



动物饲料与安全

(八)

编者董原

目录

瘦肉精残留危害与动物性食品安全	1
污染饲料危害禽产品食品安全	6
纳米科技及其在当代畜牧业中的前景展望	12
初探国内外畜禽类用微生态制剂的研究进展	20
鸡抑制素的研究进展	27
蛋氨酸锌在反刍动物上的利用	35
纳米技术在中草药上的应用	40
畜禽生产中兽药残留的危害及其控制措施	43
大气气溶胶与畜禽和人体健康	51
绿色饲料添加剂—生物活性肽	58
饲料中有毒物质的控制	68
动物微生态制剂的研究进展	83
控制预混料内部发生反应的措施	92
饲料安全技术研究进展	96
饲料淀粉的过瘤胃技术	109
后喷涂液体添加剂配制注意事项	111
食品及饲料中动物性成分种类的鉴别方法	114
养禽业中一种很有希望的绿色饲料添加剂——螺旋藻	121
畜禽常用中草药饲料添加剂	127
无公害饲料添加剂的研究和应用	128
利用雨生红球藻生产天然色素——虾青素	134
酶制剂在玉米 - 豆粕型日粮中的应用	141

瘦肉精残留危害与动物性食品安全

随着经济发展和人民生活水平提高，社会对食品安全越来越关注。进入对世纪以来，人们呼吁吃安全肉，国家有关部门明令禁止在饲料中使用瘦肉精。瘦肉精是盐酸克伦特罗的俗称。

1 盐酸克伦特罗的特性

1.1 盐酸克伦特罗的性质及特点盐酸克伦特罗 (Clenbuterol, CL), 又名克喘素、氨哮素、双氯醇胺, 化学名为 β_2 -[(叔丁氨基)甲基 4-氨基-3,5-二氯苯甲醇] 盐酸盐, 分子式: $C_{12}H_{18}Cl_2N_2O \cdot HCl$, 分子量为 313.65。它是一种 β_2 肾上腺素受体激动剂, 是一种白色或类似白色的结晶体粉末, 无臭、微苦, 化学性质稳定, 加热到 172℃ 才能分解。因此, 一般的烹调加热方法不能将猪肉和脏器中残留的瘦肉精毒性破坏。

1.2 盐酸克伦特罗的危害由于盐酸克伦特罗对支气管平滑肌 β_2 受体具有兴奋作用, 所以临床上常作为支气管解痉药物, 口服或肌注后能选择性的松弛支气管平滑肌, 用于治疗哮喘。在 20 世纪 80 年代初, 美国一家公司意外发现, 将高于治疗剂量 5 - 10 倍以上 ($> 1 \mu g / kg \cdot g$) 盐酸克伦特罗应用于动物, 具有增加蛋白质沉积、减少脂肪的作用 (常秉文等, 2002)。这一新发现被一些国家应用于养殖业, 将其添加到饲料中可使动物生长速率、饲料转化率和胴体的瘦肉率提高 10% 以上, 并降低其脂肪含量, 这就是盐酸克伦特罗被称为瘦肉精的由来。然而长期使用会使该药蓄积在动物的组织中, 造

成组织中残留药物的浓度很高,人食用这种组织后 15min - 6h 就可出现中毒症状,通常表现为面色潮红、头痛、头晕、胸闷、心悸、心慌、骨骼肌震颤、四肢麻木等一系列不良反应。对心律失常、高血压、青光眼、糖尿病、甲状腺机能亢进、前列腺肥大等疾病的患者有较大的危害甚至危及生命(孔繁德等,2002)。

