



现代生物农业·动物科学

DESIGN OF
FEED FORMULA FOR LAYERS

蛋鸡饲料配方设计

王继华 刘 伯 张伟峰/著



 科学出版社

S831.5
13

蛋鸡饲料配方设计

王继华 刘 伯 张伟峰 著



科学出版社

内 容 简 介

本书详细介绍了蛋鸡饲料配方设计技术和方法技巧,这些配方设计技术和方法技巧多是作者在科研或生产中实际使用过的。本书给出了大量实用饲料配方,供同行研究和模仿;本书还系统介绍了天气炎热时的夏季设计蛋鸡饲料配方的技术和通过饲料调控鸡蛋的质量等,供同行参考。

本书适合于蛋鸡营养与饲料专业科技工作者、饲料配方师、相应专业高年级大学生阅读,对于相关专业的年轻教师也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

蛋鸡饲料配方设计 / 王继华, 刘伯, 张伟峰著. —北京: 科学出版社, 2015.7

ISBN 978-7-03-044690-9

I. ①蛋… II. ①王… ②刘… ③张… III. ①卵用鸡-饲料-配方 IV. ①S831.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第124245号

责任编辑: 王 静 李 迪 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年7月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2015年7月第一次印刷 印张: 15 3/4

字数: 308 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

我国是蛋鸡养殖大国，商品代蛋鸡占世界存栏量的40%~45%，鸡蛋的年产量约有2000万t。在养鸡生产中，饲料投入占总生产成本的70%左右，所以提高养鸡经济效益的关键是使用物美价廉的配合饲料。目前专业化、工厂化生产的配合饲料，其技术含量高低主要取决于饲料配方，这是生产配合饲料的核心技术。由于行业竞争和科技进步，对配方师的技术要求越来越高。要从多种原料、多项指标、多个配方，设计出“营养全、消化率高、适口性好、体积适当、成本低、效益高”的最佳饲料配方，不仅需要营养学和饲料学知识，而且需要懂得饲料加工技术。

我曾在 2005 年出版过《鸡饲料配方设计技术》一书，十余年来，此书 3 次印刷，说明业界同行需要这类书籍。但十几年来，鸡的饲料营养研究有了很大发展，原书的很多内容都需要充实和修改。目前从事饲料配方设计的同行一般都是本科及以上学历，与十几年前的情况大不一样，仅仅停留在科普水平的内容显然已不能满足行业发展需要，这是促使我们编写此书的又一原因。限于篇幅，本书主要介绍蛋鸡饲料配方设计技术。

在此书完稿之际，对于多年来为本书的修改提出建议和意见的养殖界、饲料界同行表示衷心的感谢。限于作者的知识和技术水平，本书不当之处在所难免，恳望读者不吝赐教。我的电子信箱是hdwangjihua@126.com。

王继华

2015年3月1日

河北工程大学动物科学系

目 录

前言

1 鸡饲料营养基础	1
1.1 鸡的采食行为和采食量.....	1
1.2 鸡对饲料养分的消化吸收.....	4
1.3 动物的消化力与饲料的可消化性.....	6
1.4 肠道健康与免疫营养学.....	7
1.5 日粮电解质平衡.....	8
1.6 鸡的营养代谢性疾病.....	11
2 鸡的营养需要	15
2.1 鸡的能量需要.....	15
2.2 蛋白质的营养需要.....	20
2.3 蛋白能量比.....	24
2.4 氨基酸需要.....	26
2.5 理想蛋白质模型.....	29
2.6 矿物质营养需要.....	32
2.7 微量元素的需要.....	34
2.8 维生素需要.....	34
3 主要饲料原料的特点及使用要点	36
3.1 能量饲料原料.....	36
3.2 动物性蛋白质饲料原料.....	42
3.3 植物性蛋白质饲料原料.....	46
3.4 矿物质饲料原料.....	50
3.5 常见饲料原料在鸡配合饲料中的一般用量.....	52
4 饲料原料质量评估	54
4.1 饲料原料质量评估指标及抗营养物质.....	54
4.2 霉菌毒素与饲料原料储存.....	57
4.3 饲料养分值的变异及估计.....	61
4.4 饲料原料生物学效率的评估.....	64
4.5 相对生物学效价评估原理——斜率比法与平行线法.....	66
4.6 生物学效价评估结果的变异.....	67
5 饲料添加剂	69

