



全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

饲料分析与检测

贺建华 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

饲料分析与检测

贺建华 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

饲料分析与检测/贺建华主编. —北京: 中国农业出版社, 2005. 3

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-09542-8

I. 饲... II. 贺... III. ①饲料分析—高等学校—教材②饲料—检验—高等学校—教材 IV. S816.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 013773 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)
出版人: 傅玉祥
责任编辑 叶 岚

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 21

字数: 372 千字

定价: 27.70 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编	贺建华 (湖南农业大学)
副主编	王 安 (东北农业大学)
	王小霞 (北京农学院)
	田科雄 (湖南农业大学)
编 者	王 安 (东北农业大学)
	王小霞 (北京农学院)
	王志祥 (河南农业大学)
	车向荣 (山西农业大学)
	田 河 (沈阳农业大学)
	田科雄 (湖南农业大学)
	孙龙生 (扬州大学)
	贺建华 (湖南农业大学)
	侯永清 (武汉工业学院)
	赵国琦 (扬州大学)
	黄美华 (湖南农业大学)
审 稿	王康宁 (四川农业大学)
	刘建新 (浙江大学)

前 言

《饲料分析与检测》是全国高等农业院校“十五”规划教材。该课程为动物科学类专业的重要专业课、动物医学专业的选修课，是重要的专业技能培训课程。

当今动物生产的主题是动物源性食品的优质安全生产和可持续发展。优质安全的动物源性食品生产必须以优质安全的饲料为基础。饲料分析与检测是评判饲料质量的主要手段。随着消费者对食品安全特别是对动物源性食品的安全意识的增强，饲料分析和检测的内涵也在扩展。评价一个饲料产品的营养价值和特性主要从以下三方面着手：①饲料原料的营养性和安全性；②配方的先进性和科学性；③日粮生产过程的质量控制。我国饲料工业整体上已经接近发达国家的水平，具备生产优质安全动物饲料的技术和设备条件，但是生产环节的控制相对滞后。因此，为保证产品质量，必须严格质量保障体系，加强饲料检测和监测的力度，强化企业的质量管理认证体系。

饲料分析与检测是饲料生产质量控制的重要环节之一，也是饲料产品质量保证的技术措施。饲料分析与检测的主要任务是研究饲料原料和产品的物理特性和化学组成，如物理性状、营养成分含量、抗营养成分、有毒有害物质、病原微生物和生物安全性等；研究饲料原料生产、产品生产和产品贮藏过程中的质量的动态变化过程。

本教材编写人员由湖南农业大学、东北农业大学、北京农学院、扬州大学、沈阳农业大学、河南农业大学、山西农业大学和武汉工

业学院等8所大学的富有教学经验和高级职称的教师组成。全书共分九章（另有附录），分工如下：第一章，王安、贺建华；第二章，黄美华；第三章，田河（第1、2、3、4、5节）、车向荣（第6、7、8、9、10节）；第四章，孙龙生；第五章，田科雄；第六章，赵国琦；第七章，王志祥；第八章，侯永清、车向荣；第九章，王小霞（第1、2、3、4节）、黄美华（第5、6节）；附录，贺建华、王安。

本教材承蒙浙江大学刘建新教授和四川农业大学王康宁教授的认真审阅，并提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。在教材编写过程中，还得到了东北农业大学韩友文教授的细心指导和帮助，得到湖南农业大学动物科技学院陈清华老师和研究生易昌华、聂新志、黄春红等的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2004年12月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 饲料养分的变异	3
一、自然变异	3
二、生产与加工	3
三、掺假	4
四、损坏与变质	4
第三节 饲料质量检测方法	4
一、化学分析	5
二、物理方法	5
本章小结	6
思考题	6
第二章 饲料样本的采集与制备	7
第一节 样本的采集与制备方法	7
一、采集样本的目的与要求	7
二、样本采集的方法与原则	8
三、采样与制备方法	10
第二节 风干样本的制备	15
第三节 半干样本的制备	16
第四节 样本的登记与保管	16
本章小结	17
思考题	17
第三章 饲料常规分析与检测	18
第一节 概述	18
第二节 饲料水分的测定	19

