

饲料原料与 品质检测

SILIAO YUANLIAO YU
PINZHI JIANCE

梁邢文
王成章
齐胜利
主编

中国林业出版社

饲料原料与品质检测

梁邢文 王成章 齐胜利 主编

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

饲料原料与品质检测/梁邢文, 王成章, 齐胜利主编. - 北京:
中国林业出版社, 1999.7

ISBN 7-5038-2274-0

I. 饲… II. ①梁… ②王… ③齐… III. ①饲料-品质②饲料-
品质-检验 IV. S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 16952 号

中国林业出版社出版

(100009 北京西城区刘海胡同 7 号)

三河市富华印刷包装有限公司 新华书店北京发行所发行

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20.25

字数: 520 千字 印数: 1~5000 册

定价: 22.00 元

《饲料原料与品质检测》编委会

主 编 梁邢文 王成章 齐胜利

副主编 王志祥 康相涛 吉进卿 韩 彪 刘修英

编 委 (以姓氏笔画为序)

王志祥 王成章 王爱民 田 玮 吉进卿 刘修英

齐胜利 李新慧 岳道友 岳新军 梁邢文 康相涛

商雨敏 韩 彪

前 言

改革开放以来，我国饲料工业有了长足的发展，1997 年全国配（混）合饲料总产量已达 6299 万吨，产值 1261.62 万元，时产 5 吨以上的饲料厂 1567 座，饲料工业已发展成为我国的支柱产业，其产量仅次于美国，跃居世界第二位。

饲料工业包括饲料原料工业、饲料添加剂工业、饲料机械设备制造业及配合饲料工业，其中对饲料产品品质影响最大的莫过于饲料原料。因此，掌握饲料的化学组成，饲料与畜产品品质，各种饲料原料的营养特性、标准、利用及其影响因素，对合理利用各类饲料，保证饲料产品品质更具重要意义。

当前，我国在饲料原料利用方面存在的主要问题是：一、原料生产与饲料生产部门严重脱节，无法确保饲料原料品质的稳定性；二、对饲料原料和卫生标准宣传不够，贯彻不力，未能建立完善、规范的饲料原料经营管理与品质监（检）测体制；三、不少人至今尚对常规，特别是非常规饲料原料的来源、生产方法、特性、利用特点和适宜价格评定方法不甚了解，因此在采购、利用这些原料时常有一定的盲目性，致使饲料产品品质的稳定性无法保证；四、五花八门的原料掺假、使杂现实，常使原料采购、质检人员束手无策，使不少厂家的质检部门形同虚设；五、对饲料原料的贮藏条件要求不严，防霉、防虫措施贯彻不力等。

《饲料原料与品质检测》一书，在全面阐述饲料化学组成、饲料与畜产品品质的基础上，有针对性的对各种饲料原料（含非常规的再生饲料）的营养特性、生产方法、利用特点及影响因素等进行了逐节说明，并理论联系实际，对饲料原料品质的定性检测、镜检技术，原料适宜价格评定和原料贮藏等方面的内容予以详述。该书可供饲料科技工作者，农业院校畜牧、饲料专业师生、饲料厂、畜牧场采购、质检人员及养殖专业户参考。

《饲料原料与品质检测》一书作者们，长期从事饲料原料的教学、科研及生产工作，具有丰富的经验。在编写此书的过程中，为了把最新的科研成果奉献给读者，他们参考了大量国内外资料，历时三年完成初稿，后经多次修订，才予问世，相信该书的出版，对我国饲料工业的健康发展将起到一定的推动作用。

由于我们的水平有限，书中难免有错误之处，敬请各位读者批评指正。

编 者

1999 年 6 月

目 录

第一章 饲料化学	(1)
第一节 饲料中的碳水化合物	(1)
第二节 饲料中的含氮化合物	(7)
第三节 饲料中的脂类	(11)
第四节 饲料中的阻害物质	(15)
第五节 饲料的色素与味嗅	(19)
第二章 饲料与畜产品品质	(26)
第一节 饲料与牛乳品质	(26)
第二节 饲料与肉类品质	(28)
第三节 饲料与蛋类品质	(30)
第三章 能量饲料	(39)
第一节 谷实类	(39)
第二节 糠麸类	(53)
第三节 薯类及加工副产品	(57)
第四节 其它能量饲料	(61)
第四章 蛋白质饲料	(71)
第一节 植物性蛋白质饲料	(71)
第二节 动物性蛋白质饲料	(123)
第三节 家禽副产物饲料	(138)
第四节 乳品加工副产品及其它动物蛋白饲料	(145)
第五节 微生物蛋白饲料(单细胞蛋白饲料 SCP)	(151)
第六节 非蛋白氮(NPN)饲料	(159)
第五章 矿物质饲料与饲料添加剂	(162)
第一节 矿物质饲料	(162)
第二节 饲料添加剂	(177)
第六章 青绿饲料	(214)
第一节 青饲料的营养特性及影响因素	(214)