2 控制非法使用盐酸克伦特罗的措施

2.1 政府禁令为有效彻底杜绝使用盐酸克伦特罗,欧美各国均禁止在畜牧业生产中使用。一些欧盟国家执行盐酸克伦特罗最大残留限制规定,如英国规定每千克食用组织中盐酸克伦特罗的最大残留量为 $0.5 \mu\text{g}$,荷兰规定每千克肝中盐酸克伦特罗的最大残留量为 $1 \mu\text{g}$ 等。欧共同体国家已把盐酸克伦特罗残留作为肉品进口必检项目(孔繁德,2002)。美国食品药品监督管理局(FDA)和世界卫生组织(WHO)建议盐酸克伦特罗在动物组织中最高残留限量为:肉 $0.2 \mu\text{g}/\text{kg}$,肝 $0.6 \mu\text{g}/\text{kg}$,肾 $0.6 \mu\text{g}/\text{kg}$,脂肪 $0.2 \mu\text{g}/\text{kg}$,奶 $0.05 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。但至今没有任何国家批准盐酸克伦特罗作为兽用饲料添加剂(聂国荣,2001)。我国也早在1997年发布的《允许作饲料药物添加剂的兽药品种使用规定》中将瘦肉精排除在外。为保证香港市民吃上供港放心肉,1998年国家出入境检验检疫局在深圳召开紧急会议,规定生猪尿液中盐酸克伦特罗的最大残留浓度不能超过 $5\text{ng}/\text{mL}$ (苗丽等,2001)。为了进一步贯彻国家规定,杜绝非法制售、使用瘦肉精,农业部会同有关部门连续发文加大力度打击盐酸克伦特罗的非法使用。

2.2 样品监测目前国际上对动物组织中盐酸克伦特罗残留的监测方法分为色谱技术、免疫分析技术和生物

传感技术三大类(聂国荣, 2001)。

2.2.1 色谱技术包括高效液相色谱(HPLC)、高效液相色谱/二极管阵列(HPLC/PDA)、高效液相色谱/荧光(HPLC/Flu)、高效液相色谱/紫外(HPLC/UV)、液相色谱/质谱联用(LC/MS)、气相色谱/质谱联用(GC/FTIR)、气相色谱/傅立叶红外联用(GC/FTIR)。GC/MS可用于动物毛发、尿液及组织中盐酸克伦特罗的定性定量分析。样品从预处理到得出结果需要2天时间,检测下限为 $0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ 。

2.2.2 免疫分析技术常用酶联免疫吸附试验(ELISA),该法具有成本低、速度快、灵敏度高、仪器设备简单等特点,适于大批量样品的快速分析测定。目前我国所使用的该技术试剂盒,主要来源于德国 r - Biopharm 公司和英国 RANDOX 公司,中国兽医药品监察所也已研制出同类试剂盒,经多方面比较与国外产品有相当的可比性(叶尼等,2002)。该法常用于尿和组织样品中的残留测定。检测下限为 $1.0 \mu\text{g}/\text{mL}$ (尿样)、 $0.5\text{ng}/\text{g}$ (组织)。用 ELISA 试验方法检测的阳性结果,需要用其他方法证实。确证的方法有 GC/MS、LC/MS 和 GC/FTIR,通常用 GC/MS 确证。另外,该法检测结果假阳性机率较高,尤其当样品中含有抗生素或磺胺类药物时,会使结果呈假阳性。所以,生猪出栏前半月内不要使用抗生素和磺胺类药物,以免影响检测结果(杨曙明等,200)。

2.2.3 生物传感技术是用一部生物传感器外联电脑进行检测,可检测尿液、血清中的盐酸克伦特罗残留,检测毛发的技术正在推出。

目前,国内检测饲料中盐酸克伦特罗的常用方法有 HPLC/MS、GC/MS、HPLC 和 ELISA 等方法,通常以前两种

作为确认方法,后两种作为筛选方法。农业部 2001 年颁布的强制性行业标准—饲料中盐酸克伦特罗的测定 (NY - 438),包括 GC/MS 确证法和 HPLC 测定法两种方法,前者的检测下限为 0.01mg/kg,主要用于最后确认和仲裁;后者的检测下限为 0.05mg/kg,比 ELISA 等筛选法的假阳性率要低。这个强制性行业标准实用性强,能用于各种配合饲料、浓缩料、添加剂预混料及单一饲料的检测,既能适应当前的需要,又与国际检测方法接轨。

