

丛 书 序

在全球人口持续增长、资源环境约束加剧的背景下，畜牧业作为保障粮食安全和民生福祉的重要支柱产业，正面临着前所未有的转型升级压力。从饲料资源短缺到气候变化对养殖环境的深刻影响，从非洲猪瘟疫情的跨境传播到抗生素滥用引发的耐药性危机，现代畜牧业发展已进入风险与机遇交织的关键阶段。如何突破传统养殖模式的瓶颈，构建安全、高效、可持续的现代畜牧业体系，成为全球农业领域亟待解决的重大命题。

我国作为世界畜牧业生产与消费大国，始终将保障畜禽产品质量安全、促进养殖业绿色发展作为国家战略重点。《“十四五”全国畜牧兽医行业发展规划》围绕保障供给安全、提升生产效率、推进绿色发展和加快智能化转型等方面，提出了一系列重点任务，以推动畜牧兽医行业高质量发展。在此进程中，畜禽营养科学与健康养殖技术的创新突破，既是破解资源环境约束的核心路径，也是防控动物疫病、保障公共卫生安全的重要防线。丛书的编纂恰逢其时，既响应了国家战略需求，也为全球畜牧业可持续发展提供了中国视角与实践方案。

本丛书首次创新性地将“畜牧学”与“兽医学”两大学科深度融合，系统整合了畜禽营养科学、畜禽疫病防治、饲料资源利用及畜禽养殖技术等多个学科方向的内容，聚焦行业研究重点及国际前沿热点，立足于创新性、应用性和引领性，共形成 17 个主题分册，全面呈现了畜牧兽医领域从基础研究到应用实践的系统性知识体系，为畜牧兽医领域的理论与实践提供了全新的视角和方法。同时，丛书通过系统梳理行业关键问题，深入剖析了当前面临的挑战，提出了前瞻性解决方案。

衷心希望本丛书能够成为广大科研工作者、政策制定者和养殖从业者的重要参考用书。同时，期待更多的研究者和实践者积极参与这一领域的探索与实践，共同为构建安全、高效、可持续的现代畜牧业体系贡献智慧与力量。

丛书主编

2024 年 12 月 1 日

目 录

第一篇 猪高效健康养殖

第一章 猪高效健康养殖概述.....	3
第一节 高效健康养殖的概念及意义.....	3
第二节 高效健康养殖的发展历程.....	5
第二章 猪饲料原料营养价值评定的主要技术.....	7
第一节 饲料原料营养价值评定的主要影响因素.....	7
第二节 饲料原料营养价值评定方法.....	9
第三节 饲料能量营养价值评定方法.....	17
第四节 饲料蛋白质营养价值评定方法.....	20
第五节 饲料矿物质营养价值评定方法.....	26
第六节 非常规饲料原料营养价值评定技术.....	32
参考文献.....	35
第三章 猪常见营养代谢病及营养调控.....	37
第一节 营养素摄入不足/过剩及改善.....	37
第二节 胃肠道消化吸收不良及缓解.....	43
第三节 抗营养物质及消除方法.....	48
第四节 不同阶段猪营养需求差异及平衡.....	53
参考文献.....	56
第四章 饲料替代抗生素促生长剂在猪高效健康养殖中的应用.....	61
第一节 概述.....	61
第二节 植物提取物.....	63
第三节 微生态制剂.....	65
第四节 矿物质.....	67
第五节 维生素.....	71
第六节 其他.....	78
参考文献.....	83
第五章 生猪养殖与环境保护.....	92
第一节 概述.....	92
第二节 生猪养殖造成的环境污染.....	92
第三节 生猪系统环境排放研究方法.....	96

第四节 低蛋白日粮与氮减排.....	104
第五节 生猪磷排放的缓解措施.....	106
第六节 其他矿物质元素的高效利用与减排.....	107
参考文献	108
第六章 猪精准养殖技术案例.....	111
第一节 饲料资源开发与高效利用技术.....	111
第二节 提质增效精准饲养技术.....	117
第三节 智能化管理技术.....	123
参考文献	126

第二篇 蛋鸡高效健康养殖

第七章 蛋鸡高效健康养殖的现状和意义.....	133
第一节 蛋鸡高效健康养殖的现状.....	133
第二节 蛋鸡高效健康养殖的意义.....	137
参考文献	140
第八章 蛋鸡精准营养需要.....	141
第一节 不同品种蛋鸡的营养需要差异.....	141
第二节 蛋鸡育雏期精准营养需要.....	144
第三节 蛋鸡育成期精准营养需要.....	146
第四节 蛋鸡预产期精准营养需要.....	147
第五节 蛋鸡产蛋高峰期精准营养需要.....	149
第六节 蛋鸡产蛋后期精准营养需要.....	153
第七节 蛋鸡延养期精准营养需要.....	158
第八节 蛋鸡强制换羽期精准营养需要.....	159
参考文献	162
第九章 蛋鸡主要饲料原料营养价值评定技术.....	169
第一节 概述	169
第二节 影响蛋鸡饲料营养价值的主要因素.....	171
第三节 饲料能量营养价值评定技术.....	175
第四节 饲料蛋白质营养价值评定技术.....	180
第五节 饲料矿物质元素营养价值评定技术.....	183
第六节 非常规饲料原料营养价值评定技术.....	188
参考文献	193
第十章 饲料添加剂在蛋鸡高效健康养殖中的应用.....	196
第一节 合成氨基酸.....	196