5.1	微量元素添加剂	69
5.2	有机微量元素	76
5.3	维生素添加剂	80
5.4	氨基酸添加剂	87
5.5	非营养性添加剂	92
6	饲料配方设计原理与方法	99
6.1	饲料配方设计的原则与基本程序	99
6.2	饲料配方的线性规划模型	104
6.3	影子价格在饲料配方设计上的应用	111
6.4	灵敏度分析	114
6.5	原料的变异与饲料配方的精度	115
6.6	饲料配方设计关键技术	120
7	蛋鸡生长期饲料配方设计	127
7.1	蛋鸡生长发育阶段的划分	127
7.2	蛋鸡生长期的营养需要量	131
7.3	蛋鸡生长期饲料配方的设计	140
7.4	鸡的骨骼发育	142
7.5	预产期蛋鸡饲料配方设计	145
7.6	蛋鸡生长期饲料配方实例	147
8	产蛋鸡饲料配方设计	151
8.1	我国蛋鸡的生产性能	151
8.2	蛋鸡的饲养标准	153
8.3	开产后蛋鸡饲料配方设计	160
8.4	产蛋高峰鸡饲料配方设计	162
8.5	产蛋后期蛋鸡饲料配方设计	164
8.6	产蛋鸡掉毛的营养原因	166
9	种鸡饲料配方的设计	169
9.1	种公鸡饲料配方设计	169
9.2	蛋鸡不同季节的生理特点	170
9.3	母鸡日粮对种蛋及雏鸡的影响	170
9.4	种母鸡的饲料配方设计	174
10	夏季饲料配方设计	175
10.1	鸡的夏季营养	175
10.2	夏季鸡日粮的酸碱平衡	182
10.3	抗热应激的添加剂	185
10.4	热应激的饲料调控	188

11 鸡蛋质量的营养调控	196
11.1 蛋的形成与鸡蛋品质	196
11.2 饲料营养对蛋壳品质的影响	198
11.3 蛋壳颜色	206
11.4 饲料对鸡蛋大小的影响	209
11.5 饲料养分对蛋黄颜色的影响	217
11.6 饲料原料对蛋黄颜色的影响	219
参考资料	222
附录 1 蛋鸡饲养标准 (NY/T33—2004)	227
附录 2 ‘海兰白-36’ 蛋鸡的饲养标准	229
附录 3 ‘海兰白-36’ 蛋鸡的饲养标准 (续)	230
附录 4 ‘海兰褐’ 蛋鸡的饲养标准	231
附录 5 ‘海兰褐’ 蛋鸡的饲养标准 (续)	232
附录 6 ‘海兰褐’ 商品蛋鸡的蛋重分布	233
附录 7 饲料厂的饲料原料质量标准	234

动物为维持生命及生长发育、繁殖和生产需要，每天必须采食一定数量的饲料。饲料中含有动物需要的各种养分，包括蛋白质、碳水化合物、粗脂肪、矿物质、维生素和水等。要提高动物生产和饲料转化效率，必须了解饲料养分对动物生存、繁衍和生产所起的作用。

目前蛋鸡一般是规模化饲养，所用饲料为配合饲料。配合饲料的质量主要取决于饲料原料、饲料配方和饲料加工。

饲料配方是否能达到设计目标的关键在于：对动物营养需要量的认识是否准确；对饲料原料的有效养分含量或生物学效价掌握的准确程度；对配合饲料加工储藏过程中养分损失的准确预测。所以这些研究是营养学、饲料学和配方师的首要目标。

1 鸡饲料营养基础

从人类认知的角度来看，人类对动物所需养分和饲料所含养分的认识过程是由粗到细、由简到繁。从动物本身来看，随着动物种类、性别、年龄、生理状态和生产性能的不同，其所需养分的种类和数量也有变化。

1.1 鸡的采食行为和采食量

1) 鸡对食物的选择有先天和后天两个原因。虽然鸡味蕾较少，嗅觉不够发达，但是鸡还是能够根据色彩、味道或风味区别不同来源的饲料，特别是在可以选择食物时。鸡鉴别有营养的和有害的饲料不是从父母那里学来的，这不同于哺乳动物，现在集约化饲养的鸡不是父母带大的。

鸟类在很大程度上是根据视觉或饲料的外观来选择各种饲料或食物；拒绝或接受某一饲料是根据其颜色和外观。据报道，鸡最喜欢浅黄色玉米 (yellow-white maize)，其次是黄色玉米、橙色玉米，最后是橙红色玉米，鸟类只有很饿时才会采食红色、红蓝色和蓝色种子，很少采食黑色和绿色饲料。这与作者的经验不符，作者散养的鸡自己大量采食生长期的绿色牧草，如苜蓿，并且鸡的食欲很好，正如一些研究表明的，雏鸡偏爱与出壳后饲喂的饲料颜色相同的饲料。颜色可使鸟类避免采食产生疾病的饲料，所以饲料的颜色很重要。