2.3 消费者识别消费者虽然很难从外观上准确识别出畜产品中是否有盐酸克伦特罗残留,但在选购猪肉时多加留意还是可以识别的。因喂过大量瘦肉精的肉外观特别鲜红,且瘦肉纤维比较疏松,时有少量“汗水”渗出肉面;而一般健康的瘦猪肉是淡红色,肉质弹性好,肉不会有“出汗”现象(孔繁德等,2002;郝玉花等,2002)。

3 盐酸克伦特罗屡禁不绝缘由

在我国,农业部早在 1997 年发布了《允许作饲料药物添加剂的兽药品种及使用规定》,1998 年又颁布了《关于严禁非法使用兽药的通知》等,明令禁止使用瘦肉精,每年都要开展打击非法生产、销售、使用盐酸克伦特罗的专项治理活动,下达残留监控计划,起到了一定效果,但并不是很理想。本人认为主要有以下四个方面的原因:1)主管部门分散,查禁工作难以步调一致。由于违禁药物生产、经营和使用涉及到许多部门环节,现行法律中没有明确哪个部门主要负责,在实际操作过程中可能出现各负责一方现象;2)法律法规滞后,部分环节没有明确规定,出现管理“真空”,查禁工作缺乏法律依据;3)标准制定滞后,检测工作开展了几年,但检测标准直到

2001年才颁布,且不少标准仍在制定和复核之中,另外,检测程序耗时较长;4)不法分子缺乏法律意识和道德意识,受暴利驱使挺而走险。

4 对策

综合相关因素,本人认为今后查禁工作应从以下几方面着手:1)加快动物食品安全立法步伐,坚决打击不法分子嚣张气焰;2)尽快完善检测标准,为畜产品质量监督管理提供可靠依据;3)全面加强残留检测工作,构建完善的残留检验检测工作体系;4)预防和抽检相结合,引入畜产品全过程质量管理新理念;5)营造舆论氛围,提高生产者、经营者和消费者的食品安全意识;6)加强政府扶持力度,为畜产品质量监督管理提供有力保障。只有形成政府重视、社会支持、人人关注的氛围,所有人都来关心食品安全,瘦肉精才会被彻底禁绝(时勇等,2002)。

我国已成为WTO成员国,我国畜产品在国际贸易中将面临更加激烈的竞争环境。我们应借鉴美国、欧盟等国家在畜产品生产和食品工业上实施良好的生产规范(GMP)、危害分析及关键控制点(HACCP)和全过程质量控制(IKB)等管理经验,并结合我国畜产品生产的特点,引入全过程质量控制的新理念,加强养殖、屠宰加工和销售环节的质量管理(时勇等,2002)。另外,要加快兽药残留监督立法进程,加大兽药残留监控投入,尽快建立完善兽药残留监控体系,使畜牧业持续、稳定、健康发展。

污染饲料危害禽产品食品安全

主要见之于加工或贮存不当引发的霉变饲料或是使用含有霉变原料生产的饲料，其中产生的霉菌毒素形成了饲料中的有害因子。

自然界广泛存在着黄曲霉菌，在高温高湿的环境中，当无有效防霉措施时，玉米、饼粕类、糠麸类等饲料原料及加工好的成品料，都十分易于滋生霉菌。据在我国 28 个省市 104 家饲料加工厂和饲养场采集的 80 份玉米中，霉菌数量超过允许范围和禁用指标的分别占 32.5%、20%（陈必芳等 1996）。霉菌毒素次生代谢产物 AFT 的毒性很强，致癌强度是“66 矿”的 2 万倍，其中以最多，对饲料可造成严重污染。禽类采食这类饲料后，因品种、年龄的不同而对毒素表现出有差异的敏感性，但即使是没有明显的表现出川吁中毒症状的禽，积累在禽产品中，未能降解的毒素依然存在并可危害人体健康。在日本曾有过食曲霉菌病引起人发病的报道（兵田辅一等 1988）。关于通过饲料中的 AFT 转移到鸡蛋内，并在蛋内检出 AFB₁、AFG₁ 也有过不少的报告（Lotzseh 和 teistmer 1976）。这样，人通过食物链的作用，就有可能投入对人体产生潜在危害的 AFT。

