动物营养学报 2013，25( 8) : 1703-1707

Chinese Journal of Animal Nutrition

doi: 10． 3969 / j． issn． 1006-267x． 2013． 08． 007

稀土壳糖胺螯合盐生物学功能及其在动物生产中的应用

户如霞1，2 程建波1 卜登攀1\* 李发弟2

( 1． 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193;

2． 甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070)

摘 要: 本文综述了稀土壳糖胺螯合盐的理化性质、生物学功能及在动物生产中的应用，旨在

为稀土壳糖胺螯合盐作为新型饲料添加剂在动物生产中的应用提供依据。

关键词: 稀土壳糖胺螯合盐; 生物学功能; 动物生产

中图分类号: S816． 7 文献标识码: A 文章编号: 1006-267X ( 2013) 08-1703-05

多年来，抗生素一直作为畜禽促生长性的饲料添加剂，但长期使用造成了诸多不良后果，如肉蛋奶中的残留、组织及代谢产物中的沉积、耐药性及抗药性等。欧盟于 2005 年已经全面禁止抗生素作为饲料添加剂的使用。因此，研究和开发具有促生长作用的抗生素替代品已成为研究的热点之一。稀土壳糖胺螯合盐是一种有类似抗生素作用的生物质材料［1］，是利用稀土硝酸盐与壳糖胺为原料，经特殊的电化学工艺加工而成的一种新型饲料添加剂，安全性高。由于其同时具备稀土元素和壳糖胺的众多生理功能，适量添加能够促进动物体内生长因子和激素的释放，提高机体内的酶活、动物免疫力和生长性能等。因此，本文对稀土壳糖胺螯合盐的理化性质、生物学功能及其在动物生产中的应用进行综述，为其在动物生产中的合理应用提供参考。

# 稀土壳糖胺螯合盐的理化性质及制备

稀土壳糖胺螯合盐是通过稀土离子与壳糖胺分子上的氨基( —NH2 ) 和 β － 1，4 － 糖苷键上的羟基( —OH) 进行配位螯合形成的一种新型饲料添加剂。工业中通常是将稀土硝酸盐与壳糖胺通过特殊的电化学工艺，并将壳糖胺作为稀释载体来

收稿日期: 2013 － 03 － 22

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助( nycytx -04 -01 )

包裹稀土进行加工而成。

稀土壳糖胺螯合盐为浅黄色粉末状物质，在空气中很稳定，不溶于水、乙醇、乙醚、甲醇; 能溶于 N － 二 甲 基 甲 酰 胺 ( DMF ) 、 二 甲 基 亚 砜( DMSO) ［2］。王科军等［3］ 研究得出，低聚壳聚糖稀土铈( Ⅲ) 配合物粉末难溶于一般的有机溶剂如丙酮、乙醇等，在水中的溶解性较差，在一元稀酸如盐酸、醋酸中有较好的溶解性，但在二元以上的稀酸如硫酸、磷酸中的溶解性一般。

稀土壳糖胺螯合盐中的壳糖胺可通过特异性和非特异性 2 种方式进行降解，目前已经发现专门降解壳糖胺的几丁质酶和壳糖胺酶，另外溶菌酶、脂肪酶、木瓜蛋白酶和聚糖酶等非专一性酶也可以对壳糖胺进行降解。同时由于过氧化氢 ( H2 O 2 ) 的氧化能力很强，它 生成的羟自由基( ·OH) 和超氧阴离子自由基( O － ·) 可以氧化壳糖胺分子上的 β － 1，4 － 糖苷键，从而对壳糖胺分子进行降解。酸性条件下的 H + 也可以攻击 β － 1，4 － 糖苷键上的氧原子，导致糖苷键的断裂，使壳糖胺降解为分子质量较低的低聚壳糖胺。有研究发现，无论有无金属或过渡金属离子的存在，壳糖胺金属配位化合物的降解产物结构并无显著差异，可认为壳糖胺金属配位化合物的降解机制与

2

作者简介: 户如霞( 1986 —) ，女，河南商丘人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: ruxiahu8899 @ 163 ． com