据报道，鸟类拥有敏锐的味觉，可以根据甜、咸、酸和涩区别饲料，已经证明酸败和腐败可以减少鸟类对饲料的采食量。不同物种的家禽有不同的味觉歧视

(taste discrimination), 这好像是遗传差异。蔗糖溶液似乎是鸡偏爱的唯一糖类, 这个偏好可用来防止鸡被饿死, 这在雏鸡或鸡群疾病暴发时很有用。现有证据表明, 大多数风味剂添加到家禽饲料中并不刺激饲料摄入量。

嗅觉对于鸟类来说可能不如哺乳动物重要, 鸟类缺乏嗅探(sniffing)行为。参与控制采食量的因素有温度、黏度、唾液产量、水的渗透压、饲料的营养成分和饲料的毒性。

已证明鸟类具有一定程度的“营养智慧”(nutritional wisdom)或“特定的胃口”(specific appetites), 营养不良的饲料采食量较小。产蛋鸡有根据日粮能量水平调节采食量的能力, 因此, 根据饲料的能量水平调节其他营养物质的浓度非常重要。现代肉鸡似乎已失去了根据饲料能量水平调节采食量的能力, 另外, 肉鸡似乎有能力选择饲料蛋白质以均衡采食, 如果能自由选择饲料的话。

据报道, 小麦和向日葵种子、大米、煮熟的土豆、马铃薯薄片和鲜鱼对鸡的适口性很好; 燕麦、黑麦、稻谷、荞麦、大麦的适口性不好, 除非经过培训; 亚麻籽粕鸡似乎很不喜欢吃。

2) 鸡的采食量由能量需要量决定, 这是设计饲料配方的基础, 也是考察竞争企业蛋鸡饲料档次的重要考虑因素。鸡的采食量取决于鸡群品种和遗传性能、饲料营养浓度和能量水平、鸡的年龄和体重、环境温度和空气流速、饲养管理方案和鸡舍设备等。

采食量受遗传影响, 白壳蛋鸡的采食量小于褐壳蛋鸡。近年鸡的生产性能不断提高, 但采食量下降了。褐壳蛋鸡育种公司推荐的标准主要差别在于钙的需要量不同。同是褐壳蛋鸡, 其采食量也有差别, 例如, 褐壳蛋鸡 18 周龄体重在 1475~1580g, 耗料量在 6.3~6.8kg 内变异; 白壳蛋鸡的采食量也有差异。不同育种公司发布的饲料采食量见表 1-1、表 1-2 和表 1-3, 可供参考。

表 1-1 蛋鸡生长期的采食量 (单位: g)

周龄	海兰褐		罗曼褐		伊沙褐		海塞克斯褐	
	体重	耗料	体重	耗料	体重	耗料	体重	耗料
1	70	13	75	11	65	11	60	10
2	115	20	130	17	120	17	120	21
3	190	25	195	22	200	25	200	26
4	290	29	275	28	285	32	280	31
5	380	33	367	35	380	37	360	35
6	480	37	475	41	470	42	440	39
7	590	41	563	47	560	46	520	43
8	690	46	685	51	650	50	600	46
9	790	51	782	55	740	53	680	49

续表

周龄	海兰褐		罗曼褐		伊沙褐		海塞克斯褐	
	体重	耗料	体重	耗料	体重	耗料	体重	耗料
10	890	56	874	58	830	57	760	52
11	990	61	961	60	920	61	850	54
12	1080	66	1043	64	1010	64	940	56
13	1160	70	1123	65	1100	67	1030	59
14	1250	73	1197	68	1185	70	1120	62
15	1340	75	1264	70	1270	72	1210	66
16	1410	77	1330	71	1355	75	1305	71
17	1480	79	1400	72	1440	78	1400	77
累计耗料		5775	—	5845	—	5999	—	5579

表 1-2 白壳蛋鸡的采食量 (单位: g)

发育阶段	谢弗 1 (Shaver1)	海蓝 36 (Hyline 36)	海蓝 98 (Hyline 98)	罗曼 (Lohmann)	宝万 (Bovan)
雏鸡	1099	1085	1141	350	931
生长期	2072	621	665	1258	1239
育成期	2702	2645	3241	3327	2023
预产期		860	980	1048	924
产蛋期		448			476
18 周龄前合计	5873	5659	6027	5983	5593