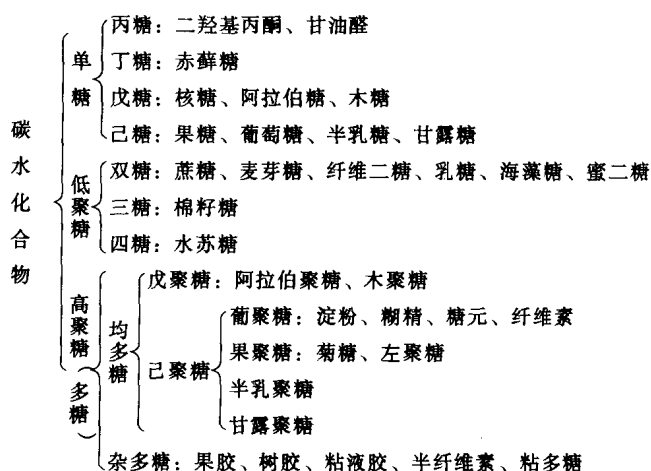
第二节	主要牧草与青饲作物	(215)
第三节	青饲料加工及保存方法	(221)
第四节	青贮饲料	(227)
第七章	粗饲料	(233)
第一节	干草	(233)
第二节	农副产品类饲料	(237)
第三节	粗饲料的加工方法	(239)
第八章	再生饲料	(247)
第一节	畜禽粪便的营养价值前景	(247)
第二节	畜禽粪便的处理技术	(249)
第三节	畜禽粪便的利用效果	(252)
第九章	饲料原料选购与适宜价格评定	(255)
第一节	饲料原料的选购原则	(255)
第二节	饲料原料适宜价格评定方法	(256)
第十章	饲料原料的贮藏	(270)
第一节	谷实饲料在贮藏期间的生理变化	(270)
第二节	贮藏饲料的方法和技术	(279)
第三节	几种主要饲料原料的贮藏方法	(283)
第十一章	饲料原料品质定性检测与鉴别	(289)
第一节	饲料原料掺假现状、形式与检测程序	(289)
第二节	饲料原料品质检测与鉴别方法	(291)

第一章 饲料化学

第一节 饲料中的碳水化合物

碳水化合物是自然界分布最广的一类有机物质，同时更是植物性饲料的一项重要组成成分，其含量一般约占植物体干物质总重的 50%~80%。而在除乳以外的动物性饲料中，碳水化合物总量虽不及 1%，但却是动物体中重要的组织、能源、贮备物质和合成某些外分泌成分如乳脂、乳糖的原料。因此碳水化合物常被人们视为一种重要的营养物质。

饲料中所含碳水化合物种类较多，但根据单糖的聚合度，主要分为 3 大类（图 1-1-1），即单糖（不能被水解的简单化合物）、低聚糖（单糖聚合度 ≤ 10 的碳水化合物，又称寡糖）和高聚糖（单糖聚合度 > 10 的复杂碳水化合物，又称多糖）。此外，尚含一些糖类衍生物（几丁质、甘油等）。



上述糖类营养价值不一，有的较高，有的较低，有的不易消化，有的甚至产生有毒物质并对动物体产生不良影响。因此，从营养角度考虑，有必要对它们分别进行剖析。

一、单 糖

单糖是最简单的一类碳水化合物，包括丙糖、丁糖、戊糖和己糖。其分子结构特点是：

①1个碳原子的2个价键分别与1个氢原子和1个羟基相连 ($\text{H}-\text{C}-\text{OH}$)，下余2个价键再分别与其它碳原子相连；②每个糖分子中均含有1个羰基 ($=\text{CO}$ 也称碳氧基)。这就使单糖既可起多羟醇作用，又可使糖起醛或酮作用 (其醛、酮基具还原性)。因此，从化学结构特点看，单糖乃属多元羟基醛、酮或它们的缩合物。故有人又将单糖分成醛糖 (如葡萄糖) 和酮糖 (如果糖) 2种。

单糖分子中碳原子数不多，一般达5个时可借助“氧桥”形成稳定的环 (含8个碳原子的单糖少见)。单糖中以戊糖 (五碳糖) 和己糖 (六碳糖) 最重要。其因戊糖中的核糖是核酸的组成成分；木糖是半纤维素和果胶的组成成分，反刍动物可借助瘤胃微生物发酵作用，使90%以上木糖被消化利用。另外，也有报告指出，木糖及木磺酸等具有促进畜禽代谢和营养吸收功能。己糖中的葡萄糖是动物体极易吸收的一种糖 (胃壁直接吸收)，其既可游离供能，也可以纤维素、淀粉等化合态形式贮存在植物体内。果糖 (由葡萄糖经异构化反应转化而来) 是糖中最甜者，供能上虽与葡萄糖相同，但在吸收、运载等营养生理过程中却存在有一定差异，故应注意合理利用。