霉变饲料是动物恶性肿瘤的致病因素之一。尤其是禽类更为敏感。尽管人类的恶性肿瘤与家禽的恶性肿瘤有无直接关系至今尚无确切结论，但有统计资料表明，家禽恶性肿瘤的高发地区往往与人类恶性肿瘤的高发地区呈平行关系（王学新 1999）。而 AFT 通过禽产品食品

转移进入人体这一现象是存在的。

2 工业有害物质污染

2.1 剧毒类持续性有机污染物

自然界原本不存在而在工业生产过程中产生的一些有害有机化学物质，由于化学稳定性强，不易分解，在环境中持续存在并发生着污染作用，称为持续性有机污染物。例如 2 组共 210 种氯代三环芳烃类化合物组成的二恶英(Dioxin)，就是这种环境毒物之一。二恶类具有高亲脂特性，能在脂肪中高度溶解，极易蓄积在禽产品脂肪和蛋黄中，继而通过食品途径转移至人体内。

因环境毒物引起饲料污染的事件多有报道。早在 1968 年，日本福岗公就发生过米糠配制的饲料中，由于使用了污染有多氯化联苯(PCB)的油，使大量肉鸡发生中毒，并危害到禽肉的消费者。随后，在我国台湾也曾发生过类似食用油病。最为严重的则是 1999 年比利时“污染鸡”事件，福格拉公司把动物肥油和废机油混在一起，作为饲料原料销给了比、德、荷、法四国共 13 家饲料厂，仅比利时就造成 2700 多家养殖场受害。通过饲料被污染的动物产品不仅有鸡蛋、鸡肉等，还有以这些产品为原料的加工食品就达 200 余种。经权威部门测定，当时鸡肉中二恶英含量是 WHO 规定标准的 140 - 1500 倍。

生态环境的严重污染也会增加二恶英污染饲料的概率。如过度不。合理地使用氯系化学物质的农药；塑料之类的含氯垃圾焚烧时温度低于 850T；纸浆漂白和工业冶炼过程中使用含氯清除剂；燃油燃烧不充分的汽车尾气等，都可能产生二恶英，当累积到一定浓度时，二恶英粒子山能会污染农作物进俚累积于饲料原料。以鱼类为例，二恶英粒子随雨落到江湖河海，被水中的浮游生

物吞食，在浮游生物体内被小鱼吃掉，小鱼又被大鱼吃掉，通过逐级积淀浓缩，此时聚在大鱼体内的二恶英浓度已是水中的 3000 多倍（殷振邦 1999）。利用这类鱼作禽类饲料原料或直接加工食品；禽及其处于食物链顶峰的人类肯定都难免其害。

2.2 其它外源性毒性污染物

农药、杀虫剂、除草剂、消毒剂、灭鼠剂等，往往由于不合理的滥用而污染了环境和饲料。这些外源性毒性物中有许多含有机磷、有机氯、有机氟和汞、砷、铅等。污染饲料的汞剂不单来源于农药，有时出自于饲料中的鱼粉内，与水体受污染有关。工业废水污染严重的水域所生产的鱼粉，汞含量是非污染区的近 5 倍（朱蓓蕾 1988）。由于汞容易和卵蛋白相结合，移行到鸡蛋中的甲基汞，其中 80% 蓄积在蛋白中，最终必然危害食用这类蛋品的人。而氟的污染来自于利用高氟地区的动物副产品生产的骨粉、肉粉和利用高氟磷矿石并不经过脱氟工艺生产的过磷酸盐添加剂。当今，自然界铅的污染已十分严重，除了一些农药含铅外，环境污染亦不可忽视。残留在农作物的铅通过饲料途径，由鸡食入而移行至蛋内的情况也多次被证实。人长期食用含铅较多的食品可致胃癌、肠癌和肾癌。

3 开发托资源和资源再利用过程中的有害物质污染

3.1 污水处理过程中对毛的沉淀物

1998 年，欧盟一个调查小组曾披露法国中西部地区至少有 5 家饲料厂涉嫌用污水处理油中的沉淀物来生产畜禽饲料。这种污水沉淀物内含有重金属、二恶英及一些超级细菌，通过饲料途径进入名食体内并蓄积在其产品中，人食用后转移到人体，最终可能会损害人体的脑

