

ZHUDEYINGYANG

猪的营养

李德发 主编

中国农业大学出版社

5
3

猪的营养

李德发 主编

北京农业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

猪的营养/李德发主编. —北京: 中国农业大学出版社, 1996. 3
ISBN 7-81002-753-0

I. 猪… II. 李… III. 猪-饲料-营养 (生物) IV. S828.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 22337 号

出 版 中国农业大学出版社
发 行 新华书店
经 销 北京丰华印刷厂
印 刷 1996 年 3 月第 1 版
印 次 1998 年 6 月第 2 次印刷
开 本 32 12.75 印张 327 千字
规 格 850×1168
印 数 2501~7500
定 价 16.00 元

主 编：李德发

副 主 编：譙仕彦

编 委：肖长艇 譙仕彦 朱晓萍 张国龙

管武太 车向荣 胥学新 李德发

安永仪

责任编辑：赵玉琴

封面设计：郑 川

前 言

近年来,随着生物化学、生理学、免疫学和其它学科的迅速发展,猪营养学的许多方面,诸如各种营养素的代谢规律及其调控机制、各种营养物质及其中间代谢产物间的互动关系、营养素与免疫应答及免疫调控、肠道微生物在营养上的作用和营养物质平衡机制等,都有新的发现或被赋予了新的内涵。人们对猪营养学中许多概念的认识和理解也随之发生了深刻的变化。为使动物营养及畜牧专业的在校学生和研究生、动物营养及相关专业的研究者和从事养猪及饲料加工的工作人员方便而又全面地了解这些新的知识,以促进我国养猪业和饲料加工业的发展,特编写本书。

笔者自1990年以来,一直担任大学生和研究生猪营养学的教学工作,深知他们对新知识的渴望,在同养猪场和饲料加工企业的技术合作中,也深感生产上的一线工作人员了解新成果的愿望。因此,本书并未按一般教材的方式对猪营养的所有内容进行泛泛的描述,而是在介绍基础知识的基础上,以专题的形式总结了近20年来猪营养学的最新成就。所用文献大多为70年代以来公开发表或尚未发表的研究报告,并将其附在每一章的后面,以便读者需要时查阅。

由于时间仓促,水平有限,尽管做了最大的努力,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

1995年10月

目 录

第一章 能量营养	(1)
1.1 能量的概念	(1)
1.2 能量的度量单位	(1)
1.3 能量代谢	(2)
1.4 能量的贮备形式	(12)
1.5 能值分类及其测定	(13)
1.6 能量利用效率	(18)
1.7 影响能量利用效率的因素	(19)
1.8 猪的能量需要量	(21)
第二章 蛋白质营养及其代谢调控	(25)
2.1 蛋白质的消化代谢	(25)
2.2 必需氨基酸与非必需氨基酸	(29)
2.3 猪的蛋白质营养是氨基酸营养	(29)
2.4 氨基酸的消化利用率	(34)
2.5 猪的蛋白质需要	(37)
2.6 猪的氨基酸需要量与“理想蛋白质”	(43)
2.7 合成氨基酸在配合饲料中的应用	(49)
2.8 蛋白质的代谢调控	(55)
第三章 碳水化合物和粗纤维营养	(71)
3.1 概述	(71)
3.2 猪对碳水化合物的吸收与代谢	(73)
3.3 新生仔猪对碳水化合物的利用	(74)