\* 通讯作者: 卜登攀，副研究员，硕士生导师，E-mail: burdenpan@ gmail． com

1704

壳糖胺单独降解机制大致相同［4］。

动 物 营 养 学 报 25 卷

有一定作用［12］。体外试验研究表明，壳寡糖与稀土离子 Pr3 + 、Dy3 + 形成的配合物对·OH 的清除能

# 稀土壳糖胺螯合盐的生物学功能

2． 1 抑菌作用

杨自芳等［2］ 体外试验研究表明，稀土壳糖胺螯合盐对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有很好的抑 制作用，最小抑菌浓度在 200 ～ 300 μg / mL 范围内( 低于 800 μg / mL 即被认为有抑菌作用) 。此外， 稀土壳糖胺螯合盐中的壳糖胺还可以选择性的作 用于肠道内的菌群，提高乳酸杆菌等有益菌群数量［5］，抑制有害菌群生长，但抑菌性能与稀土镧离子、壳糖胺的摩尔配比呈正相关，其机理可能是稀 土壳糖胺螯合盐首先破坏了细菌的细胞壁和细胞 膜后，进入到细菌内部产生了抑制作用［6］。

2． 2 提高机体免疫力

稀土壳糖胺螯合盐在机体内降解后的产物壳糖胺成分可以通过提高碱性磷脂酶 A2 的活性，影响免疫细胞内花生四烯酸的合成与释放，进而启动机体内的特异性免疫应答［7］。另外稀土壳糖胺螯合盐还可以提高诱导型一氧化氮酶的活性，影响免疫细胞内一氧化氮的合成，进而通过其自身的细胞毒性作用启动非特异性免疫［8］。汪明等［9］ 在鲫鱼饲料中添加不同水平的稀土壳糖胺螯合盐，在试验前期、中期可以提高血清中超氧化物歧化酶、溶菌酶的活性，对脾脏指数、头肾指数也有一定的增加作用，但对试验后期的鲫鱼免疫力影响不大或者有降低作用。

1. 3 抗氧化作用

稀土壳糖胺螯合盐中的壳糖胺对肝脏组织的 脂质过氧化有一定影响，可以清除机体内的部分 自由基。卢美滦等［10］研究得出，壳糖胺有类似于 抗生素的作用，可通过调节相关抗氧化防御酶系 的超氧化物歧化酶等酶的活性来降低机体的脂质 过氧化水平，进而使机体免受脂质过氧化损伤。刘静娜等［11］给高脂血症大鼠饲喂壳糖胺，显著降 低了高脂饮食引起的血清游离脂肪酸含量上升的 比例，减少了脂质过氧化物代谢产物丙二醛的含 量，提高了机体主要的抗氧化酶超氧化物歧化酶 和谷胱甘肽过氧化物酶的活性。给维斯塔大鼠饲 喂低聚壳聚糖使甘油三脂含量降低了 29% ～ 31% ，高密度脂蛋白含量升高了 8% ～ 11% ，但对低密度脂蛋白含量无显著影响，说明添加低聚壳 聚糖有益于脂类代谢的调节，对预防脂质过氧化

力更强，且配合物比单一壳糖胺对·OH 的清除能力更强［13］。汪承润等［14］ 给小鼠腹腔注射低剂量( 10 ～ 40 mg / kg BW ) 硝酸镝时，小鼠肝脏超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶 3 种抗氧化酶活性随剂量增加而升高，可以清除部分自由基， 减轻了染色体损伤。