第二节 维生素	198
第三节 矿物质元素	202
第四节 酶制剂	206
第五节 微生态制剂	210
第六节 功能性碳水化合物	212
第七节 酸化剂	215
第八节 中草药、植物提取物	217
第九节 霉菌毒素降解剂	220
第十节 其他新型饲料添加剂	223
参考文献	224
第十一章 蛋鸡常见营养代谢病及营养调控	228
第一节 黑舌病	228
第二节 肌胃腺胃炎	229
第三节 肠道健康问题	232
第四节 脂肪肝	235
第五节 输卵管炎	237
第六节 卵巢发育问题	239
第七节 腿病	242
第八节 霉菌毒素中毒病	244
参考文献	246
第十二章 影响蛋品质的因素及其营养调控	249
第一节 现代蛋鸡生产对蛋品质的需求	249
第二节 蛋壳质量常见问题及其营养调控	253
第三节 蛋清质量常见问题及其营养调控	256
第四节 蛋黄质量常见问题及其营养调控	258
第五节 高品质鸡蛋生产技术	260
参考文献	262
第十三章 蛋鸡养殖减排及营养调控	265
第一节 低蛋白日粮与氮减排	265
第二节 低磷植酸酶型日粮与磷减排	268
第三节 其他矿物质元素高效利用与减排	271
第四节 低碳养殖与碳减排	275
参考文献	278
第十四章 蛋鸡高效健康养殖技术案例	281
第一节 蛋鸡育雏期高效健康养殖技术案例	281
第二节 蛋鸡育成期高效健康养殖技术案例	285

第三节 蛋鸡预产期高效健康养殖技术案例	287
第四节 蛋鸡产蛋期高效健康养殖技术案例	290

第三篇 肉鸡高效健康养殖

第十五章 肉鸡高效健康养殖现状和意义	303
第一节 我国肉鸡高效健康养殖现状	303
第二节 我国白羽肉鸡高效健康养殖发展趋势	307
第三节 我国黄羽肉鸡高效健康养殖发展趋势	309
第四节 我国小型白羽肉鸡高效健康养殖发展趋势	310
参考文献	312
第十六章 肉鸡精准营养需要	313
第一节 肉鸡精准营养需要评定技术	313
第二节 白羽肉鸡营养需要	318
第三节 黄羽肉鸡营养需要	319
参考文献	320
附录	321
第十七章 肉鸡饲料营养价值评定技术	338
第一节 概述	338
第二节 能量营养价值评定技术	346
第三节 蛋白质营养价值评定技术	352
第四节 矿物质营养价值评定技术	354
参考文献	357
第十八章 饲料添加剂在肉鸡高效健康养殖中的应用	359
第一节 饲用酶制剂	359
第二节 酸化剂	362
第三节 抗氧化剂	364
第四节 低聚糖	365
第五节 植物提取物	366
参考文献	368
第十九章 肉鸡常见营养代谢病及营养调控	370
第一节 腿病	370
第二节 脚垫炎	373
第三节 腹水症	374
第四节 啄癖	377
第五节 猝死症	378

第六节 霉菌毒素中毒.....	379
第七节 饲料氧化酸败.....	382
第八节 球虫病	383
第九节 肉鸡肠炎.....	385
第十节 肉鸡热应激.....	387
参考文献	388
第二十章 肉鸡高效健康养殖饲粮配制技术	392
第一节 肉鸡常用饲料.....	392
第二节 白羽肉鸡高效健康养殖饲粮配制技术.....	403
第三节 黄羽肉鸡高效健康养殖饲粮配制技术.....	405
第四节 小型白羽肉鸡高效健康养殖饲粮配制技术	407
第五节 肉种鸡饲粮配制技术.....	407
参考文献	410
第二十一章 鸡肉质量及饲料营养调控技术	411
第一节 鸡肉品质与饲料营养调控技术.....	411
第二节 鸡肉安全与饲料营养调控技术.....	415
参考文献	417
第二十二章 肉鸡养殖减排及营养调控	419
第一节 减少肉鸡养殖氮排放的营养技术.....	419
第二节 减少肉鸡养殖磷排放的营养技术.....	421
第三节 减少肉鸡养殖微量元素排放的营养技术.....	423
参考文献	426
第二十三章 肉鸡高效健康养殖技术案例	428
第一节 优质肉鸡精准营养需要和饲料营养价值评定	428
第二节 维生素营养改善肉鸡生产性能和健康.....	430
第三节 微量元素营养调控肉鸡肠道健康和减排.....	432
第四节 酶制剂提高肉鸡生产性能和减排.....	433
第五节 肉种鸡营养对种鸡和后代生产性能的调控作用	435
参考文献	436