3.4	猪对粗纤维的利用·····	(75)
3.5	小结·····	(84)
第四章	脂肪营养·····	(89)
4.1	脂肪的生理功能·····	(90)
4.2	猪日粮中脂肪的特殊功用·····	(91)
4.3	初生仔猪日粮中的脂肪·····	(92)
4.4	仔猪日粮中的脂肪·····	(93)
4.5	生长肥育猪日粮中的脂肪·····	(101)
4.6	母猪日粮中的脂肪·····	(102)
4.7	脂肪与猪体的抗氧化作用·····	(104)
4.8	脂肪的商业来源·····	(105)
第五章	维生素对猪的营养·····	(108)
5.1	维生素 A·····	(108)
5.2	维生素 K·····	(119)
5.3	叶酸·····	(124)
5.4	维生素 B ₂ ·····	(127)
5.5	胆碱·····	(130)
5.6	硫胺素·····	(136)
5.7	泛酸·····	(140)
5.8	维生素 B ₆ ·····	(143)
5.9	生物素·····	(146)
5.10	尼克酸·····	(151)
5.11	维生素 C·····	(155)
第六章	钙、磷和维生素 D 营养·····	(160)
6.1	钙、磷的生理功能及体内分布·····	(160)
6.2	钙、磷及维生素 D 的吸收和代谢·····	(162)
6.3	猪饲料的钙、磷来源·····	(166)
6.4	猪的钙、磷需要量·····	(167)

6.5	猪对植酸磷的利用	(169)
6.6	钙、磷和维生素 D 在实际生产中的应用	(173)
第七章	微量元素及其生物学利用率	(178)
7.1	锰	(178)
7.2	铜	(185)
7.3	铁	(191)
7.4	锌	(197)
7.5	碘	(205)
7.6	硒	(207)
7.7	钴	(210)
7.8	饲料中微量元素的建议添加量	(212)
第八章	钾、钠、氯及电解质平衡	(216)
8.1	化学特性和生理功能	(218)
8.2	电解质在机体的组成和分布	(219)
8.3	机体对电解质的调节	(220)
8.4	营养补充	(223)
8.5	电解质平衡对猪增重速度和酸碱度平衡的影响 ..	(225)
第九章	维生素 E 和硒的营养	(237)
9.1	维生素 E 和硒的来源	(237)
9.2	影响日粮中硒和维生素 E 利用效率的因素	(240)
9.3	维生素 E 和硒的相互关系	(241)
9.4	硒和维生素 E 的代谢及其营养功能	(241)
9.5	猪的硒和维生素 E 缺乏症	(246)
第十章	仔猪营养	(256)
10.1	早期断奶仔猪的消化特点	(256)
10.2	影响断奶仔猪生产性能的因素	(258)
10.3	断奶体重和营养的关系	(259)
10.4	饲喂高营养浓度的断奶仔猪日粮	(260)

10.5	七 断奶仔猪配制日粮需要考虑的其它问题	(261)
10.6	仔猪断奶时常遇到的应激因子	(264)
10.7	乳猪成功断奶的措施	(265)
10.8	断奶仔猪的营养体系	(269)
10.9	蛋白质、碳水化合物和脂肪研究的新进展	(271)
10.10	仔猪对磷的需要量	(279)
10.11	“理想蛋白质”	(280)
10.12	酶制剂	(282)
10.13	酸性日粮	(285)
第十一章	母猪营养	(289)
11.1	能量、蛋白质和氨基酸	(289)
11.2	维生素	(294)
11.3	矿物质	(298)
11.4	叶酸对母猪繁殖性能的影响	(302)
11.5	孕马血清促性腺激素(PMSG)提高母猪的繁殖力	(305)
11.6	母猪的饲养与营养	(307)
11.7	高产母猪的饲养	(313)
11.8	关于母猪的限制饲喂	(317)
11.9	饲料消耗的监测	(317)
11.10	结论	(318)
第十二章	营养素与猪体免疫力	(322)
12.1	营养素与猪体免疫	(322)
12.2	能量与免疫	(324)
12.3	蛋白质、氨基酸与免疫	(325)
12.4	矿物质与免疫	(329)
12.5	微量营养素与免疫	(329)
12.6	断奶后腹泻与日粮抗原的过敏反应	(334)