二、低聚糖

低聚糖是由2~6个单糖通过糖甙键组成的一类糖。包括双糖 (蔗糖、麦芽糖、纤维二糖、乳糖、海藻糖、蜜二糖)、三糖 (棉籽糖)、四糖 (水苏糖)。其中以双糖分布较广，意义较大。

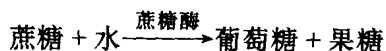
双糖又称二糖，是由2分子单糖脱水缩合而成的一类糖。植物组织中存在的双糖主要有蔗糖、麦芽糖、乳糖、纤维二糖等，而动物乳中则含有较多乳糖。双糖在动物体消化道内需经相应酶作用分解成单糖，才能被动物体吸收利用。

(一) 双糖

1. 蔗糖

蔗糖是由葡萄糖和果糖组成的一种非还原性二糖，分布较广、含量较高的有甜菜 (15%~20%)、甜高粱 (10%~18%)、甘蔗 (10%~15%)、枫树 (3%~6%) 等。各种果实、根茎类、蔬菜与树木汁液中也有不等含量。

蔗糖吸收利用的方式是：

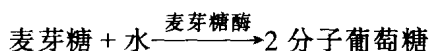


但应注意的是，初生乳猪小肠和胰脏分泌的蔗糖酶极微，在生后1周内只能利用乳糖或葡萄糖，若喂蔗、果糖，则可引起乳猪严重下痢。与乳猪相比较，犊牛消化道内的双糖酶和胰碳水化合物酶发展更慢。故一般情况下，乳猪生后2周即可少量利用蔗糖与淀粉，而犊牛2月龄时才少量利用。

2. 麦芽糖

麦芽糖为淀粉与糖原的组成成分，属一种还原性双糖，由大麦芽作用于淀粉而得。动物体内含相应的酶，故可被动物直接利用。

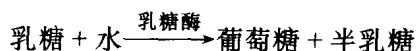
利用方式是：



3. 乳糖

乳糖是半乳糖以 β -1, 4 糖甙键与葡萄糖结合而成的一种还原性双糖, 主要存在哺乳动物乳中。动物种类不同, 乳中含量不同, 如牛乳中含 4.5%~5.5%, 猪乳中含 4.9%, 马乳中含 6.1%, 山羊乳中含 4.6%。

乳糖的利用方式是:



由于乳糖酶仅存在于哺乳动物幼畜体内, 因此成年家畜若摄取乳糖过多时, 除被肠道微生物发酵后吸收外, 剩余者则排出体外。

4. 纤维二糖

纤维二糖是纤维素的基本构成单位, 也是其它不少多糖和糖甙的组成成分。自然界中无游离态, 只有当纤维素经微生物产生的酶或酸水解时, 才会产生游离态纤维二糖。动物体内无相应水解它的酶 (β -葡萄糖苷酶), 故无法直接利用。

(二) 其它常见的低聚糖

其它常见的低聚糖主要有棉籽糖、水苏糖等。

1. 棉籽糖

是由半乳糖、葡萄糖和果糖组成的一种无还原性三糖。棉籽中含量较高 (约 8%), 大豆、成熟的甜菜及蔗糖废糖蜜中有一定含量 (约 0.5%)。

2. 水苏糖

是一种由 1 分子果糖、1 分子葡萄糖和 2 分子的半乳糖组成的四糖, 无还原性。常见于多种植物的根茎和籽实中, 而以唇形科水苏属 (*Stachys*) 植物含量较高。

(三) 利用低聚糖应注意的问题

(1) 动物本身无消化棉籽糖和水苏糖的酶, 故无法对其直接利用。大肠微生物虽对其可进行发酵, 但常产生引起胃肠胀气的气体如 CO_2 和 H_2 。因此, 豆类或豆制品等食入过多时, 易发生肠胃腹胀。

(2) 低聚糖中, 有的有还原性 (如麦芽糖), 有的无还原性 (如蔗糖), 了解还原性的意义在于, 原料或成品中单糖或还原性糖的羰基, 在加热或长期贮藏过程中, 易与氨基酸或胺发生缩合反应 (羰氨反应), 并产生黑褐色素。原料学上称此反应为“褐变反应”或“美拉德反应” (Maillard Reaction)。反应结果可降低饲料中有效氨基酸含量, 使整个饲料营养价值下降。

三、高聚糖 (多糖)