第四篇 水禽高效健康养殖

第二十四章 水禽高效健康养殖的现状和意义	441
第一节 我国水禽高效健康养殖的现状.....	441
第二节 水禽高效健康养殖的意义.....	446
参考文献	448

第二十五章 水禽精准营养需要	449
第一节 水禽营养需要研究技术与方法.....	449
第二节 水禽精准营养需要量.....	452
参考文献	459
第二十六章 水禽饲料原料营养价值精准评定技术	461
第一节 水禽饲料原料营养价值评定的重要性.....	461
第二节 饲料原料有效能评定技术.....	461
第三节 饲料原料氨基酸评定技术.....	464
第四节 矿物质元素饲料利用率评定技术.....	467
第五节 酶制剂在水禽饲料原料营养价值评定中的作用.....	469
参考文献	470
第二十七章 水禽常见营养代谢病及营养调控	473
第一节 鸭常见营养代谢病及成因.....	473
第二节 鹅常见营养代谢病及成因.....	479
第三节 针对鸭常见营养代谢病的营养调控手段.....	487
第四节 针对鹅常见营养代谢病的营养调控手段.....	491
参考文献	496
第二十八章 饲料添加剂在水禽高效健康养殖技术中的应用	506
第一节 营养性添加剂在水禽高效健康养殖中的应用.....	506
第二节 非营养性添加剂在水禽高效健康养殖中的应用.....	519
参考文献	524
第二十九章 水禽养殖减排及营养调控	535
第一节 水禽养殖存在的环境污染问题.....	535
第二节 减少环境污染的高效健康养殖技术.....	537
第三节 节能减排的营养调控技术.....	539
参考文献	544
第三十章 水禽高效健康养殖技术案例	545
第一节 水禽精准养殖典型案例——发酵床.....	545
第二节 水禽精准养殖典型案例——种养结合.....	550
第三节 水禽精准养殖典型案例——立体笼养.....	554

第五篇 奶牛高效健康养殖

第三十一章 奶牛高效健康养殖的现状和意义	559
第一节 国内外奶业发展现状.....	559
第二节 奶业高质量发展的意义.....	562

第三节	奶牛高效健康养殖在奶业高质量发展中的重要地位	564
参考文献		565
第三十二章	奶牛营养需要与主要饲料原料营养价值评定技术	567
第一节	奶牛营养需要预测	567
第二节	粗饲料营养价值评定技术	572
第三节	精饲料营养价值评定技术	576
第四节	矿物质和维生素营养价值评定技术	578
参考文献		583
第三十三章	奶牛常见营养代谢病及营养调控	585
第一节	瘤胃酸中毒	585
第二节	脂肪肝和酮病	589
第三节	乳脂降低综合征	593
第四节	低钙血症	597
参考文献		602
第三十四章	营养型饲料添加剂的应用	609
第一节	饲用微生物	609
第二节	酶制剂	610
第三节	过瘤胃营养添加剂	614
第四节	有机矿物质	616
第五节	植物提取物	618
参考文献		620
第三十五章	奶牛养殖减排及营养调控	628
第一节	奶牛养殖环境与生态	628
第二节	甲烷减排	630
第三节	氮磷源头减排	635
第四节	粪污循环利用	638
参考文献		642
第三十六章	奶牛高效健康养殖技术案例	646
第一节	粗饲料资源开发与高效利用技术	646
第二节	提质增效精准饲养技术	649
第三节	智能化管理技术	653
参考文献		656

第六篇 肉牛高效健康养殖

第三十七章	肉牛高效健康养殖的现状和意义	659
第一节	概述	659

第二节	肉牛高效健康养殖的现状	659
第三节	肉牛高效健康养殖的意义	665
	参考文献	666
第三十八章	肉牛饲料原料营养价值评定技术	669
第一节	概述	669
第二节	饲料原料能量营养价值评定技术	672
第三节	饲料原料蛋白质营养价值评定技术	677
第四节	饲料原料矿物质元素和维生素营养价值评定技术	681
第五节	非常规饲料原料营养价值评定技术	683
	参考文献	685
第三十九章	肉牛常见营养代谢病及营养调控技术	688
第一节	瘤胃酸中毒	688
第二节	肝脓肿	691
第三节	瘤胃胀气	695
第四节	尿结石	699
	参考文献	704
第四十章	促生长剂在肉牛养殖中的应用	706
第一节	植物源性促生长剂	706
第二节	动物源性促生长剂	709
第三节	矿物质源性促生长剂	711
第四节	微生物源性促生长剂	714
	参考文献	718
第四十一章	牛肉品质调控	721
第一节	牛肉品质关键指标及牛肉等级评定	721
第二节	营养因素对牛肉品质的调控	724
第三节	影响牛肉品质的其他因素	730
	参考文献	731
第四十二章	肉牛养殖减排及营养调控	734
第一节	肉牛甲烷排放机理及营养策略减排	734
第二节	肉牛氧化亚氮生成机理和营养调控	743
	参考文献	748
第四十三章	肉牛高效健康养殖技术案例	752
第一节	繁育母牛扩群增量技术	752
第二节	犊牛培育技术	758
第三节	肉牛精准营养配方技术	763
第四节	肉牛育肥技术	765