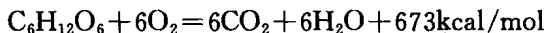
12.7	断奶后腹泻和仔猪补料·····	(345)
第十三章	猪肠道细菌及其对营养的作用·····	(353)
13.1	单胃动物消化道的微生态环境·····	(354)
13.2	猪肠道菌群的建立和演替·····	(356)
13.3	猪肠道菌群的分布、种类和数量·····	(357)
13.4	肠道菌群的生理作用·····	(359)
13.5	肠道菌群的平衡和失调·····	(367)
13.6	肠道菌群调控技术的应用·····	(368)
第十四章	加工工艺对饲料营养价值的影响·····	(380)
14.1	饲料颗粒度·····	(380)
14.2	膨化技术·····	(385)
14.3	加工方法影响营养物质的消化率·····	(390)
14.4	饲料的制粒·····	(392)
14.5	混合均匀度·····	(393)

第一章 能量营养

1.1 能量的概念

在物理学中,能量是物质运动的一种量度。每一种运动形式都有其相应的能量,如量度机械运动的能量,叫机械能;量度热运动的能量,叫热能等。原子与分子由吸收能量形成的键而接合起来,键的断裂反过来也就释放能量。按照能量守恒法则: $\Delta E = E_B - E_A$ 。

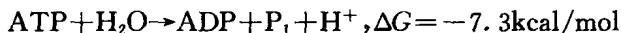
这里: ΔE 是反应中能的变化; E_B 是反应后的能量,或吸收能量; E_A 是反应前的能量,或放出能量。物质(如葡萄糖)的燃烧(体外)或代谢(体内)的能值相同,而且正反反应能量不变:



热力学第二定律可以表示为: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

这里: ΔG 是自由能的变量; ΔH 是焓(enthalpy)的变量; T 是绝对温度; ΔS 是熵(entropy)的变量。

一切化学反应,不是放能的(Exergonic),就是吸能的(Endergonic),如:



体内绝大多数的合成代谢属于吸能反应;相反,降解代谢则属于放能反应。

1.2 能量的度量单位

能量的度量单位一般以“卡”(cal)表示,即 1g 水从 14.5°C 升到

15. 5℃所需的热能,称为 1cal。为使用方便,实践中常用的单位为 kcal(1000 卡,亦称大卡)或 Mcal(1000kcal,亦称热姆)。近年来,国际营养科学协会及国际生理科学协会认为衡量能的单位应以焦耳表示较为确切,故有些专家已采纳焦耳作为营养代谢及生理研究中的能量单位。卡与焦耳之间的换算关系如下:

$$1 \text{ 卡(cal)} = 4.184 \text{ 焦耳(J)}$$

$$1 \text{ 千卡(kcal)} = 4.184 \text{ 千焦耳(kJ)}$$

$$1 \text{ 兆卡(Mcal)} = 4.184 \text{ 兆焦耳(MJ)}$$

1.3 能量代谢

1.3.1 氧化还原

生物体从氧化获得能量。氧化的基质为碳水化合物、脂肪,有时也有氨基酸。这一过程要比体外燃烧缓和得多,却复杂得多;而且所释放的自由能(ΔG)并非全部被高能键所捕捉,一部分以热的形式散失。

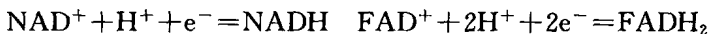
氧化是分子与氧的化合或氢的逸失过程。概括地说,是电子从被氧化物体向被还原物体的传递过程。动物体内氧化彻底的标志是全部变为 CO_2 与 H_2O 。组织内的电子传递是靠电子载体完成的。最主要的载体有:

烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(即辅酶 I) Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD);

烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(即辅酶 II) Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP);

黄素腺嘌呤二核苷酸 Flavin adenine dinucleotide (FAD)。

它们的共同点是都含有腺嘌呤、核糖与磷酸和一种维生素。它们的电子传递是:



亦即 NAD 或 FAD 接受了氢离子与电子而还原为 NADH 或 FADH_2 。

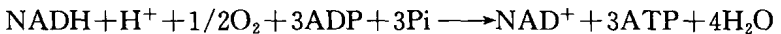
1.3.2 三磷酸腺苷(ATP)

