-异构体，发酵类产品也可因为微生物（特别是细菌）的作用导致氨基酸异构化产生 D 型氨基酸。氨基酸的异构化可以降低饲料中蛋白质的营养价值，影响其产品的质量。动物对氨基酸异构体和结构类似物利用率见表 1-4。

表 1-4 动物对氨基酸异构体和结构类似物的利用率

（生长效应，L-异构体利用率为 100%）

%

氨基酸	鸡	大鼠	小鼠	狗	猪
D-赖氨酸	0	0	0	—	—
D-苏氨酸	0	0	0	—	—
D-色氨酸	20	100	30	35	35
D-蛋氨酸	90	90	75	100	100
DL-蛋氨酸	95	95	88	100	100
DL-OH-蛋氨酸	80	—	70	—	100
酮基-蛋氨酸	90	—	—	—	—
N-乙酰基-L-蛋氨酸	100	100	90	100	—
D-精氨酸	0	0	—	—	—
D-组氨酸	10	0	10	—	—
D-亮氨酸	100	50	15	—	—
D-缬氨酸	70	15	5	—	—
D-异亮氨酸	0	—	—	—	—
D-苯丙氨酸	75	70	—	—	—
L-OH-苯丙氨酸	70	50	—	—	—
酮基-苯丙氨酸	85	65	—	—	—
D-酪氨酸	100	100	—	—	—

注：引自 Baker, 1994。

具有光学活性的氨基酸需求日益增长。通常饲料中的存在形式是外消旋混合物 (racemic mixture)。目前, 动物对 D 型氨基酸的利用可通过两步进行, 首先 D 型氨基酸氧化去氨基, 生成 α -酮酸或其类似物, 然后通过转氨酶进行 L 型特异性氨基化。体组织中没有赖氨酸和苏氨酸的转氨酶, 所以 D-赖氨酸和 D-苏氨酸无营养活性。L-蛋氨酸释放活性甲基, 促进胆碱合成, 可防止脂肪在肝中的蓄积。不同异构体的利用具有种属差异性, 小鼠利用 D-蛋氨酸和 DL-蛋氨酸的效率较其他动物低, 大鼠和猪利用 D-色氨酸的效率比鸡更有效。

饲料、食品中氨基酸的异构化问题近几年来受到人们的关注。然而, 研究者对饲料和食品中氨基酸的异构化作用了解甚少, 尚需进一步研究。氨基酸异构化主要影响因素有温度和压力, 在饲料和食品加工过程中, 除高温和高压可导致蛋白质氨基酸异构化之外, 其他加工过程也可能对蛋白质氨基酸异构化或氨基酸的特性产生某些影响。考虑到蛋白质的营养价值问题, 加工生产中蛋白质氨基酸的异构化作用也不可忽视。

第二节 氨基酸的功能

蛋白质和氨基酸是生产奶、蛋、毛、肉的物质基础, 蛋白质饲料是畜禽养殖业中不可缺少的营养源, 蛋白质营养的实质是氨基酸的营养, 也是动物营养和饲料工业领域主要的研究对象。对畜禽而言, 蛋白质的质量取决于其中所含必需氨基酸的数量、平衡状况以及必需氨基酸与非必需氨基酸之间的比例。其中必需氨基酸的缺乏势必会对蛋白质利用率产生限制作用, 限制性必需氨基酸及其组成模式是决定动物体内含氮物质利用率的主要因素。氨基酸作为独立单元有多方面的功能。

一、氨基酸的营养功能

(一) 合成蛋白质

蛋白质是组成机体结构物质 (细胞)、体内代谢活性物质 (激素、酶、免疫抗体) 的主要成分, 是组织更新、修补的原料。蛋白质占动物机体固形物总量的 50% 左右, 肌肉、肝脏、脾脏、肾脏等器官的蛋白质含量可高达 80% 以上。氨基酸是构成蛋白质的基本物质, 每种氨基酸分子至少都含有一个 $-\text{NH}_2$ 和一个 $-\text{COOH}$ (这个碳原子还连有一个氢原子和一个侧链基团, 这个侧链基团用 R 表示)。氨基酸的 R 基团不同决定了氨基酸种类的不同, 生物体中组成蛋白质的氨基酸种类约有 20 种, 但是由氨基酸构成的蛋白质却是多种多样的, 氨基酸形成多种多样且分子量如此巨大的蛋白质是通过肽键将多个氨基酸分子缩合而成多肽, 肽链盘曲折叠, 形成具有一定空间结构的蛋白质, 有些蛋白质是由一条肽链盘曲折叠形成的, 如肌红蛋白。有些蛋白质是由两条肽链盘曲折叠形成的, 如牛胰岛素。有些蛋白质是由四条肽链盘曲折叠形成的, 如血红蛋白。两条或两条以上肽链形成蛋白质时还需要一定的化学键互相连接。二级结构是指多肽链借助于氢键沿一维方向排列成具有周期性的结构的构象, 是多肽链局部的空间结构 (构象), 主要有 α -螺旋、 β -折叠、

6 动物氨基酸营养与饲料