高聚糖是由许多单糖分子经脱水、缩合而成, 属一类结构复杂的高分子化合物, 一般单糖数多在百个以上。高聚糖一般不溶于水, 只有水解或发酵后才能被动物吸收利用。

(一) 淀粉

淀粉是由 D-葡萄糖组成的一种多糖, 以微粒形式大量存在于植物种子、块茎及干果实中, 属植物体中一种贮藏物质。玉米、高粱、小麦等谷实中含量高, 一般可达 60%~70%;

甘薯、木薯、马铃薯中含量约 25%~30%。淀粉分直链淀粉（溶于热水）和支链淀粉（不溶于水）2 种，前者是葡萄糖以 α -1, 4 糖甙键连接的链状分子；后者是除葡萄糖以 α -1, 4 糖甙键结合的主链外，尚含有 α -1, 6 糖甙键与主链相连的支链。来源不同，直、支链淀粉含量比例不同。一般淀粉中，直链淀粉约占 15%~25%，余为支链淀粉。而糯米、粘高粱中 99% 的淀粉属支链淀粉。豆类中淀粉虽含量不高（如大豆仅含 0.4%~0.9%），但全属直链淀粉。

1. 淀粉的特性

淀粉的特性可概括为“三化”，即糊化、老化和胶化。

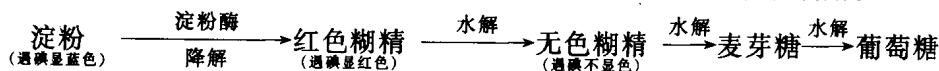
(1) 糊化。指天然淀粉颗粒（生淀粉、 β -淀粉）在适当温度（不同淀粉要求不同温度）下在水中膨润，分裂成均匀、有粘性的糊状溶液，此现象即称为淀粉的糊化，处于这种状态的淀粉被称为 α -淀粉。一般支链淀粉易于糊化。淀粉糊化的实质是淀粉分子间氢键断裂和联系的松散，故 α -淀粉易于消化利用。

(2) 老化。是指糊化淀粉缓慢冷却或在室温下长期放置后变得不透明，甚至产生沉淀，此现象即称淀粉的老化。一般直链淀粉易老化。老化的淀粉难以被淀粉酶水解，不利动物消化利用。淀粉老化的实质是相邻分子间断裂的氢键逐渐恢复，部分致密、高度晶化的淀粉分子微束重新形成。生产中对淀粉的老化特性应特别重视，以防造成浪费。

(3) 胶化。是指利用高温或其它手段使淀粉粒破碎的过程。淀粉产生胶化的原因是淀粉分子中虽含有很多的羟基，但这些羟基是通过高强度化学氢键结合的，从而使淀粉具有不同程度的抗涨破或抗压碎能力。特别是马铃薯中的淀粉粒，若不经高温处理，猪禽消化道中的酶就无法进入淀粉粒内，从而产生消化障碍。

2. 动物对淀粉的消化利用

动物采食饲料后，饲料中的淀粉便会在淀粉酶的作用下，降解为多个长短不一的多苷链片段（统称糊精），然后再变为麦芽糖，最终以葡萄糖的形式被吸收利用。



(二) 糊精

糊精是淀粉消化或加温水解而产生的一系列有支链的低分子化合物。据研究，支链淀粉在动物消化过程中可先分解成 α -极限糊精， α -极限糊精再在糊精酶作用下进一步水解成麦芽糖与葡萄糖，供动物利用。由于糊精是嗜酸菌的良好培养基，因而在动物消化道内尚有促进 B 族维生素合成的功效。

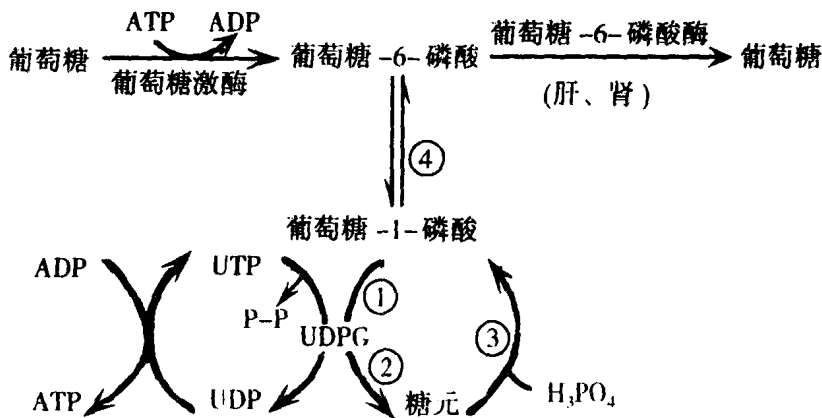
(三) 糖元

糖元结构与支链淀粉相似，是糖在动物体内存在的另一种形式。除酵母中含量较高外（占干物质的 3%~20%），一般饲料含量极微。

糖元由葡萄糖合成。化学上把由葡萄糖合成糖元的过程称为糖元生成作用。

糖元的分解是糖元首先在磷酸化酶催化下生成葡萄糖-1-磷酸，又在磷酸葡萄糖变位酶催化下转变成葡萄糖-6-磷酸，最后再在葡萄糖-6-磷酸酶催化下在肝、胃中水解为葡萄糖和磷酸，以补充血糖。