注: 日粮能量浓度会影响采食量

表 1-3 褐壳蛋鸡的采食量 (单位: g)

发育阶段	谢弗 (Shaver)	伊沙 (ISA)	海蓝 (Hyline)	罗曼 (Lohmann)	宝万 (Bovan)
雏鸡	600	840	1099		1148
生长期	2100	1694	966	1764	1351
育成期	3000	2758	3346	3577	2170
预产期	588	525	1163	1029	1015
产蛋期	600	480			539
18 周龄前合计	6888	6297	6574	6370	6223

注: 日粮能量浓度会影响采食量

影响采食量的物理因素是饲料颗粒的粒径。已经证明, 肉仔鸡根据饲料颗粒大小选择饲料, 采食量最大的是 1.18~2.36mm 的颗粒。年龄大的鸡偏好颗粒大于 2.36mm 的饲料。

社会互动也影响鸡的采食量，已经证明单饲的鸡采食量小于群饲的鸡。

低温环境中提高日粮能量浓度有助于提高青年鸡 126 日龄体重，高温环境降低采食量，提高日粮能量浓度未必有效(表 1-4)。

表 1-4 温度对蛋鸡 18 周龄前生长和采食量的影响

温度及日糖能量浓度	126 天体重/g	饲料采食量/kg	代谢能采食量/Mcal ^①	蛋白质采食量/g
温度 18℃				
2.5Mcal ME/kg	1398	7.99	20.04	1330
3.0Mcal ME/kg	1434	6.98	21.07	1160
温度 30℃				
2.5Mcal ME/kg	1266	6.05	15.17	1010
3.0Mcal ME/kg	1218	5.19	15.69	870

① 1Mcal=1000000cal, 1cal= 4.184J; ME, 代谢能

数据来源: Leeson and Summers, 2008

1.2 鸡对饲料养分的消化吸收

饲料的消化(digestion)是为吸收(absorption)所做的准备，即通过机械的、化学的和微生物的途径降低饲料颗粒大小，同时也改变了饲料颗粒的溶解度(solubility)。鸡的消化道与其他非反刍物种如猪或人不同(图 1-1)。

(1) 鸡对饲料的消化

饲料中养分在被动物利用前必须经消化过程。禽类没有牙齿，靠喙采食饲料，

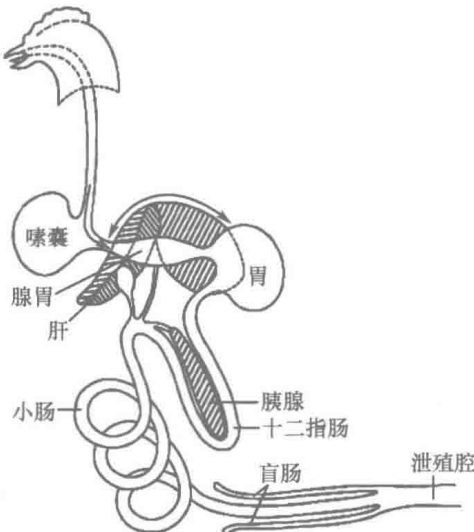


图 1-1 鸡的消化系统(Henry et al., 1933)

尖喙便于采食谷物种子，喙也能撕碎大块食物。饲料与口腔内的唾液混合，吞入食管膨大部——嗉囊中储存并将饲料湿润和软化，再进入腺胃。食物在腺胃停留时间很短，消化作用不强。禽类的肌胃壁肌肉丰厚，可对饲料进行机械性磨碎，肌胃内的砂粒更有助于饲料的磨碎和消化。禽类肠道较短，饲料在肠道中停留时间不长，所以酶的消化和微生物的发酵消化都比猪弱。未消化的食物残渣和尿液通过泄殖腔排出。