一、水分的表示方法	19
二、烘箱干燥法	20
附 3-1 水分的其他测定方法	21
第三节 饲料粗蛋白质的测定	26
一、凯氏定氮法	27
二、自动定氮仪测定法	31
三、紫外分光光度法	31
第四节 饲料脂类的测定	32
一、索氏提取法	32
二、鲁氏残留法	34
三、酸性溶剂与乙醚联合提取法	34
四、氯仿-甲醇提取法	36
附 3-2 Tecator 公司脂肪测定仪操作步骤	37
附 3-3 脂肪酸的测定	38
第五节 饲料粗纤维的测定	42
第六节 饲料粗灰分的测定	44
第七节 饲料中无氮浸出物 (NFE) 计算——差值计算	46
附 3-4 饲料中可利用糖 (碳水化合物) 的测定	46
第八节 饲料养分的表示基础与换算	51
一、饲料养分的表示基础	51
二、不同基础表示的饲料养分换算	51
第九节 饲料常规分析的局限性	53
第十节 饲料的物理分析和显微镜检测	55
一、感官鉴定方法	55
二、物理鉴定方法	55
三、饲料的显微镜检测	57
本章小结	69
思考题	69
第四章 饲料及产品的热值测定	71
一、测定原理	71
二、仪器、试剂及必需物品	71
三、氧弹式热量计结构简介	72
四、对测热室的要求	74

五、操作步骤	75
六、测定结果的计算	77
七、样品的处理	83
本章小结	85
思考题	85
附 4-1 热量测定实验记录表	86
第五章 纤维物质的分析与测定	87
第一节 饲料纤维的分析测定 (Van Soest 分析法)	87
附 5-1 饲料中中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 含量的 简化测定方法	92
第二节 非淀粉多糖的分析测定	93
本章小结	96
思考题	96
第六章 氨基酸的分析测定	97
第一节 概述	97
第二节 高效液相色谱法 (HPLC) 的分析测定	98
一、测定原理	99
二、仪器设备	100
三、试剂与溶液	100
四、测定步骤	101
附 6-1 LKB 高效液相色谱系统 (HPLC) 分析	106
第三节 氨基酸的自动分析	106
一、概述	107
二、分离测定原理	108
三、测定步骤	108
附 6-2 生物样本中游离氨基酸的分析测定 (磺基水杨酸沉淀法)	118
附 6-3 谷物和饲料中蛋白质、赖氨酸 (DBL) 的百分含量测定 [染料结合法 (DBC)]	119
附 6-4 菜籽饼粕中有效赖氨酸含量的测定 (酸性橙-12 染料 结合法)	122
附 6-5 HPLC 测定菜籽饼中的有效赖氨酸 (二硝基氟苯法)	123
附 6-6 鸡饲料中氨基酸消化率的测定	127

第四节 饲料添加剂的氨基酸质量标准与检测	128
一、饲料级 DL-蛋氨酸及其类似物的质量标准与检测方法	128
二、饲料级 L-赖氨酸盐酸盐的质量标准与检测方法	132
本章小结	133
思考题	134
第七章 维生素的分析测定	135
第一节 概述	135
第二节 维生素 A 的分析测定	136
一、饲料添加剂维生素 A 的测定	136
二、饲料中维生素 A 的测定	138
第三节 维生素 D ₃ 的分析测定	141
一、饲料添加剂维生素 D ₃ 的测定	141
二、饲料中维生素 D ₃ 的测定	145
第四节 维生素 E 的分析测定	149
一、饲料添加剂维生素 E 的测定	149
二、饲料中维生素 E 的测定	151
第五节 维生素 K ₃ 的分析测定	154
一、饲料添加剂维生素 K ₃ 的测定	154
二、饲料中维生素 K ₃ 的测定	155
第六节 维生素 B ₁ 的分析测定	158
一、饲料添加剂维生素 B ₁ 的测定	158
二、饲料中维生素 B ₁ 的测定	159
第七节 维生素 B ₂ 的分析测定	165
一、饲料添加剂维生素 B ₂ 的测定	165
二、饲料中维生素 B ₂ 的测定	166
第八节 烟酸、叶酸的分析测定	170
一、饲料添加剂烟酸的测定	171
二、饲料添加剂烟酰胺的测定	171
三、饲料添加剂叶酸的测定	172
四、复合预混料中烟酸、叶酸的测定	173
第九节 泛酸的分析测定	176
一、饲料添加剂 D-泛酸钙的测定	176
二、复合预混料中泛酸的测定	180