糖元的合成与分解可见图 1-1-2。



①UDP—葡萄糖焦磷酸化酶 ②糖元合成酶 ③磷酸化酶 ④磷酸葡萄糖变位酶

UTP——三磷酸尿苷

UDPG——二磷酸尿苷葡萄糖

ATP——三磷酸腺苷

ADP——二磷酸腺苷

P-P——焦磷酸

图 1-1-2 糖元的合成与分解示意图

由图 1-1-2 可见，糖元在动物体内属一种重要的贮能物质，与动物代谢密切相关，并以潜能形式服务于畜牧业生产。

(四) 纤维素、半纤维素、木质素

1. 纤维素

纤维素广泛存在于植物界，是植物细胞壁的主要结构成分，秸秆饲料中含量高，其量超过其它碳水化合物的总和。

纤维素的化学结构是由多个 β -1, 4 糖甙键联接的葡萄糖聚合体（与葡萄糖以 α -1, 4 糖甙键联接方式构成的淀粉不同），呈扁带状微纤维。由于微纤维间与氢键牢固联接，因而使纤维素具有基本不溶性和极大的抗酶性。哺乳动物体内不含纤维素分解酶，故无法直接利用，但消化道内共生的细菌、真菌分泌的纤维素酶可分解纤维素供动物利用。

2. 半纤维素

半纤维素是由多个高聚糖组成的一种异源性混合物，包括戊聚糖、己聚糖等各自的聚合体。其中戊聚糖中的木聚糖是构成植物茎叶、秸秆的骨架。而果聚糖则为植物体的贮存物质（牧草中含量较多）。虽然半纤维素总是与纤维素共同存在于植物细胞壁中，但却属于 2 种完全不同的高聚糖。研究表明：半纤维素在细胞壁中与果胶的共价键相结合，与纤维素以氢键相联接，从而更加增强了细胞的坚实度。特别是随着植物生长期的延长和木质素的增多，植物体的坚实度进一步增强，其消化性更随之下降。

纤维素和半纤维素虽为草食动物重要的营养物质，但对单胃动物却被列为限制因子。为了提高纤维素、半纤维素的消化性，多年来国内外先后推广了粗饲料的碱化、氨化、微贮处理以及 β -葡聚糖酶、纤维素酶等的添加利用。不可否认，这些措施都为该类饲料的充分利用开辟了新的途径，其意义不可低估。

3. 木质素

木质素是一种高分子苯基丙烷的非晶体聚合物。与碳水化合物相比较，碳多（氢氧比非

2:1), 且常含氮, 故属非碳水化合物。木质素的准确化学结构至今尚不太清楚, 但经用同位素标记物研究, 木质素合成是以芳香族氨基酸 (苯丙氨酸、酪氨酸) 开始的, 即先由芳香族氨基酸形成基质物质 (如松柏醇), 再经细胞壁过氧化物酶氧化, 最终聚合而成。并认为木质素与半纤维素之间以共价键连接。但也有报道认为, 植物不同, 木质素与纤维素或半纤维素连接的键合不同。即禾本科牧草以酯键结合, 豆科牧草以醚键结合。由于这 2 种键合物均不能被哺乳动物酶和消化道微生物产生的酶作用, 从而使纤维素和半纤维素的消化性下降。据研究, 碱处理高度木质化的秸秆, 可打破木质素与半纤维素之间的化学键, 释放出较易消化的半纤维素, 以改善秸秆的营养价值。自然界虽也存在某些需氧微生物和真菌可使其结合键断裂 (使木材和饲草腐烂), 但何种微生物以何种方式分解, 能否服务于生产等问题, 尚需进一步探讨。

(五) 果胶、糖甙

1. 果胶

果胶属胶状多糖类, 是细胞壁成分之一, 广泛存在于各种高等植物细胞壁和相邻细胞之间的中胶层中, 具粘着细胞和运送水分的功能。植物中的果胶物质一般有 3 种形态, 即原果胶、果胶和果胶酸。原果胶多与纤维素、半纤维素结合, 存在于细胞壁中, 不溶于水, 但可水解成果胶。果胶是羧基不同程度甲酯化与中和的聚半乳糖醛酸苷链, 存在植物汁液中。果胶酸是羟基完全游离的聚半乳糖醛酸苷链, 稍溶于水, 能产生不溶性沉淀。总之, 果胶物质是不同程度酯化与中和的 α -半乳糖醛酸以 1, 4 苷键形成的一类聚合物。