ATP 是生物界能量转化的核心。它虽是主要的,但并非唯一的高能键化合物。具有高能传递功能的化合物还有:

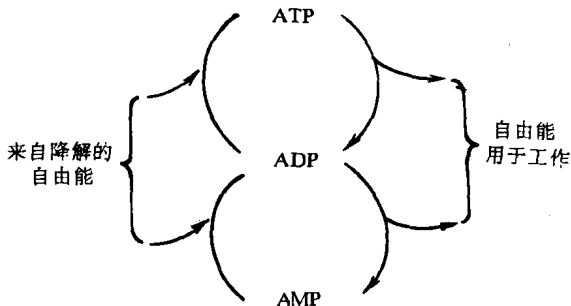
磷酸烯醇丙酮酸	Phosphoenol pyruvate	-14.8 kcal/mol
氨甲酰磷酸	Carbamoyl pho-phate	-12.3
乙酰磷酸	Acetyl phosphate	-10.3
磷酸肌酸	Creatine phosphate	-10.3
焦磷酸	Pyrophosphate	-8.0
葡萄糖-1-磷酸	Glucose-1-phosphate	-5.0
葡萄糖-6-磷酸	Glucose-6-phosphate	-3.3
甘油-3-磷酸	Glycerol-3-phosphate	-2.2

以上能值都是在 1mol/L, pH7.0, 温度 25℃ 的测定结果。

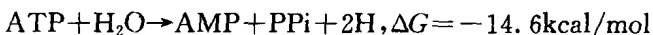
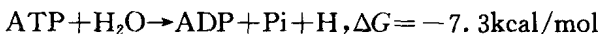
ATP 是在线粒体内三羧酸循环中基质的氧化过程经 ADP 的氧化磷酸化途径形成的。可简单概括如下:



它和 ADP 与 AMP 的关系示意图解如下:



在 ATP 还原的过程释放能量:



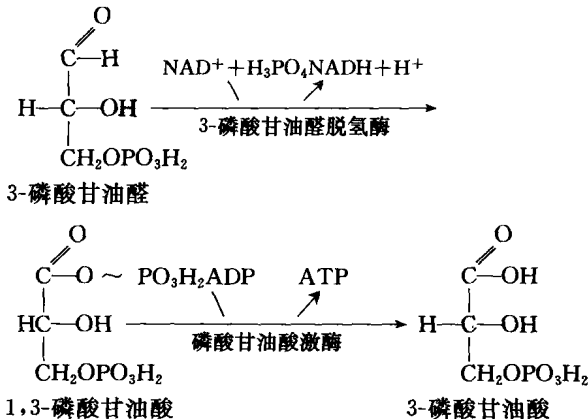
试验表明,单胃动物每合成 1molATP 需 18.9kcal 能量。这一生物氧化体系完全在线粒体内进行,又叫线粒体氧化体系,是动物体最主要的利用氧的方式。

1.3.3 ATP 的生成及氧化磷酸化

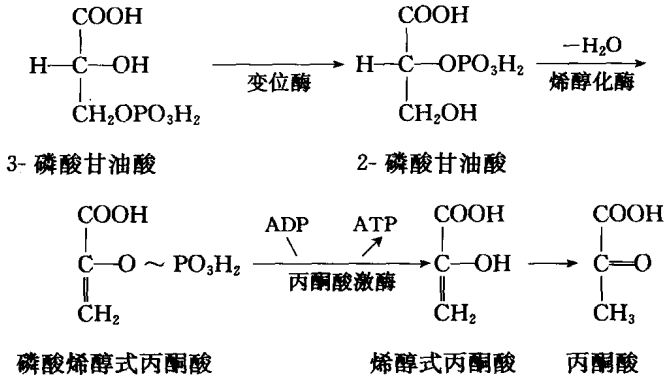
在生物体内,ATP 是由 ADP 与具有高能磷酸键的磷酸基结合生成的,此作用称为磷酸化作用。磷酸化作用有底物磷酸化和氧化磷酸化两种方式。