第五节 全株玉米青贮育肥肉牛技术.....	771
参考文献	773

第七篇 肉羊高效健康养殖

第四十四章 肉羊高效健康养殖的现状和意义.....	777
第一节 国内外肉羊产业发展现状.....	777
第二节 肉羊高效健康养殖的意义.....	785
参考文献	787
第四十五章 肉羊主要饲料原料营养价值评定技术.....	788
第一节 概述	788
第二节 肉羊营养需要评价技术.....	789
第三节 肉羊常用饲料原料及其营养价值评价技术.....	802
第四节 肉羊日粮的加工调制技术.....	814
参考文献	818
第四十六章 肉羊管理技术与健康养殖模式.....	820
第一节 概述	820
第二节 主要品种.....	820
第三节 管理技术.....	829
第四节 北方现代化肉羊养殖模式.....	833
第五节 南方现代化肉羊养殖模式.....	837
参考文献	839
第四十七章 肉羊的高效生产技术.....	841
第一节 概述	841
第二节 瘤胃健康调控技术.....	842
第三节 甲烷减排技术.....	845
第四节 全混合日粮饲养技术.....	849
第五节 饲料添加剂应用技术.....	852
第六节 羊粪资源化利用技术.....	855
参考文献	858
第四十八章 羊常见营养代谢病及营养调控.....	862
第一节 营养代谢病概述.....	862
第二节 PSE 肉.....	864
第三节 黄膘肉	867
第四节 尿结石	870
第五节 佝偻病	873

第六节 强直病	875
第七节 异食癖	877
第八节 摆腰病	880
第九节 其他营养性疾病	882
参考文献	892
第四十九章 营养与羊肉品质调控	897
第一节 羊肉生产与价值评定	897
第二节 影响羊肉品质的因素	903
第三节 营养水平对羊肉品质的影响	906
第四节 饲养模式对羊肉品质的影响	916
参考文献	919

第一篇

猪高效健康养殖

第一章 猪高效健康养殖概述

改革开放以来，一方面受居民收入水平不断提高和食物消费结构不断改善等需求的强力拉动，另一方面猪肉产业作为城镇居民“菜篮子”工程的重要组成部分而得到政府的强烈推动，我国养猪业得到飞速发展，我国已成为全世界猪肉产量最大的国家。据国家统计局数据，2021 年我国猪出栏量达 6.71 亿头，猪肉产量达 5296 万 t，占肉类总产量的 58.91%。我国同时也是猪肉消费量最大的国家，猪肉是我国居民最主要的肉类消费产品。尽管我国猪肉产量巨大，但猪肉供求关系依旧紧张，连年进口，这就需要我国养猪业的高效发展。此外，随着生活水平和健康意识的提高，人们对猪肉产品的要求不仅体现在数量上，对其质量及安全的要求也更加严格，这也就促使我国养猪业必须向着绿色健康的方向发展。

然而，目前我国养猪生产中仍存在诸多问题，如饲料资源短缺，饲料营养不均衡、利用率低，饲料有害物质（如霉菌毒素、重金属等）超标，猪群抗病力低下、疾病频发，养殖端抗生素滥用，环境污染问题突出等，既影响生产效率，又危害食品安全，威胁人类健康，制约着我国从养猪大国向养猪强国的转变。因此，我国养猪业迫切需要转变发展模式，从过去高消耗、高污染、低效率、低品质的发展模式转向高效、绿色、健康的发展模式，从而实现养猪业的可持续发展。

第一节 高效健康养殖的概念及意义

一、高效健康养殖的概念

健康养殖的概念最早是在 20 世纪 90 年代中后期由我国海水养殖界提出的，是指根据养殖对象的生物学特性，运用生态学、营养学原理来指导养殖生产。近年来，健康养殖已成为现代养殖业最重要的科学决策理念，获得了社会广泛的认可。猪的高效健康养殖是指为猪提供良好的生长环境，根据其不同的生长阶段实现营养的精准供给，增效减排，降低环境污染，通过合理的饲养管理手段及科学的疾病防治技术，确保猪的健康生长及猪肉产品的安全。高效健康养殖要求综合考虑养殖效益、猪的健康、对环境的影响及产品质量安全 4 个方面，其核心是给猪提供良好的有利于生长、繁殖的立体生态条件，以便于生产出安全、优质、营养的产品。