据研究, 软组织中含果胶物质较多, 如柑皮干物质中约含 30% ~ 50%, 胡萝卜约含 10%, 西红柿、马铃薯分别含 3% 和 2.5%。大多数植物, 特别是水果, 未成熟时果胶物呈不溶状, 成熟后果胶变成水溶状。水溶状果胶物易被消化道微生物分解, 供动物利用, 而与木质素结合者利用率极低, 这点在禾本科牧草中表现更为突出。

近年来有研究认为: 用含 10% 果胶的饲料喂大鼠, 可使大鼠结肠癌发病率减少 50%, 血中胆固醇水平下降 20% ~ 30%。产生这一结果的原因可能是果胶干扰了影响结肠细胞中遗传物质的致癌原; 果胶与胆汁结合, 抑制了胆汁在小肠的吸收, 从而使血脂下降。由此可见, 果胶以功能性成分在珍奇或特种动物饲料中应用, 值得重视。

2. 糖甙 (配糖体或糖苷)

糖甙是由单糖或其聚合物与配基 (非糖化合物) 结合而成的一类物质, 植物中虽分布广、种类多, 但含量低。研究表明糖甙本身一般无毒副作用, 但当植物死亡或被动物采食后, 受酶或微生物作用时, 就会分解成糖或配基, 若配基有毒, 就可形成有毒物质, 引起动物中毒。现已发现不少饲料糖甙或配基有毒副作用。因此在加工和利用这些饲料时, 应予以注意。下面特将几种常见的糖甙简介如下:

(1) 氢氰酸糖甙。又称氰甙、氰苷, 配基为氢氰酸 (HCN)。该甙在植物自体酶或肠道微生物作用下, 可产生毒物 HCN, 使动物中毒。常见的氢氰酸糖甙主要有如下几种。

①蜀黍氰甙。多见于苏丹草、高粱、甘蔗等茎叶中。青饲时易引起中毒, 青贮则可降低毒素含量; ②棉豆甙。主要存在某些豆类、亚麻仁及木薯中。前者可通过焙炒或压榨降低毒性, 后者可通过稀盐酸处理或坑埋脱毒; ③荚豆二糖甙和苦杏仁甙。前者存在细叶箭筈豌豆中, 过量青饲可引起中毒; 后者存在于杏、梅等果核中, 可引起动物消化不良和呼吸障碍。

(2) 含硫糖甙。因配基中含硫得名, 主要存在油菜及其近缘植物 (甘蓝、芜菁、山芥菜

等)和菜籽饼粕中。该甙在芥子酶作用下分解的主要毒物有:异硫氰酸酯(ITC)、噁唑烷硫酮(OZT)、硫氰酸离子和辛辣物质等。

(3)皂甙(皂素、皂苷、皂角苷)。皂甙多为葡萄糖、半乳糖等与多环配基结合的一种化合物。一般豆科植物(苜蓿、三叶草等)中分布广、含量大(如苜蓿皂甙占干物质量0.2%~1.8%)。由于皂甙具起泡性,故反刍动物采食过量易引起瘤胃臌胀,家禽采食过量降低生产性能。

研究表明,大豆及其饼粕中含有多种皂甙。如脱脂大豆粕中就含有由5种配基和6种糖组成的多种皂甙(含量约0.6%)。但由于这些皂甙易溶于水和80%乙醇,消化道不易吸收,故饲喂大豆及其饼粕的动物,其血液一般不会受皂甙影响。

第二节 饲料中的含氮化合物

动物体内的含氮化合物不仅是构成动物体组织和活性物质的原料,而且是水产鱼类能源物质的主要供源。据研究,动物体活组织中含有多种含氮物,这些含氮物统称粗蛋白。粗蛋白可分蛋白质与非蛋白含氮物(游离氨基酸、铵盐、肽类、酰胺、尿素等)2类,含量常以凯氏定氮法($N \times 6.25$)确定,由于该法未考虑不同种类蛋白质含氮量间的差异和非蛋白含N物的存在,虽前者在一般原料中产生的误差不大(表1-2-1),但后者在某些饲料,如单细胞蛋白—酵母(富含核酸)、甲壳饲料(几丁质中含氨基多糖)中误差则较大,不应忽视。此外,B族维生素也含含氮物,其量无非占总氮量比例较小,可忽略不计。

表 1-2-1 不同饲料蛋白质的换算系数

饲料名称	换算系数	饲料名称	换算系数
玉米	6.25	全脂大豆粉	5.72
豆类	5.46	小麦粉	5.83
棉籽	5.30	乳及乳制品	6.28
向日葵饼	5.30	大麦	5.83
燕麦	5.83	黑麦	5.83