部、肌肉、心脏、神经系统及其他器官。

3.2 石油酵母

为提取炼油过程中的腊质而培养石油酵母菌，最终又由炼油后残渣提出石油酵母，除去有害物质后，可用作畜禽的蛋白质饲料。但当石油酵母内的有害物质去除不全时，强致癌物质 3 - 4 苯并兹就可能产生有害作用。

3.3 泥炭

泥炭中含有丰富的有机物质，其中以腐植酸为主，含量可达 30% 左右，还含有芳香核物质，作为饲料添加剂。对刺激畜禽食欲、促进畜禽生长、降解禽排泄物中氨气都有一定的作用。但应当注意泥炭的细菌消毒问题，否则其易受到结核杆菌污染。

3.4 皮革蛋白粉

利用皮革碎屑可生产畜禽蛋白饲料，其粗蛋白质含量达以上。但皮革蛋白生产过程中须有严格的去铬工艺。否则，大量的残留铬将严重污染饲料，其对禽和人的责任很强，不仅干扰许多酶的活性，损伤好东西且是口腔癌、食道癌、直肠癌、肺癌的致病因子之一。

4 病原生物体污染

本文涉及到的是病原生物体污染饲料后，通过饲料又污染禽产品的一些典型个例，但病毒类疫病对饲料的污染情况不在讨论之列。

4.1 沙门氏菌

沙门氏菌可通过饲料侵入禽的消化道内。一旦感染，首先引起小肠炎，随后病原菌穿过肠壁，借血液循环扩散到禽体全身。人要食用这种未经消毒或烹调不当的禽肉后，能发生感染病。仅在美国，每年就约有 200 万沙门氏菌中毒病历发生。沙门氏菌污染饲料的途径主要是

通过鼠、猫、狗等带菌动物实现的。另外，当利用废弃动饲料副产品加工饲料原料时，往往可能被沙门氏菌污染的比例可高达 30% 以上。鱼粉也是经常易遭到污染的饲料原料之一。

4.2 金黄色葡萄球菌

大多是通过肉粉、肉骨粉、鱼粉、骨粉、血粉等的污染进入动物机体，尤其是禽类表现更为明显。佐滕(1975)曾在一家禽屠宰厂的鸡肉里检出 48% 污染有金黄色葡萄球菌，而 Roberts (1972) 在 172 份冷冻鸡肉材料中曾检出过 108 有金黄葡萄球菌，其中有 70 株能产生肠毒素，经证实与饲料污染有关。

除沙门氏菌、金黄色葡萄球菌外，大肠杆菌、李斯特氏菌、产气荚膜梭菌等都可发生类污染。

4.3 弓形虫

在生的禽肉、鸡蛋等食品中查到弓形虫包囊多有报道，也有引起人发病的报道。猫科动物是弓形虫病的终宿主，受到感染的猫，最事时可惜上千个卵囊长期保留在自然界。我国东北司习场鸭群弓形虫病不断，将常年活动在饲料库内的两种野猫捕捉后，检查其粪便，查到大量的弓形虫卵囊，证实了是野猪粪便污染饲料引起的。

5 药物添加剂使用不当

有的地方，饲料生产中违反科学原则，滥用药物和添加剂的问题已十分严重。

5.1 抗生素和驱虫药

抗生素由饲料转移至禽肉、禽蛋中的问题早受到人们的关注，焦点是食用这类动物性食品时，其中抗生素残留及对人体的危害性。目前，更严重的问题是抗生素

在饲料中的添加剂量越来越高，类型也从窄谱发展为广谱，甚至出现了滥用现象。大量的测定已证实了饲料中抗生素和驱虫药含量越多，向禽产品中的转移也越高，对人体健康的危害就越大。

鉴于饲用抗生素的负面效应，近年来一些国家纷纷采取了限制性措施。1988年，瑞典开始在饲料中停止添加抗生素。到九十年代初，美国FIA要求清除药残的药物添加剂有数十种，其中绝大部分是抗生素和驱虫药。日本也在饲料安全法中明确规定了抗生素的停药期，从1999年起，以自开始禁止在饲料中添加抗生素。