在消化过程中，大分子物质如蛋白质、脂肪和碳水化合物，通过化学方法包

括将一分子水加入化学键中被水解成简单成分。水解为消化作用的基本方式，需要借助肠道中各种消化酶的帮助来完成消化活动。

鸡消化饲料的主要部位是小肠。淀粉消化起自口腔，而后为嗉囊，在小肠完成消化作用，淀粉消化的终产物葡萄糖在小肠吸收；二糖、麦芽糖和蔗糖在小肠中消化成单糖。脂肪也在小肠中消化，但脂肪的消化需要由肝脏产生而储存在胆囊的胆盐存在才能进行，当食物进入肠道时就刺激胆囊释放胆汁。胰脂肪酶能将甘油三酯消化成脂肪酸和甘油单酯，再与胆盐交互作用形成微小分子(微胶粒)，从而将脂肪消化产物溶解以便吸收。蛋白质消化所需的酶较其他养分需要的多，因为水解蛋白质分子中的每一种特殊键都需要一种特殊的酶来作用，所有消化蛋白质的酶的作用，首先是将蛋白质分子分解成称为肽的小分子，然后分解成氨基酸，被动物吸收。含有 2~6 个氨基酸的寡肽常称为小肽，也能被动物小肠直接吸收，目前已知这种吸收方式具有重要的生物学价值。维生素和矿物质一般不需要消化，虽然维生素中有些化学键在饲料消化过程中被解散。消化产物在小肠吸收，是经由特殊转运系统自肠细胞膜穿过，将消化后的养分快速而完全吸收。

大肠内容物的移动较慢，没有消化酶加入。纤维素和未消化的物质在盲肠会发生一些微生物分解，但是消化作用有限。对纤维素的消化程度可能会随着鸡年龄的增加和饮食习性的不同而不同，因此，纤维饲料如苜蓿，对于鸡来说只有相对较低的饲料价值。剩余的可溶于水的营养物质在结肠被吸收。大肠内某些水溶性维生素和蛋白质合成的价值是可疑的，因为这部分肠道的吸收有限。大肠从肠内容物吸收很多的水，剩余的未消化的残渣形成粪便，然后与尿液混合通过泄殖腔排出。

(2) 细菌的消化作用

食物通过鸡的消化系统十分迅速，而微生物消化作用只发生在盲肠，盲肠内有许多细菌能消化纤维素、其他复杂碳水化合物和食物，但进入盲肠而进行消化作用的食物数量很少，仅为全部消耗食物量的小部分，对家禽来说盲肠中的消化作用不太重要。

(3) 消化后营养物质的吸收

饲料中营养物质在动物消化道内经物理的、化学的或微生物的消化后，再经消化道上皮细胞进入血液或淋巴的过程称为吸收。动物营养学上把消化吸收了的营养物质视为可消化营养物质。各种动物口腔和食道内均不吸收营养物质，非反刍动物的胃可吸收少量葡萄糖、小肽和水。各种动物吸收营养物质的主要场所为小肠，鸡吸收消化产物——单糖、氨基酸和脂肪酸的主要部位为小肠后段的空肠和回肠；反刍动物不同于非反刍动物的是，其瘤胃可吸收氨和挥发性脂肪酸，其余 3 个胃主要是吸收水和无机盐。高等动物可消化营养物质的吸收机制有胞饮吸

收、被动吸收和主动吸收 3 种方式，主动吸收形式是高等动物吸收营养物质的主要方式。

在大多数禽类物种，整个消化过程需要 2.5~25h，与消化道的充满程度有关，或者说与饲料采食量有关。

1.3 动物的消化力与饲料的可消化性

饲料原料中的养分不是全都能被消化吸收的。为了测定有多少养分可被家禽利用，应进行消化率研究。虽然有多种试验方法可用来量化饲料的代谢能含量，但都属于平衡试验的类型，即测定所消耗的能量和粪、尿中含有的能量。

饲料 (feedstuff) 被动物消化的性质或程度称为饲料的可消化性；动物消化饲料中营养物质的能力称为动物的消化力。饲料的可消化性和动物的消化力是营养物质消化过程不可分割的两个方面。消化率 (the digestibility coefficient) 是衡量饲料养分的可消化性和动物消化力这两个方面的统一指标，是通过消化试验 (digestibility experiment) 测定的，一般定义为饲料中消化吸收的养分占食入饲料养分的百分率，用来衡量饲料的有效性。

有许多因素可影响饲料养分的消化率，大致有动物 (包括动物的遗传性能、性别、年龄、生理状态)、饲料 (包括饲料种类、化学成分、饲料中的抗营养物质和饲料加工等) 和饲养管理 (包括动物环境、饲养水平等) 3 个方面。同一饲料对不同遗传型或不同生理阶段的动物有不同的消化率；同一遗传型同一生理阶段的动物对不同饲料的消化率不同；同一遗传型同一生理状态的动物对同一饲料不同养分的消化率也不同，这是非常重要的、有实用价值的营养参数。