一、蛋白质的分类

天然饲料中,蛋白质种类多,结构复杂,分类方法较多。常见的分类方法有如下几种。

按生理功能可分为:结构蛋白(如胶原纤维、肌原纤维等)、贮藏蛋白(如清、谷、酪蛋白和生物活性蛋白(如酶、激素等))。

按蛋白分子形状可分为:球蛋白和纤维蛋白。

按加工性状表现可分为:面筋性蛋白(醇溶蛋白、谷蛋白)和非面筋性蛋白(清、球蛋白)。

按化学组成和溶解性,一般多将蛋白质分为:单纯蛋白质、复合蛋白质和衍生蛋白质。

(一) 单纯蛋白质

水解时只产生氨基酸的蛋白质称单纯蛋白质。若进一步按其溶解性, 又可分为 7 种。

1. 清蛋白

又称白蛋白。溶于水、盐酸、碱及稀盐溶液中。加硫酸铵至饱和时, 会从溶液中沉淀析出, 遇热凝固。清蛋白广泛存在于动植物组织中, 如血清蛋白、乳清蛋白、豆清蛋白(豌豆中)和麦清蛋白(小麦中)等。化学组成中, 约含 20 余种氨基酸, 其中以赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸较多, 苯丙氨酸较少。

2. 球蛋白

不溶于水, 但加少量盐、酸或碱时可缓慢溶解。加硫酸铵至饱和时, 可从溶液中沉淀析出。动物球蛋白遇热凝固, 植物球蛋白遇热不凝固。球蛋白广泛存在动植物组织中, 如血清球蛋白、肌球蛋白、棉籽球蛋白、大豆及豌豆球蛋白等。化学组成中虽含全部氨基酸, 但以缬氨酸、亮氨酸、精氨酸含量较高, 丙氨酸、色氨酸含量较低。

3. 谷蛋白

不溶于水、盐溶液和乙醇, 但溶于稀酸、稀碱溶液, 遇热凝固。仅存在植物组织中, 如小麦中的麦谷蛋白、大米中的米谷蛋白等均含谷氨酸较多。

4. 醇溶蛋白

不溶于水及盐溶液, 可溶于 10% 酒精中, 加热不凝固。仅存在植物体中, 如玉米醇溶蛋白、小麦醇溶蛋白等。化学组成上含脯氨酸较多, 赖氨酸、色氨酸较少。

5. 硬蛋白

水及盐溶液中不溶, 遇热不凝固。主要存在动物的表皮、毛、腱、角、软骨等组织中。化学组成上含胱氨酸、甘氨酸较高。该蛋白难消化, 但经高压水解或酸碱处理(破坏双硫基)可供作饲料。

6. 精蛋白

可溶于水和稀酸, 能被稀氨水沉淀, 遇热不凝固, 属动物性蛋白。鱼精子、卵子和胸腺等组织中含量较高(如鲑精蛋白等)。化学组成中含赖氨酸、精氨酸较高, 不含胱氨酸、谷氨酸。

7. 组蛋白

可溶于水和稀酸, 能被氨水沉淀。组织中常与酸性物质结合成盐而存在, 加热不凝固, 属动物性蛋白。化学组成上组氨酸、赖氨酸、精氨酸含量较高, 酪氨酸含量低。

(二) 复合蛋白

由单纯蛋白和非蛋白辅基结合而成。水解时不仅产生氨基酸, 而且还会产生其它物质。按辅基不同, 复合蛋白一般又可分为:

1. 脂蛋白

由蛋白质与脂肪或类脂质(磷脂、类固醇等)结合而成。血、乳、蛋黄、神经及细胞膜中含量较高。

2. 核蛋白

由单纯蛋白与核酸结合而成。为细胞核的组分, 对动物的生长、繁殖有特殊功能。

3. 色蛋白

由蛋白和色素物质组成。如叶绿蛋白、血红蛋白等。

4. 糖蛋白

由蛋白质和碳水化合物组成。如动物体中的粘蛋白等。

5. 磷蛋白

由蛋白和磷酸组成。如酪蛋白、卵黄磷蛋白等。

(三) 衍生蛋白

衍生蛋白既包括蛋白分子内部结构变化的变性蛋白，又包括天然蛋白经酸、碱、酶等处理后所生成的胨、朊、肽、明胶等物质。

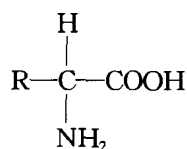
饲料中除上述以蛋白形式存在的含氮化合物外，还有以非蛋白形式存在的一些含氮化合物，这些含氮化合物主要包括游离氨基酸、核酸和碱基、胺及酰胺等。游离氨基酸在动植物体中均有一定含量，可被动物直接吸收利用，是非蛋白氮含氮化合物中营养价值最高者。核酸在植物性饲料中含量极少，在动物内脏及酵母、细菌等微生物饲料中，含量较高，一般可达10%左右，因此，在评定这些饲料粗蛋白质营养价值时，对其应予考虑。酰胺类有天门冬酰胺、谷酰胺及尿素等，幼嫩牧草中含天门冬酰胺和谷酰胺较多，是植物体内N的另一种贮存形式，虽不能被单胃动物利用，但可部分被反刍动物胃肠微生物利用。为此，反刍动物饲料中可添加适量非蛋白氮含氮化合物，以替代部分蛋白质饲料。