三、饲料中 D-泛酸钙的测定	182
第十节 维生素 B ₆ 的分析测定	184
一、饲料添加剂维生素 B ₆ 的测定	184
二、饲料中维生素 B ₆ 的测定	185
第十一节 维生素 B ₁₂ 的分析测定	187
一、饲料添加剂维生素 B ₁₂ 的测定	187
二、维生素预混料中维生素 B ₁₂ 的测定	188
附 7-1 采用反相离子对高效液相色谱测定维生素 B ₁₂	190
第十二节 维生素 C 的分析测定	190
一、饲料添加剂维生素 C 的测定	191
二、饲料中总抗坏血酸的测定	191
第十三节 生物素的分析测定	194
第十四节 氯化胆碱的分析测定	195
一、饲料添加剂 70%氯化胆碱的测定	196
二、饲料添加剂 50%氯化胆碱的测定	197
三、预混料中氯化胆碱的测定	197
本章小结	199
思考题	199
第八章 矿物元素的检测与分析	201
第一节 微量元素的定性检测	201
附 8-1 矿物质及硝酸盐、磷酸盐、硫酸盐等的点滴试验	203
第二节 常量元素的分析与检测	205
一、饲料中钙的测定 (高锰酸钾法)	206
附 8-2 乙二胺四乙酸二钠 (EDTA) 络合滴定快速测钙法	208
二、饲料中总磷量的测定 (磷钒钼酸比色法)	210
附 8-3 钼蓝法测定饲料总磷含量	212
附 8-4 饲料中植酸磷的测定 (TCA 法)	213
三、水溶性氯化物的检测	216
第三节 砷、重金属 (以铅计) 的检测	217
一、砷的检测	217
二、重金属 (以铅计) 的检测	218
第四节 饲料级矿物质添加剂的测定	219
一、硫酸铜含量的测定	219

二、硫酸锌含量的测定	220
三、硫酸亚铁含量的测定	221
四、硫酸锰含量的测定	222
五、亚硒酸钠含量的测定	224
六、氯化钴含量的测定	225
七、碘化钾含量的测定	226
第五节 原子吸收光谱分析法	227
附 8-5 原子吸收光谱法测定饲料中铁、铜、锰、锌、镁	231
附 8-6 原子吸收光谱法测定饲料中的钴	235
附 8-7 几种特殊样品的预处理方法	237
第六节 利用等离子发射光谱仪分析饲料中矿物元素的含量	240
第七节 饲料酸结合力的测定	242
本章小结	243
思考题	243
第九章 饲料质量监测项目分析	244
第一节 饲料加工质量监测分析	244
一、饲料的污染种类	244
二、饲料加工质量检测方法	245
第二节 一些特殊成分的分析测定	245
一、动物饲料中尿素氮与氨态氮的测定(尿素酶法)	245
附 9-1 动物饲料中尿素含量的测定(比色法)	246
附 9-2 饲料级鱼粉中掺假的检验方法	248
二、动物蛋白质的胃蛋白酶消化率(体外消化率)的测定	249
三、大豆制品中尿素酶(UA)活性的测定	250
附 9-3 尿素酶(UA)活性快速测定法(酚红法)	251
附 9-4 pH 增值法(Δ pH 法)	252
四、抗胰蛋白酶(TI)活性的测定	253
五、蛋白质溶解度(PS)的测定	254
第三节 一些有毒有害成分的分析测定	255
一、饲料中黄曲霉毒素 B ₁ 的分析测定	255
二、配合饲料中游离棉酚的分析测定(分光光度计法)	261
三、油菜籽、菜籽粕及配合饲料中异硫氰酸酯(ITC)的测定	262
四、油菜籽及菜籽饼中噻唑烷硫酮(OZT)的分析测定	264