(1)底物磷酸化:当底物脱氢、脱水或分子内部发生原子重排时,可生成高能磷酸键,转移给 ADP 而生成 ATP,此过程称为底物磷酸化作用。例如在糖的分解代谢中,在 3-磷酸甘油醛转变为丙酮酸的一系列过程中,共有两步是产生能量的反应。释放的能量由 ADP 合成多含一个高能磷酸键(~P)的 ATP。

(a)3-磷酸甘油醛在 3-磷酸甘油醛脱氢酶的催化下,进行底物脱氢氧化、分子内部能量重新分布和磷酸化反应,生成含一个高能磷酸键的 1,3-二磷酸甘油酸。在此反应中脱下的氢原子为 NAD(辅酶 I)所接受,但产生的能量并不释放,而贮存于 1,3-二磷酸甘油酸中。然后,1,3-二磷酸甘油酸再在磷酸甘油酸激酶催化下,将高能磷酸键转移至 ADP,形成 ATP 末端的高能磷酸键,其反应式如下:



(b) 3-磷酸甘油酸在变位酶和烯醇化酶的催化下,进行脱水和分子内部能量的重新分配,生成含有一个高能键的磷酸烯醇式丙酮酸,后者再把高能磷酸基团转移给 ADP,再生成一个 ATP,而本身变为烯醇式丙酮酸。烯醇式丙酮酸能自动变成丙酮酸,反应式如下:



(2) 氧化磷酸化作用: 氢和电子沿呼吸链逐步转移, 并最后传递给氧以生成水。这是逐步、分次氧化的过程。在每一步氧化过程中(即每次传递氢或电子的反应中), 都释放一定的能量。这是生物氧化最重要的特点, 具有重要的生理意义。

生物氧化采取逐步分次氧化, 分次放能的方式, 可使反应中释放的能量有相当大的一部分不以热的形式散失, 而把这部分能量贮存在 ATP 的高能键中, 并提供给机体的生命活动所利用。ATP 是由 ADP 磷酸化生成的, 因此, 在氢沿呼吸链逐步氧化的同时, 发生 ADP 转变为 ATP 的磷酸化过程。氧化作用释放能量, 磷酸化作用则吸收其能量。两个反应耦联在一起, 所以, 称这个过程为氧化磷酸化作用。

1.3.4 ATP 的生理功能

在线粒体内, 生成的 ATP 在腺苷酸转位酶催化下, 经交换转运而进入胞液, 供完成各种生理活动的需要。如维持细胞内外 Na^+ , K^+ 离子浓度梯度, 生物大分子(糖原、蛋白质、核酸等)的合成, 甚至

像葡萄糖、脂肪酸和甘油等分解代谢的开始阶段,也要 ATP 供能,而活化成能量较高的磷酸葡萄糖、磷酸甘油、脂酰 CoA 后才能进一步代谢。因此,ATP 与组织生长、修补、再生和能源供应有密切关系。

必须指出,体内某些合成反应并不一定都直接利用 ATP 供能,而以其它三磷酸核苷作为能量的直接来源。如 UTP 用于多糖合成,CTP 用于磷脂合成,GTP 用于蛋白质合成等。但是这些三磷酸核苷分子中的高能磷酸键并不能在物质氧化的过程中直接生成,而是来源于 ATP,即物质氧化时释放的能量首先合成 ATP,然后再由 ATP 将高能磷酸键转给 UDP,CDP 或 GDP 生成相应的 UTP,CTP 或 GTP。ATP 分子中的能量还可转化为机械能,如肌肉收缩等。

当能量过剩时,ATP 与肌酸反应,在肌酸磷酸激酶的催化下,生成 ADP 和磷酸肌酸,磷酸肌酸为能量贮存形式,所含高能磷酸键不能直接应用。当机体消耗 ATP 过多,ADP 增多时,磷酸肌酸把高能键转给 ADP 生成 ATP,再供给生理活动利用,所以说,ATP 是能量释放、贮存和利用的关键物质。