二、蛋白质中氨基酸的组成、结构与性质

(一) 蛋白质中氨基酸的组成与结构

据研究，天然存在的氨基酸约200余种，但组成蛋白质的氨基酸仅20余种。由于氨基酸在种类、数量和排列顺序方面的不同，又组成了多种多样的蛋白质。天然存在的氨基酸多为易于被动物吸收利用的L-型氨基酸。

氨基酸的一般结构式如下：



式中R为游离基的缩写，与氨基酸和羧基相连的碳原子称为 α -碳原子，从 α 起依次称 β 、 γ 、 δ 、 ϵ 碳原子。由于天然蛋白质中所含氨基酸的氨基均结合在 α -碳原子上，故这些氨基酸被称为 α -氨基酸。若结合在 β 、 γ 碳原子的则分别被称为 β -、 γ -氨基酸（如游离氨基酸或低聚肽中氨基酸）。

构成饲料蛋白质的20余种氨基酸几乎都是L型的 α -氨基酸（表1-2-2），这些氨基酸大都以蛋白质组分形式呈链状存在，故这些氨基酸又被称为蛋白态氨基酸或多肽氨基酸，以区别单独存在于饲料中的游离氨基酸。

按照氨基酸的构成和代谢特性，饲料中的主要氨基酸通常可分为6类。

1. 一氨基一羧基氨基酸（中性氨基酸）

甘氨酸（Gly）、丙氨酸（Ala）、缬氨酸（Val）、亮氨酸（Leu）、异亮氨酸（Ile）。

2. 一氨基二羧基氨基酸（酸性氨基酸）

天门冬氨酸（Asp）、谷氨酸（Glu）。

表 1-2-2 α -氨基酸的各种结构

辅基 (R) 性质	氨基酸	辅基 (R) 性质	氨基酸
氢原子	甘氨酸	硫醇 (硫衍物)	胱氨酸
脂肪烃	丙氨酸		蛋氨酸
	缬氨酸	芳香烃	苯丙氨酸
	亮氨酸		酪氨酸
	异亮氨酸	杂环结构	色氨酸
脂肪醇	天门冬氨酸		组氨酸
	谷氨酸	亚氨基酸	脯氨酸
含氮碱	赖氨酸		羟脯氨酸
	精氨酸		

3. 二氨基-羧基氨基酸 (碱性氨基酸)

精氨酸 (Arg)、赖氨酸 (Lys)。

4. 羟基-氨基-羧基氨基酸

丝氨酸 (Ser)、苏氨酸 (Thr)。

5. 含硫氨基酸

半胱氨酸 (Cys)、胱氨酸 (Cys-Cys)、蛋氨酸 (Met)。

6. 含环氨基酸

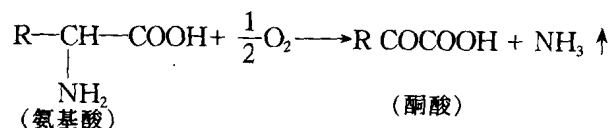
苯丙氨酸 (Phe)、酪氨酸 (Tyr) (苯丙氨酸、酪氨酸又称芳香族氨基酸)、脯氨酸 (Pro)、羟脯氨酸 (Hyp) 色氨酸 (Trp)、组氨酸 (His)。

(二) 氨基酸的性质

氨基酸属较易发生反应的一类物质。这些反应往往导致饲料蛋白质下降, 甚至还会给动物造成不良影响。为此, 下面仅将饲料在加工、贮藏过程中发生的一些反应简介如下:

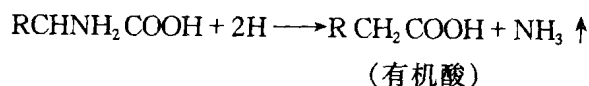
1. 氧化脱氨基反应

因氧化使氨基酸脱掉氨基而生成酮酸和氨的一种反应。



2. 还原脱氨基反应

因氢作用使氨基酸脱掉氨基生成有机酸和氨的一种反应。



3. 脱羧基反应

指氨基酸脱羧生成胺的一种反应。该反应多在动物性饲料腐败变质时由相应氨基酸脱羧产生, 如组胺、酪胺、色胺分别由组氨酸、酪氨酸、色氨酸产生。这些胺类虽具有特殊的生理生化功能, 如组胺具扩张血管、降低血压、促进胃液分泌的作用等, 但若在体内聚积, 则会引起动物中毒。