二、高效健康养殖的意义

随着养猪业向规模化、集约化不断发展，相继而来的饲料资源短缺问题、畜产品安全问题及环境污染问题日益突出，当前养猪业正面临着严峻的挑战。因此，发展高效健

康养殖具有十分重要的意义。

（一）缓解饲料粮短缺，维护粮食安全

养猪业的发展是以饲料粮的稳定供给为基础。近年来，我国养猪业规模不断扩大，对饲料粮的需求持续增长，饲料粮短缺的问题日益突出。我国饲料粮主要以玉米、小麦等粮食作物为主，饲料工业的快速发展使饲料粮在粮食总产量中的占比逐步增加，目前饲料粮消费在国内粮食总消费量中的占比已高达 50%，“人畜争粮”矛盾尖锐。可以说，我国现在面临的粮食安全问题已不再是传统意义上的口粮安全，而是逐渐变为饲料粮安全。保障粮食安全，主要压力在饲料粮，促进粮食节约，重要潜力也在饲料粮。

发展高效健康养殖，一是要求对不同生长阶段猪的营养需要和饲料原料的营养价值进行精准测定，合理配制日粮以满足其对各种营养的需要，提高生长速率和饲料利用率，减少饲料浪费，从而达到节约饲料粮、保障粮食安全的目的；二是通过各种抗生素替代物来提高猪的肠道健康，提高机体免疫和抗氧化能力，进而提高营养物质利用率，以达到节约饲料粮、保障粮食安全的目的；三是要求因地制宜开发丰富的非常规饲料资源，充分利用农副产物和粮油果蔬薯加工副产物，借助酶解、发酵等手段来降低抗营养因子含量、提高利用效率，达到节约饲料粮、保障粮食安全的目的。

（二）减少环境污染，维护生态平衡

近年来，尽管养猪业生产规模不断壮大积极推动了农村经济的发展，但随之而来的环境污染问题也十分严峻，已成为制约我国养猪业可持续发展的主要问题。当前养猪业对环境污染严重，主要是大量未被消化利用的营养物质随粪尿排放到环境中造成的。当前我国养殖水平仍然较低，养殖者对猪营养需要量的认识不深刻，对饲料营养价值的评定不准确，盲目认为只要提供高营养就能获得高生产性能，导致饲料配制不够科学合理，利用率低。此外，养殖者为了防治各种疾病，超量使用抗生素、金属微量元素等，这些过量的营养物质在体内无法完全被吸收利用，随粪尿排出体外。而在经济利益的驱动下，养殖者追求低投入、高回报，在粪污处理上投入不够，导致粪污未经有效处理后排放，大量有害物质进入周围环境，对土壤、大气及水源造成严重影响，危害人类健康。

发展高效健康养殖，精准测定不同生长阶段猪的营养需要及饲料原料营养价值，设计出营养水平符合需要的日粮，再辅以绿色功能型添加剂，从源头上提高饲料利用率，减少营养物质的排放，是降低养殖业环境污染的根本出路，也是实现养猪业可持续发展的必然要求。

（三）保障食品安全，维护人类健康

随着经济全球化，世界各国普遍关注食品安全问题，发展健康养殖、杜绝餐桌污染已成为全人类的共同目标。猪肉产业是我国居民“菜篮子”工程的重要组成部分，其产品质量关系到人们的身体健康和生命安全。养殖端作为猪肉生产的源头，对猪肉产品质量和安全起着决定性作用。过去几十年里，尽管抗生素作为生长促进剂在养猪业中发挥了十分重要的作用。但是，长期滥用抗生素导致细菌耐药性及猪肉产品中药物残留等，造成食品安全问题。此外，长期使用抗生素还会造成机体进入亚健康状态，抗病力下降。

在我国，依据《中华人民共和国农业农村部公告 第 194 号》规定，自 2020 年 7 月 1 日起，饲料生产企业停止生产含有促生长类药物饲料添加剂（中药类除外）的商品饲料，饲料端进入全面“禁抗”时代。然而，饲料端的“禁抗”导致养殖端疾病频发，为了应对各种疾病，养殖端仍在大量使用抗生素。更有甚者，部分养殖者在利益的驱动下，非法或超量使用违禁添加剂或药物等，导致猪肉产品中有害物质残留超标，严重危害人类健康。发展高效健康养殖，通过绿色功能性添加剂调控机体健康，增强抗病力，减少药物的使用，是保障猪肉产品安全的有效途径。

第二节 高效健康养殖的发展历程

我国养猪业历史悠久，品种资源丰富，最早可追溯到原始社会时期。但养猪业的高效快速发展主要是在新中国成立后，尤其是改革开放以来。因此，本节总结了新中国成立以来我国猪高效健康养殖的发展历程，主要分为三个阶段。