1.3.5 能的转化与传递

1.3.5.1 总的情况 食物从食入到排出的流程,可用图 1-1 表示。

每一环节都牵连能的收支与传递。下面着重阐述达到营养库以后的能量转化,实质上是组织内细胞水平的能量转化。主要包括:

- (1)糖酵解循环(Glycolytic cycle);
- (2)三羧酸循环(Krebs cycle);
- (3)氧化磷酸化(Oxidative phosphorylation)三个循环,简示如图

1-2。

1.3.5.2 养分降解 在体内可供能量转化的基质有:葡萄糖、糖原、脂肪酸、甘油、氨基酸和发酵产生的乙酸、丙酸与丁酸。

(1)葡萄糖:在糖酵解阶段,一摩尔的葡萄糖分解为两个丙酮酸。

①葡萄糖经磷酸化成为葡萄糖-6-磷酸,消耗 1 分子 ATP。

②葡萄糖-6-磷酸的异构体转化为果糖-6-磷酸,又消耗 1 分子 ATP。

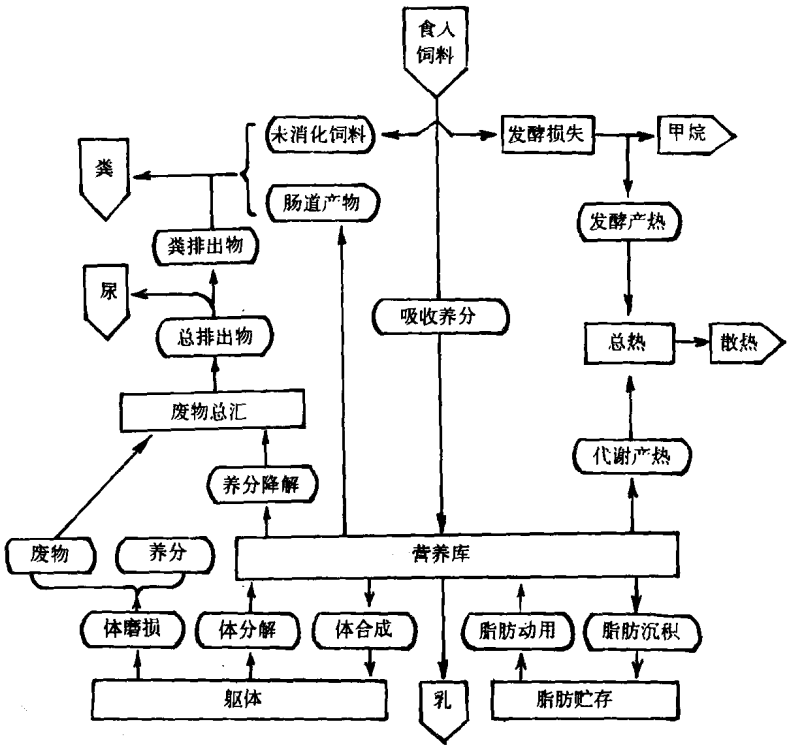


图 1-1 食物从食入到排出的流程

③在由 1,3-磷酸甘油向 3-磷酸甘油酸转化过程,以及由磷酸烯醇丙酮酸向丙酮酸转化过程中,共产生 4 分子 ATP。

④NAD 还原为 $\text{NADH} + \text{H}^+$ 参与氧化磷酸化循环,产生 3 分子 ATP。但 $\text{NADH} + \text{H}^+$ 从胞液进入线粒体要耗用 1 分子 ATP,故净产生 2 分子 ATP。因为 1mol 葡萄糖分解为 2mol 甘油醛,所以共得 4mol ATP。这样,葡萄糖在糖酵解循环中实际产生 6mol ATP ($-1, -1, +4, +4=6$)。