五、菜籽饼粕中腈含量的测定 (化学定氮法)	265
六、饲料中氰化物的分析测定	266
七、饲料中亚硝酸盐的分析测定	268
附 9-5 白菜中亚硝酸盐的测定 (Peter Griess 法)	269
第四节 饲料中有毒元素及农药六六六、滴滴涕的检测	270
一、饲料中氟的检测	270
二、饲料中砷的检测	271
三、饲料中汞的检测	271
四、饲料中铅的检测	272
五、饲料中镉的检测 (镉试剂鉴定法)	272
六、饲料中铬的检测	273
七、饲料中锑的检测	274
八、农药六六六、滴滴涕的检测	275
第五节 饲料中有害微生物的分析和检测	276
一、饲料中沙门氏菌的检验方法	276
附 9-6 培养基和试剂制备	281
二、饲料中霉菌的检验方法	288
附 9-7 培养基和稀释液的制备	291
第六节 饲料中盐酸克伦特罗的分析和检测	291
一、高效液相色谱法 (HPLC 法)	292
二、气相色谱-质谱法 (GC-MS 法, 仲裁法)	294
三、酶联免疫吸附法 (ELISA 法)	296
本章小结	298
思考题	298
附录	300
一、常用固态化合物的浓度配制参考表	300
二、常用缓冲溶液的配制方法	300
三、筛号与筛孔直径对照表	306
四、容量分析基准物质的干燥	307
五、酸碱指示剂 (18~25℃)	307
六、混合酸碱指示剂	308
七、有机溶剂的物理常数	309
八、相对原子质量表	309

饲料分析与检测

九、普通酸碱溶液的配制	310
十、标准溶液的配制与标定	310
中英文名词术语对照	315
参考文献	321

第一章 绪 论

第一节 概 述

动物为了生存、生长和繁衍后代等各种生命活动，必须从外界摄取食物。动物的食物称为饲料。可见饲料不是一个确切的化学实体，而是一系列物质的统称。因此，一种看起来似乎营养价值高、质量好的饲料，如果不通过系统地分析，不通过物理学、化学或生物学手段进行检测，就无法确保这种饲料对畜禽有真正价值。例如两种看起来差不多的苜蓿干草，其中一种可能含 12% 的粗蛋白质，而另一种干草含 18%，这只有通过化学分析才能判断出来。但仅知道饲料的化学组成是不够的，还必须进一步通过动物试验来确定饲料中营养素的利用效率，例如，一种进口鱼粉的粗蛋白质含量为 62%，血粉蛋白质含量为 78%，但其利用率却低。

在长期生产实践活动中，人类很早以前就有了饲料营养价值的认识，例如古罗马时代的普利尼就认识到“适时收割的干草要比成熟时期收割的好”。这些直观经验性的认识，为饲料分析与检测形成独立的技术提供了宝贵的材料。人类社会进入 18 世纪后，随着实验科学的产生，研究动物和生命有机体的科学得到迅速发展，加之在化学、物理学、生物学发展的推动下，饲料分析与检测知识的积累也大大加速，并且有着质的飞跃。1810 年，德国科学家 Thaer 提出了以干草为标准（干草价）衡量其他饲料营养价值的评定方法。最先是根据水、稀酸、稀碱及酒精处理饲料的结果，同时参照实际饲养效果，来判别饲料的相对营养价值，并提出了饲喂动物的饲料定额。由此启动了制定饲养标准的研究，这样就大大地促进了饲料分析与检测技术的发展。到 1864 年，德国 Weende 试验站的 Henneberg 和 Stohmann 二人始创了分析测定水分、灰分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维与无氮浸出物的饲料传统分析方案。该方案是以动物营养学和分析化学为基础并沿用至今的常规分析法，该法测得的分析结果实际上为笼统的各类物质，而非化学上某种确定的化合物，也非动物完全可利用的物质。后来，Van Soest 等对粗纤维的分析提出了改进方案，能将纤维素、半纤维素及木质素区分测定。随着生产与科学技术的发展，在传统的常规饲料分析法的基础上，产生了许多在预测饲料营养价值上更有特色的分析方法，如

近红外光谱法用于奶和食品以及饲料的干物质、蛋白质和脂肪等成分的快速测定等。现代分析技术应用于饲料科学领域，可推动饲料科学向前发展。

所谓“质量”乃“物质本身固有品质的优劣程度”。它具有两层含意：含量和行业标准。例如，某化工业生产中要求五水硫酸铜含量大于或等于98.5%，砷含量小于或等于10mg/kg。而饲料工业要求五水硫酸铜含量大于或等于98.5%，但砷含量必须小于或等于5mg/kg。现有一批五水硫酸铜，其含量为大于或等于98.5%，其中砷含量为9mg/kg。对于化工业来说，这是一批质量合格的产品，对于饲料工业来说该产品不合格。在饲料工业中，用不合格的饲料原料不可能生产出优质的配合饲料，而优质的饲料原料也不一定就生产出优质的配合饲料。此外，在运输、贮藏和使用过程中均应注意保证饲料的质量，如果混合和贮藏条件或饲喂方式欠佳，也可使饲料丧失其优良品质，使其饲养的效果相应下降。