研究人员测量饲料中的养分量 and 粪便中的养分量 (测量回肠中的养分量更准确)，两者之间的差别通常表示为百分比或相对数 1 (1 代表完全消化)，是指养分被动物消化吸收的比例。目前各种饲料都有自己的一套独特的饲料消化率。也可以测定一种养分或者一个完整饲料原料的消化率。鸟类消化率测定比猪更复杂，因为其粪便和尿液是通过泄殖腔一起排出的。所以，有必要将粪便和尿液分开，通常是通过外科手术在鸡的结肠安装一个瘻袋 (colostomy bag) 来收集粪便。用该方法测量的消化率称为表观消化率 (apparent digestibility)，因为粪便和回肠食糜含有肠道和相关器官分泌到肠道内的黏液性物质，也含有因为食糜通过而磨损脱落到肠道内的肠壁细胞，测定并校正了这些内源性损失 (endogenous losses) 后就是真消化率 (true digestibility)。一般饲料数据库中列出的消化率是表观消化率，除非另有说明。

设计饲料配方时应当注意：饲料中蛋白质的表观消化率小于真消化率，因为计算表观消化率时把来源于消化道的代谢蛋白质、消化酶和肠道微生物等都视为

未消化的饲料蛋白质，造成粪中排出的蛋白质的计算量与真实情况不符；饲料脂肪含量少，测定表观消化率易受代谢来源的脂肪和分析误差的影响，测定值有波动；饲料矿物质的消化率，更易受消化道来源的代谢矿物质循环利用的影响，所以矿物质应采用真实消化率。

有些饲料原料含有干扰饲料消化的物质，如抗营养物质，具体内容参见第2章。

1.4 肠道健康与免疫营养学

肠道健康是动物健康和生产性能的重要决定因素，肠道先天免疫系统对维持肠道健康至关重要。肠道是维持鸡体健康的一个非常重要的器官，直到最近人们才知道肠上皮细胞层不仅仅是一个简单的物理屏障，肠道除了吸收营养，防止不必要的物质和细菌的进入，肠内免疫系统在细胞免疫上还有重要作用。上皮细胞(enterocyte)和免疫细胞(immunocompetent cell)都是先天免疫系统的一部分，肠上皮细胞和肠道菌群的互作也扮演着重要角色。更重要的是，相对于全身免疫系统，肠道免疫系统是较大的黏膜免疫系统。

鸡在采食后，饲料会导致肠道发生“采食后的(小)肠低度炎症反应”(postprandial low-grade inflammation response)，它是身体的正常生理反应，反应强弱与饲料的能值、血糖指数(glycemic index, GI)和特定饲料组分(如脂肪酸)有关，如果不能严格控制炎症，就会对肠道本身造成极大破坏。血糖指数译作血糖生成指数可能更贴切，是指血液中的葡萄糖浓度增加速度与摄取食物中的碳水化合物的关系。高血糖指数的个体溶解碳水化合物较快，低血糖指数的个体溶解碳水化合物较慢。

在肠道发生采食后炎症时，肠上皮细胞、树突状细胞和巨噬细胞参与消除炎症反应(Wells et al., 2011)。此外，许多神经末梢的存在表明中枢神经系统也会参与其中，这从采食后炎症的情况中已经得到确认。因为肠道经常接触外来物质如饲料，所以身体发展出控制炎症和免疫性肠道系统就不足为奇了。鸡体通过神经反射控制抗炎作用，即抗炎反射(the anti-inflammatory reflex)，其中起关键作用的是迷走神经(图1-2)。然而，这种机制时时面临大量危险因素(如高能量饲料)，或者说，动物肠道健康经常面临着危险。一般检测肠道健康状况是不容易的，特别是家禽，因为没有合适的生物标志和检测方法。

过去一般是通过添加抗炎物质如抗菌生长促进剂(the antimicrobial growth promoter, AGP)来消除采食后炎症的。由于限制抗生素使用，需要研究其他材料和方法来对抗采食后炎症。目前可用的非抗生素抗炎剂主要是一些植物提取物。此外，还可以使用一些提高机体抗病力的添加剂，如酶制剂、酸化剂、微生物制剂等。再就是注意饲料原料的质量和配合饲料的营养平衡，尤其是酸碱平衡和离

子平衡。

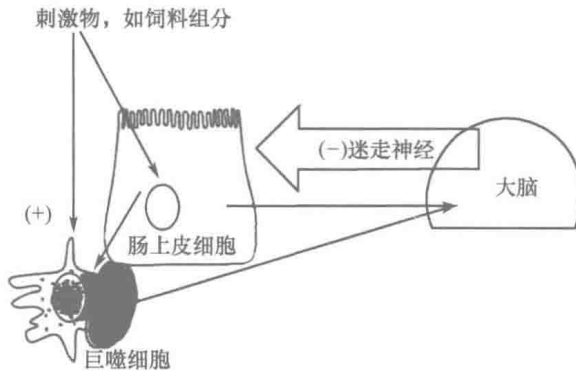


图 1-2 肠道抗炎反射示意图(据 Niewold, 2013 改编)