第一个阶段主要是从新中国成立到 20 世纪 70 年代末，为我国养猪业的缓慢恢复时期，特点是低投入、低产出、低效益。在此阶段，养猪主要是以家庭粗放饲养为主，多数家庭将其作为一种副业，其目的一是满足自身对肉食的需要，二是获取肥料。由于当时生产水平低下，又常受自然灾害等因素影响，粮食产量不足，饲料资源严重缺乏。此时饲料多以青粗饲料和农副产品（如糠麸等）为主，生产效率低下。因此，动物营养科研工作主要着力于饲料资源调研、未利用饲料资源开发、饲料营养价值评定，以及青粗饲料的加工、储存等方面，以期解决饲料资源不足的问题。

第二个阶段是从改革开放到 20 世纪 80 年代末，为我国养猪业快速发展时期。此时，随着市场经济的发展和家庭联产承包责任制的推行，农户有了经营自主权，对畜禽养殖的积极性大大提高，养猪业呈现出迅速发展的态势。同时，国家也颁布了一系列政策来推动畜牧业的健康发展。第十一届中央委员会第四次全体会议通过的《中共中央关于加快农业发展若干问题的决定》指出，要“大力发展畜牧业，提高畜牧业在农业中的比重”“继续鼓励社员家庭养猪养牛养羊，积极发展集体养猪养牛养羊”。1988 年，我国农业部开始实施“菜篮子”工程，将猪肉纳入其中，积极推动了养猪业向规模化、商业化和专业化发展。

在此阶段，我国开始从国外引进瘦肉型种猪，通过杂交培育瘦肉型商品猪以提高生产性能，满足市场对瘦肉消费的需要。同时养猪业开始向规模化、集约化发展，规模化养猪场数量不断增加，并以饲喂营养均衡的配合饲料为主，再结合抗生素或其他一些促生长添加剂，以追求高生产效率。在饲料营养研究方面，根据我国饲料资源现状和猪的营养需要，1983 年我国发布了《猪的饲养标准（肉脂型）》，1987 年又提出了《瘦肉型猪饲养标准》。随着能量、蛋白质、氨基酸、微量元素等一系列营养参数的完善，我国饲料配合技术迅速发展，先后研制出一系列适合我国国情的饲料配方、预混料、浓缩料、添加剂等，大大提高了生产效率。

第三个阶段是 20 世纪 90 年代初至今，养猪业已经呈现出高度规模化、集约化的模式，生产水平也有了极大提高。然而，2018 年非洲猪瘟肆虐全国，对整个养猪业造成沉

重打击，猪肉产能严重下降，直接影响人们的日常生活。稳产能、保供给成为养猪业发展的基本原则。此外，随着社会进步，过去盲目以高产出为目标的生产模式也逐渐暴露出诸多问题，如饲料利用率低、饲料资源短缺严重、环境污染、抗生素等药物残留等，尤其是近年来人们生活水平和安全环保意识不断提高，这些问题更加突出。为促进养猪业持续健康发展，国家也出台了各种政策。2020年《国务院办公厅关于促进畜牧业高质量发展的意见》中也指出：全面提升绿色养殖水平。科学布局畜禽养殖，促进养殖规模与资源环境相匹配。严格执行饲料添加剂安全使用规范，依法加强饲料中超剂量使用铜、锌等问题监管。加强兽用抗菌药综合治理，实施动物源细菌耐药性监测、药物饲料添加剂退出和兽用抗菌药使用减量化行动。建立畜牧业绿色发展评价体系，推广绿色发展配套技术。

在猪营养方面，开始推行精准营养技术。针对猪的不同生长阶段，研究人员开展了国内常用饲料原料的营养价值评定，分别评价测定了60多种常用原料的有效能值、蛋白质和氨基酸消化率等主要参数，建立了动态预测模型，构建饲料营养价值数据库。相比于之前的消化能、代谢能体系，目前使用更加精准的净能体系进行饲料配方的制定，大大提高了饲料的利用效率。为了缓解饲料资源短缺问题，大力推行低蛋白日粮，开发利用新的非常规饲料原料。此外，也有更多的研究关注不同营养素间的协同或拮抗关系、未知和已知营养素的新功能、营养与免疫、新型饲料添加剂的开发、新的饲养标准的制定等，这些都推动着养猪业向更加高效健康的方向发展。

（本章作者：尚庆辉）

第二章 猪饲料原料营养价值评定的主要技术

评定饲料营养价值需要一套完整的研究方法，随着动物营养学及相关学科的发展，饲料原料价值评定方法也在不断改进和发展。

本章主要介绍了猪饲料原料营养价值评定的主要影响因素和常用的化学分析、消化试验、代谢试验、饲养试验、比较屠宰试验等原理和方法，以及能量、蛋白质、矿物质和非常规饲料原料的营养价值评定方法体系。