5.2 激素和类激素药物

在饲料中添加激素和类激素的药物作为动物的住生长剂已有多年的历史。目前，在禽类饲料中自加激素类药物已被普遍禁止。但对于类激素类药物，有人认为对改善肉禽生产性能和胴体组成，尤其是提高瘦肉率方面效果显著，如一肾上腺素能激动剂（CL等）就是其中之一。后来发现，当人经常食用添加L饲料所饲养动物的肉产品后，该类物质进入人体并积累、达到一定量时会使人出现血压增高，心跳加快、气喘、多汗、手足颤月、抗头等症状，俗称“抖抖病”。九十年代以来，已在多个国家披露陆续有数百人发病的报道。

5.3 其它添加剂的过量使用

有的添加剂过量使用亦可污染饲料而产生许多副作用。如禽类保生长剂硝喹烯醇，有致癌和致畸的副作用；喹乙醇有较强的致染色体断裂而诱发机体细胞突变的副作用；有一种畜禽生长素，可使机体白血病的发病率上升9倍（王学新1999）。

总之，污染饲料危害禽产品食品安全应当引起业界

同行的重视,我们在禽业生产中应杜绝和避免饲料污染。否则,在我国加入 WTO 后,我国养禽业将会降低市场竞争力。

纳米科技及其在当代畜牧业中的前景展望

目前,在科技界耳熟能详的纳米技术已成为继互联网、基因等词后人们关注的又一热点。纳米科技是在 20 世纪 80 年代末、90 年代初才逐步发展起来的前沿。交叉性新兴学科领域,它的迅猛发展将成为对世纪科学技术发展的主流。它不仅是信息技术、生物技术等新兴领域发展的推动力,而且因其具有独特的物理、化学、生物特性为畜牧业的发展提供了新的机遇。

1 纳米科技的定义及发展过程

1.1 纳米科技的定义

纳米科技中的“纳米”是国际长度单位之一,用 1nm 表示。 $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ 。纳米科技是指在纳米尺度(1nm 到 100nm 之间)上研究物质(包括原子、分子的操纵)的特性和相互作用,以及利用这些特性的多学科交叉的科学和技术。当物质小到 1nm 至 100nm 时,由于其量子效应、物质的局域性及巨大的表面及界面效应,使物质的很多性能发生质变,呈现出许多既不同于宏观物体,也不同于单个孤立原子的奇异现象。它的最终目标是直接以原子、分子及物质在纳米尺度上表现出来的新颖的物理、化学和生物学特性制造出具有特定功能的产品。

1.2 纳米科技概念的提出与发展

最早提出纳米尺度上科学和技术问题的专家是著名

的物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼 (R.Feynman, 1959 年, 他在加州理工学院做了题为《There is plenty of room at the bottom》的演讲中提到: 如果有一无可以按人的意志安排一个个原子, 那将会产生怎样的奇迹? 他预言, 化学将变成根据人们的意愿逐个的准确的放置原子的问题。时间推移了不到半个世纪, 这个奇迹已经成为灿烂的现实。

1981 年 Gred Binnig 与 Heirich Rohrer 发明厂纳米科技研究的重要工具——扫描隧道显微镜 (Scanning Tunneling Microscope, STM) 不久, 原子力显微镜 (Atomic Force Microscope, AFM) 也问世, 它们对纳米科技的发展起到了积极的促进作用。1989 年, IBM 公司用 STM 移动羸原子, 在镍晶体表面上“写”出了由 35 个流原子组成的“IBM”字样。不久, 日本日立公司用 STM 移去二硫化钼晶体表面上的一些原子, 留下的原子空位组成了每个字母只有 1.5nm 高的“PEACE '91”字样。纳米技术正式步入科学技术界是以 1990 年 7 月在美国巴尔的摩召开的第一届国际纳米科学技术会议与第五届国际扫描隧道显微学会议的同时举办。1991 年日本 NEC 公司的 Sumio Iijima 发现了碳纳米管。随后,《纳米技术》与《纳米生物学》两种国际性专业期刊也相继问世, 把人类带入一个生机勃勃的高新技术领域——纳米科技领域。