饲料的组分可以刺激发炎(+), 刺激肠上皮细胞和巨噬细胞, 导致产生促炎性白细胞介素(ILS), 并传达到大脑, 大脑通过迷走神经, 下达(-)调节信号

有关研究已经发展为一门独立的学科——免疫营养学, 国内外已有专著出版, 但是关于鸡的研究报道较少。

1.5 日粮电解质平衡

日粮中矿物质离子及其平衡影响家禽体内的酸碱平衡, 进而影响家禽体内各种酶的活性与正常生理功能, 从而影响家禽生产性能。在充分考虑日粮能量蛋白质平衡、氨基酸平衡(理想蛋白质模式)和钙磷平衡后, 日粮电解质平衡的重要性逐渐受到重视。电解质平衡有助于提高营养物质的利用, 充分发挥家畜生长和生产潜能。

王继华等(2012)曾对日粮电解质平衡的概念、饲料电解质平衡值的计算方法做过详细介绍, 这里不再赘述。

1.5.1 日粮电解质平衡对家禽营养代谢的作用机制

通过长期进化, 动物机体形成了复杂的电解质平衡调节机制, 以维持体内的酸碱平衡、渗透压平衡。电解质平衡通过对体内酸碱平衡的影响而发挥作用, 而酸碱平衡状态又是通过对体内微环境 pH 的影响而改变机体营养代谢的, 同时体内某些酶又以电解质离子钾、钠、钙和镁等作为辅因子, 电解质是酶正常催化活性必不可少的成分。所以, 日粮离子水平及其平衡值的变化可改变体内酸碱状态, 影响动物体内消化酶活性。机体内环境适宜时, 各种酶处于高活性状态, 可提高饲料养分利用率, 提高饲料消化利用率和采食量; 反之, 日粮电解质不平衡, 在一定范围内, 机体可以通过自身调节作用来维持内环境平衡, 但如果超出调节范围, 机体正常平衡状态就会被破坏, 各种酶和激素的活性就会降低, 养分利用率

和采食量则随之下降。

日粮电解质平衡还会影响氨基酸平衡。研究表明, 细胞内高浓度钾离子是核糖体保持蛋白质合成过程所必需的。在日粮中添加高水平钠和钾的可代谢盐或有机酸盐, 能降低精氨酸和赖氨酸间的拮抗作用, 因为在赖氨酸与精氨酸的拮抗作用中, 高赖氨酸影响精氨酸酶活性, 从而使精氨酸分解增加, 而金属阳离子可以提高赖氨酸氧化分解过程中 L-赖氨酸- α -酮戊二酸还原酶的活性, 从而使过量的赖氨酸部分分解, 使赖氨酸与精氨酸比例趋于平衡。

正常生理状态下动物体液中的离子浓度见表 1-5。

表 1-5 动物体液中的离子浓度

动物	离子	浓度/(mEq/L)		
		血浆	红细胞	全血
猪	K ⁺	6	102	46
	Na ⁺	130	14	76
	Cl ⁻	<96	<56	<77
蛋鸡	K ⁺	55	116	45
	Na ⁺	134	18	109
	Cl ⁻	<122	<45	<103

1.5.2 日粮电解质平衡(DCAB)对家禽的影响

有体外产品的动物(如鸡)对 DCAB 最敏感。

1) 电解质平衡对家禽生长的影响。日粮离子平衡状况是影响动物生长性能的主要因素之一。使用天然日粮或纯合日粮进行的试验证实, 一般当日粮(Na⁺+K⁺-Cl⁻)为 250mEq/kg 时, 家禽生长性能最佳。

2) 电解质平衡对产蛋性能的影响。大量研究表明, 饲料电解质平衡会影响血液中阴阳离子比例, 从而影响蛋鸡产蛋性能。据报道, 电解质离子平衡值(DEB)过低(83mmol/kg 和 33mmol/kg)或过高(3193mmol/kg 和 418mmol/kg)都会降低蛋鸡的采食量和产蛋水平; 饲料含氯过多(2.13%)会严重降低鸡采食量和产蛋性能, 不利于蛋壳钙化。也有试验证实, 摄入高钠(0.52%)低氯(<0.12%)饲料时, 鸡采食量减少, 产蛋率下降。有报道, DEB 在 137~245mEq/kg 内, 产蛋性能差异不大。饲料钠为 0.15%, 氯含量为 0.15%~0.60%时, 65~72 周龄蛋鸡的产蛋率、蛋重和饲料报酬差异不明显。一般规律显示, 蛋禽的适宜生产日粮电解质平衡值为 180~300mEq/kg。这说明, 由于产蛋家禽处于成年期, 机体内环境自我调节能力较强, 可以忍受较严重的电解质失衡状态而不影响生产。