第一节 饲料原料营养价值评定的主要影响因素

一、动物因素

（一）动物品种

不同品种的猪消化道结构、功能、长度和容积等不同，导致对饲料的消化能力也不一样，进而影响饲料有效能和可消化养分的测定。一般来说，不同品种的动物对粗饲料的消化率差异较大，对淀粉类饲料消化率差异相对较小。

（二）生理阶段

动物从幼年到成年，消化器官和机能的发育完善程度不同，则消化能力强弱不同，对饲料养分的消化率也不一样。随着动物年龄增加，动物对蛋白质、脂肪、粗纤维等的消化率也呈现上升趋势，尤以粗纤维最为明显，而无氮浸出物和有机物的消化率变化不大。老年动物因消化机能衰退，消化率又逐渐下降。

（三）个体差异

同品种和同年龄的不同个体，因生长环境、体况和健康状况等不同，对同种饲料养分的消化率也有差异，混合饲料差异一般可达到 6%，粗饲料差异可高达 10% 以上。

二、饲粮因素

（一）饲料种类

不同种类和来源的饲料因营养物质含量及质量差异较大，猪对其消化能力也明显不同。一般猪对幼嫩青绿饲料和籽实类饲料的消化率高于富含纤维的粗饲料。

（二）化学成分

饲料中粗纤维水平影响最大，一般随着饲料中粗纤维含量的增加，猪对有机物质的消化能力下降，从而降低了饲料的可消化养分含量。

（三）抗营养因子

饲料抗营养物质是指饲料本身含有，或者从外界进入饲料中的阻碍养分消化的微量成分，如抗胰蛋白酶因子、植酸磷等，有毒有害物质如重金属等，有害微生物及其毒素如黄曲霉毒素等。影响蛋白质消化利用的抗营养因子有胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶抑制因子、植物凝集素、酚类化合物、皂苷、单宁等；影响碳水化合物消化利用的抗营养因子有淀粉酶抑制剂、酚类化合物、胃胀气因子、非淀粉多糖等；影响矿物质消化利用的抗营养因子有植酸、草酸、葡萄糖硫苷、棉酚等；影响维生素消化利用的抗营养因子有双香豆素（影响维生素 K 利用）、大豆中脂氧化酶（破坏维生素 A 和胡萝卜素）等；此外，酸败脂肪、抗原蛋白等都能不同程度通过影响饲料的消化性或动物的消化能力，从而影响饲料的营养价值。

（四）饲料加工调制

饲料加工调制有物理、化学、微生物等多种方法。各种方法对饲料养分消化率均有影响，但是影响程度与动物和饲料均有关。饲料的加工工艺包括膨化处理、制粒处理、粉碎处理、挤压处理等，饲料的加工处理会导致饲料营养成分发生物理或化学特性的变化，从而影响饲料营养成分的利用率。对饲料最普遍的处理是切碎、脱壳、压碎或磨碎、加热，为了获得最大的消化率，谷物应当被磨碎后喂猪，否则可能会完好无损地通过肠道。膨化处理和制粒处理在饲料的加工工艺中最为常见，这两种处理都有加热环节，热处理有助于提高饲料的淀粉糊化度，降低抗营养因子水平，提高饲料的转化率，饲料的能值和营养成分的消化率也会相应提高。

三、饲养管理技术因素

（一）饲养水平

随着饲喂量增加，动物对饲料的消化能力下降。以维持水平或者低于维持水平饲养，动物消化能力最强，而超过维持水平后，随着饲养水平增加，消化能力逐渐降低。饲养水平一般用维持需要量的倍数描述。对于猪而言，生长猪的饲养水平提高到维持水平的 3.0~4.0 倍，泌乳母猪的饲养水平提高到维持水平的 4.0~6.0 倍，但饲养水平对低纤维传统日粮的消化率几乎没有影响。

（二）饲养条件

动物所处的饲养环境，如温度、湿度、通风、光照、空气中有有害气体等变化均可引起动物应激，从而降低动物的消化能力。一般在温度适宜和卫生、健康状态良好的状态下，猪对饲料的消化能力要强于在恶劣条件下的消化能力。

（三）饲料添加剂

在饲料中添加适量的酶制剂或者益生菌等添加剂，可以不同程度地改善动物消化器官的消化吸收能力，提高饲料养分的营养价值。饲料中常用的饲用酶制剂包括纤维素酶、植酸酶、蛋白酶、淀粉酶、木聚糖酶等，由于饲料原料的结构复杂，饲料生产中多使用复合酶制剂。饲用酶制剂有提高营养物质消化率、降低抗营养因子水平、提高猪生产性

能的作用，在饲料和养殖企业中广泛应用。此外，某些非营养性饲料添加剂与药物等均会影响饲料的营养价值。

四、其他因素

（一）试验设计方法

由于猪的体重变化，要准确测定饲料的营养价值，试验设计尤为重要，尤其是在动物数量有限的条件下，既要保证科学的重复数，又要保证试验周期不宜过长，通常选择拉丁方设计。

（二）营养价值评定的方法

不同的营养价值评定方法所测定的饲料原料营养价值肯定具有差异，差异程度与选用的评定方法、所测的原料特性等有关。例如，动物实验法和仿生消化法对玉米有效能值评定结果具有高强度线性相关，但是并不完全一致。