动物生产的最基本因素，包括动物本身的遗传特性、饲料和饲养管理。要使动物达到最佳生产性能，这三个因素同等重要，各占三分之一。经济效益是衡量畜牧业生产成功与否的最终标准，饲料成本占动物生产总成本的60%~70%，可见在动物生产过程中，要取得最佳的经济效益，饲料尤为重要。各种各样的文献资料所发表的饲料营养成分表，只是一些饲料营养价值评定研究积累的数据的平均值，不同饲料样本中营养物质含量本身存在着很大的变异。借助线性规划技术优化最优成本饲料配方，已在饲料工业生产上普遍应用。通过降低饲料成本而又保持其质量，或者提高饲料质量而保持其成本不变，以此来提高饲料效率进而提高动物生产的效率，以便以最低的成本生产出含有各种养分的日粮来满足动物营养上的需要，为尽量减少营养超量，总是将日粮配合成所含有的全部养分非常接近于动物的需要。他们的安全系数小，并且对饲料组分的质量变异比较敏感。所以，饲料分析与质量检测是低成本日粮配方成败与否的一个关键，生产者必须认识到饲料分析与质量检测的实际意义。

一般地说，饲料工业应用的分析方法可分为两部分，其一是工厂内部所使用的方法，这些方法适合本工厂的情况（大的工厂或小的工厂，先进的或一般的）及其实验室设备能力，并且通常是快速而简便的可靠的分析方法。例如在收购豆粕（饼）时，可应用尿素酶活性快速测定法——酚红法。在抽查配合饲料混合均匀度时，可检测配合料中某种矿物元素含量，计算出变异系数，再与合格的数值比较，来确定配合饲料的均匀情况。其二是国家所规定的（国标）一整套分析方法，对于厂与厂之间以及厂向质检部门提供有关质量数据时，应采用国家规定的分析方法。如发生质量纠纷，在进行论理过程中，有关质量的数据应该采用国家规定的方法。作为标准的分析方法，重要的在于不同实验室

所测定的结果应有高度的再现性，而不在于其简单、快速和同一实验室结果的重复性。

第二节 饲料养分的变异

饲料中粗养分含量是决定饲料营养价值的重要方面，但养分的变异受许多因素的影响，主要有自然因素和人为因素的影响。

一、自然变异

不同的农场与不同年份间采样、作物品种、土壤肥力、气候、收获时成熟程度不一样，使得不同来源饲料养分含量会出现较大的变异。例如可根据中国饲料成分及营养价值表上的数据计算得到其变异系数。其中，玉米（34个样）中粗蛋白质（平均含量8.96%）和无氮浸出物（平均含量73.08%）含量的变异系数分别是9.94%和2.91%；高粱（15个样）中粗蛋白质（平均含量8.39%）和无氮浸出物（平均含量74.10%）含量的变异系数分别是17.58%和3.95%；大豆（20个样）中粗蛋白质（平均含量38.05%）和粗脂肪（平均含量16.82%）含量的变异系数分别是5.19%和11.61%。可以看出，样本中营养素含量高的其变异系数较小，而营养素含量较低者其变异系数较大。

中国饲料成分及营养价值表上的数据基本上是两套数据——有些报道是以风干样为基础，指营养素占风干饲料的百分含量；另一些报道则是以干物质为基础，指营养素占饲料干物质的百分含量。由于饲料在组成上有这么一些变异范围，所以针对具体的饲料应该进行具体分析，并应切合实际地加以应用。不过，在大多数情况下并没有充足的时间来采样分析众多的饲料，或者一些饲料批量太少以至于这样做并不合算。所以饲料成分及营养价值表在实际生产中的作用是：①为买卖交易时的参考依据；②为制定标准日粮的配方，以满足动物的营养需要量时必要的参数。在有条件的饲料加工厂自建化验室，要针对具体饲料原料作相应分析，方可生产出更加科学合理的配合饲料。

二、生产与加工

农产品加工技术不同使得副产品质量差异较大。例如，高标准成套碾米机所生产的米糠主要含胚芽和米粒种皮外层，而低标准碾米机则生产出混杂有相当一部分稻壳的低质米糠。通过计算得到米糠（12个样，来自中国饲料成分及