3) 电解质平衡对蛋壳质量的影响。日粮电解质平衡是影响蛋壳质量的重要因

素之一。蛋壳形成过程受日粮离子平衡及钙、磷代谢等多种因素的影响，日粮中过量的氯使蛋壳的强度和厚度均显著降低。据报道，在饮水中加入矿物质氯化钠 250mg、氯化钾 40mg，破裂蛋、软壳蛋增加 1 倍，在饮水中加入食盐 200g/L、400g/L、600g/L，破蛋率从 6.5% 增加到 10.4%、14.2% 和 18.9%。据报道，产蛋鸡以蛋壳强度和厚度为指标，钠和氯的最佳比例为 1:0.6。血液 NaHCO_3 的浓度与蛋壳质量呈正相关。在蛋鸡日粮中添加 NaHCO_3 能改善蛋壳质量，主要原因是 NaHCO_3 能导致血液中碱储增高和磷酸根的浓度降低，血磷浓度降低有利于改善蛋壳质量。试验证实，饲料中添加 0.1%~0.5% NaHCO_3 替代食盐，可减少蛋壳损失 1%~2%。此外，日粮电解质平衡值也会明显影响蛋壳质量，DEB 过低 (68mEq/kg) 或过高 (296mEq/kg) 时，蛋壳变薄。当 DEB 在 150mEq/kg 以上时，蛋壳厚度随 DEB 上升而增加。提高饲料钾含量 (由 0.66% 提高到 0.88%)，可改善蛋壳品质。一般蛋鸡在适宜生产的日粮电解质平衡值范围内，都可以保证蛋壳品质。

4) 电解质平衡对家禽腿病的影响。仔鸡胫骨短粗症 (TD) 属于代谢性疾病，多发于快速生长的肉仔公鸡，且病情发展迅速，对其病因研究发现，年龄、性别、遗传和环境及多种营养因素均与胫骨短粗症发病率有关。就营养因素来说，多种矿物质都可以单独或综合影响发病率，离子平衡是重要病因之一。当日粮氯离子过多，而又没有相应的钾、钠离子平衡时，TD 的发病率增高。硫酸根加剧 TD 病情；高氯和高磷的摄取也导致发病率提高；高镁日粮可以降低由高氯和高磷导致的高发病率。有研究表明，饲料钠、钾供给量影响肉鸡 TD 的发生率，而且与饲料钙、氯水平相关；饲料钙、钠或钾含量升高，TD 发生率下降；在饲料钠水平较低时，只有饲料钾和氯含量均高时才有降低 TD 的作用。有报道，当饲料氯含量高 (0.36%) 时，高水平有效磷 (0.65%) 导致肉仔鸡 TD 发生率显著增加。饲料中以氨基酸盐酸盐和氯化钙形式存在的氯化物含量过高，会降低鸡胫骨中灰分含量。有报道，当 DEB 为 200~400mEq/kg 时，最高的 TD 发生率 (>20%) 在 DEB=200mEq/kg 组；而最低的 TD 发生率 (<3%) 在 EB=400mEq/kg 组；有人以等摩尔的硫酸盐取代对照组日粮的碳酸盐，结果试验组 TD 发病率明显升高，比较分析得到的结论是，影响 TD 发病率的不是硫酸根浓度的升高，而是酸碱平衡因素。对于酸碱平衡影响 TD 发病率的机制观点不一，但多数观点是日粮中阴阳离子比例的变化改变了体内酸碱平衡状况，从而影响了 TD 发病率，随 DEB 的上升，TD 的发生率呈下降趋势。

5) 日粮电解质平衡的应用。为保证家禽机体电解质平衡，必须使饲料中最重要的电解质钠、钾、氯的含量充足，比例平衡。可以使用重碳酸盐、碳酸盐、铵盐等氯化钠以外的电解质，这样既可以避免单纯使用氯化钠造成的钠少氯多，又可以保证电解质平衡值达到最佳。具体做法是：首先将饲料中氯的含量用氯化钠补充充足，钠不足的部分再由碳酸氢钠补充；钾可以用碳酸钾、氯化钾形式添加；氯可以用氯化铵或氯化钾形式补充。总之，为充分发挥家禽营养潜力和健康状态，