2 纳米材料的基本特性

当物质 (材料) 的结构单元 (如晶粒或空隙) 小到纳米量级时, 物质的性质发生重大变化, 表现出表面效应、小尺寸效应。量子尺寸效应和宏观量子隧道效应。

2.1 表面效应

纳米材料的表面效应指纳米粒子的表面原子数与总

原子数之比随粒径变小而急剧增大后，表面能大大提高引起性质上的变化，微粒表面具有很高的活性，极不稳定，易与其它原子结合。如在空气中金属颗粒会迅速氧化而燃烧，无机纳米粒子暴露在空气中会吸附气体，并与气体发生反应。

2.2 小尺寸效应

小尺寸效应指由于纳米粒子体积小所包含原子数很少而引起的不能用通常有限个原子的块状物质的性质加以说明的特殊现象，随纳米粒子直径的减小，能级间隔增大，电子移动困难，电阻率增大，从而使能隙变宽，金属导体变为绝缘体。

2.3 量子尺寸效应

量子尺寸效应指当纳米粒子的尺寸下降到某一值时，金属纳米能级附近的电子由准连续变为离散能级的现象以及纳米半导体微粒存在不连续最高被占据分子轨道和最低未被占据分子轨道能级而使能隙变宽的现象。这会导致纳米微粒磁、光、声、热、电以及超导电性与宏观特性有显著不同。

2.4 宏观量子隧道效应

电子具有粒子性又具有波动性，因此存在隧道效应。近年来，人们发现一些宏观物理量，如微颗粒的磁化强度。量子相干器件中的磁通量等亦显示出隧道效应，称之为宏观的量子隧道效应。量子尺寸效应、宏观量子隧道效应将会是未来微电子、光电子器件的基础，或者它确立了现存微电子器件进一步微型化的极限，当微电子器件进一步微型化时必须要考虑上述的量子效应。

以上这些特性不仅大大改善了原有材料的性能而且出现新的性能或效应，其器件或制品会引起工业、农业、

医疗和社会的重大变革，同时也将推动基础研究领域的发展。

3 纳米科技在畜牧业中的应用前景

美国政府将纳米科技与当代科技的三大支柱——基础科学、生物医学、信息技术相提并论了。由此可见，纳米技术很可能成为本世纪前 50 年的主导技术，并为交叉学科的发展提供了新的思路。迄今为止，还未见畜牧业中有关纳米技术的研究报道。但纳米技术作为一项新兴技术必将在畜牧业生产中发挥积极的作用。本文就从以下几个方面展望纳米技术在畜牧业中的应用前景。

3.1 纳米微粒营养物在动物胃肠道吸收中的作用

Florence (1998) 指出：营养物质的颗粒大小是影响胃肠道对其吸收的一个关键因素。Eldridge, Damge, Jam 也证实了这一结论。Jam 究了 3 种不同大小的聚苯乙烯微粒 (500nm, 500nm, 1 μ m) 在淋巴集结、肠系膜、肝、脾中的吸收程度及分布速度。实验表明：给小

鼠口服药物后 6h 内，500nm 粒子在淋巴集结中被发现共有最大程度的吸收，比 500nm 和 1 μ m 粒子吸收的快。500nm 微粒给药 18h 后在肝、脾中发现。而 1 μ m 粒子给药 18h 后才在肝上、24h 后在脾上发现有很少的分布，而且仅有少量吸收。这就证明了微粒尺寸的大小对胃肠道的吸收有很大的影响，而且影响其体内分布。研究表明：粒径小于 5 μ m 的微粒可通过肺，粒径小于 300nm 的微粒可进入血液循环，小于 100nm 能进入骨髓，因此纳粒系统更易通过胃肠粘膜，使其透皮吸收的生物利用度得以提高。Desai 目前在小鼠中的研究实验表明：1000nm 粒子比其它大粒子的吸收率高 10 - 250 倍。分析其原因可能是由于纳米微粒具有小尺寸效应和表面效