第二节 饲料原料营养价值评定方法

一、化学分析法

化学分析法主要是对饲料的化学组成成分进行定量分析，是评定饲料营养价值最基本的方法。化学分析的组成成分通常包括概略养分、纯养分、有毒有害物质和添加剂等，根据饲料的种类不同，分析的组成成分也不完全相同。

（一）概略养分分析法

概略养分分析法（proximate analysis）是1864年由德国学者 Henneberg 与 Stohmann 提出的。该方法将饲料中的营养物质分为水分、粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维与无氮浸出物六大类，这些营养物质被称为概略养分。由于概略养分分析法测得的各类组分并非化学上某种确定的化合物，因此被称为“粗养分”，这套分析体系也被称为常规饲料分析方案。概略养分分析法简便、快捷，同时经过长期的广泛应用已不断修正，积累了大量数据，是饲料营养价值评定的基础，因此在饲料营养价值评定中发挥了十分重要的作用。

但是这种方法所测得的每一项指标仅能给出饲料中包括多种纯营养成分的“粗养分”含量，而不能给出“粗养分”中各种具体营养成分的含量，因此，应用概略养分分析法对饲料营养价值的评定结果并不准确，尤其是概略养分分析法对饲料粗纤维的测定结果存在很大误差。为了改进粗纤维的分析方法，Van Soest 在1964年提出了更准确的饲料粗纤维分析方案。Van Soest 粗纤维分析方案是将饲料中的中性洗涤纤维（neutral detergent fiber, NDF）、酸性洗涤纤维（acid detergent fiber, ADF）与酸性洗涤木质素（acid detergent lignin, ADL）作为评定饲料纤维类物质的指标。

（二）纯养分分析法

随着动物营养科学及相关学科的研究与发展及分析测试技术水平的不断提高，饲料

营养价值的评定也在不断深入、细致与准确，更趋于自动化和快速化。饲料纯养分分析项目主要包括各种氨基酸、脂肪酸、淀粉、糖、维生素、矿物质元素等。通常这些纯养分含量高，营养价值也高。与概略养分分析法相比，纯养分分析法对饲料营养价值的评定结果更准确，但这些项目的分析需要昂贵的精密仪器和先进的分析技术。

化学分析法只能说明饲料本身所含有各种养分含量，但不能表明饲料能被动物消化利用的程度。因而不能较好地反映饲料的营养价值，所以对饲料营养价值的评定还必须结合动物实验进行。

二、消化试验法

饲料所含养分进入动物消化道后，只有一部分经物理的、化学的及生物学的方式消化后为动物所吸收，还有一部分不能被动物消化利用，它们与消化道分泌物和脱落的肠壁细胞一起以粪便的形式排出体外。消化试验法即是评定饲料养分在动物消化道被消化吸收的程度。动物食入饲料的养分减去粪便中排出的该养分，称为可消化养分；饲料中可消化某养分量占饲料中该养分总量的百分率称为消化率。

根据试验所使用的条件，消化试验法可分为体内消化试验法和体外消化试验法。

（一）体内消化试验法

体内消化试验法是测定饲料养分消化率的主要方法，根据对粪便的收集方法不同，可分为全收粪法和指示剂法。

1. 全收粪法

全收粪法根据收粪部位不同，分为肛门收粪法与回肠末端收粪法。

（1）肛门收粪法：是传统的消化试验方法，其测定原理是在试验期间精确计量饲料采食量，全部无损收集实验动物粪便并准确计量，有代表性地采集饲料样与粪样，并准确分析待测营养物质的含量，根据采食量与饲料某营养物质含量、排粪量与粪中相应营养物质质量计算该营养物质的消化率。

（2）回肠末端收粪法：是通过外科手术在回肠末端安装一瘻管收集食糜，或施以回-直肠吻合术，在肛门收集回肠食糜，主要用于猪饲料氨基酸消化率的测定。由于受大肠和盲肠微生物的干扰，从肛门收取粪便所测得的饲料氨基酸消化率偏高（5%~10%）。经大量试验证明，该法比肛门收粪法准确，目前在很多国家已用于猪饲料氨基酸消化率的测定。

全收粪法收集粪样工作量大，制备样品时较烦琐，而指示剂法的优点在于减少收集全部粪便带来的麻烦，省时省力，尤其是在收集全部粪便较困难的情况下，采用指示剂法更具优越性。

2. 指示剂法

指示剂法也称为稳定物质法。用作指示剂的稳定物质必须完全不被动物消化，而且能够均匀分布并有很高的回收率，同时指示剂在饲料及粪样中必须具有高度的均匀性与代表性。指示剂根据来源分为内源指示剂和外源指示剂。