# 稀土壳糖胺螯合盐在动物生产中的应用

1. 1 家禽

给产蛋后期的蛋鸡分别饲喂含 0． 1% 和0． 3%稀土壳糖胺螯合盐的饲粮，产蛋个数显著提高了4． 2% 和 6． 0% ，总产蛋量提高了 4． 0% 和 4． 5% ，料蛋比降低了 6． 7% 和 7． 5% ［15］。万辉等［16］研究得出，蛋鸡饲粮中添加不同水平( 0． 05% 、0． 10% 、 0． 15% 、0． 20% ) 的稀土壳糖胺螯合盐，可以显著提高蛋鸡对饲粮干物质及钙的表观代谢率，促进 氮在体内的存留和利用，有效调节营养物质的消化吸收，且达到 0． 20% 的添加水平时，对粗蛋白质及磷的表观代谢率的影响达到显著水平; 同时，随添加水平的递增，小肠食糜中胰蛋白酶及淀粉酶 活性均在一定范围内呈现上升的趋势。Agbede 等［17］给 120 日龄火鸡分别饲喂 85． 3、171． 0 和 256． 0 mg / kg 氧化镧时，使整个生长期火鸡总增重提高了 3% ～ 5% ，且 171． 0 mg / kg 剂量时饲料转化率最低。肖凯等［18］研究表明，稀土壳糖胺螯合 盐还可以在适当降低蛋白质饲料原料用量的情况 下而不影响生产性能，甚至有提高生产性能的作 用，节省了蛋白质类饲料原料。张义等［19］ 研究表明，在 四川乌骨鸡饲粮中分别添加不同水平( 0． 10% 、0． 15% 、0． 20% ) 的稀土壳糖胺，血清钙含量最高可以提高 13． 4% ; 血清总胆固醇含量和碱性磷酸酶活性分别降低了 18． 7% ～ 22． 8% 、 10． 8% ～ 35． 3% ，对机体内营养物质的代谢起到了调控作用; 且添加 0． 10% 稀土壳糖胺螯合盐时还使心脏、肝脏、肾脏中 Na + -K + -ATP 酶活性显著提高了30． 5% ～ 40． 7% ，Ca2 + -M g2 + -ATP 酶活性提高了 25． 93% ～ 139． 00% 。李新民［20］ 发现，镧

( La3 + ，0． 5 μmol / L ) 对 Na + -K + -ATP 酶和 Ca2 + -

Mg2 + -ATP 酶有较好的激活作用。其机理可能是稀土壳糖胺螯合盐中的稀土离子由于具有特殊的4f 电子结构，可以通过直接与蛋白质结合的途径，

8 期 户如霞等: 稀土壳糖胺螯合盐生物学功能及其在动物生产中的应用

1705

参与竞争酶的活性位点，从而影响机体内的酶活 性。同时，稀土离子是一种“激活剂”，能够激活钙 离子通道，促进钙离子内流，使钙离子含量上调， 激活内脏 ATP 酶的活性［21］。

3． 2 猪

在猪饲粮中添加 0． 2% ～ 1． 0% 的稀土甲壳素，使得生长肉猪体增重提高了 5． 4% ～ 10． 1% ，饲料报酬提高了 3． 0% ～ 14． 4% ，经济效益增加了 7． 3% ～ 36． 8% ［22］。许甲平等［23］给保育期仔猪饲喂 250 g / t 的稀土氨基酸螯合盐，试验组仔猪采食量和日增重分别提高了 2． 9% 和 3． 6% ，料重比降低; 添加剂量增至 350 g / t 时，虽然采食量降低了11． 4% ，但日增重却提高了 2． 9% ，料重比也比对照组显著降低，改善了保育期仔猪的生长性能。张彩芬等［24］研究表明，添加 0． 01% ～ 0． 05% 的壳糖胺可以提高 60 日龄仔猪的日增重和日采食量， 降低料重比，其原理可能与添加壳糖胺增加了血 清中胰岛素样生长因子 － Ⅰ和生长激素含量有关。给猪饲喂含 100 g / kg 的稀土镧的饲粮使日增重提高了 12． 95% ，饲料转化率提高了 6． 78% ，血清中生长激素含量峰值、基线水平和激素含量分别增加了 80． 42% 、70． 99% 和 64． 91% ，差异显著［25］。He 等［26］研究得出，给 7． 5 kg 仔猪饲喂镧化合物，平均日增重提高了 3% ～ 5% ，饲料利用率提高了 7% ，但未达到显著水平，给 17． 5 kg 仔猪饲喂镧化合物，平均日增重和饲料利用率分别提 高了 19% 和 10% 。

3． 3 水产动物

在比目鱼饲料中添加 300 mg / kg 的稀土壳糖胺螯合盐，可以显著提高生长性能，降低饲料系 数; 使血清中细菌吞噬指数和超氧化物歧化酶活性显著提高; 但添加至 600 mg / kg 时则使鱼体蛋白质组分、脂类含量降低，出现了负面影响，同时 降低了免疫能力，血清中超氧化物歧化酶活性和 丙二醛含量减少［27］。宋 理平等［28］ 给幼鱼饲喂0． 15% 稀土壳糖胺螯合盐( 试验 1 组为优质蛋白质原料、试验 2 组为低质蛋白质原料) ，试验 1、2 组的增重率分别比对照组提高了 8． 8% 和 1． 0% ，饲料系数降低了 8． 3% 和 1． 0% ，蛋白质效率升高了 5． 5% 和 1． 1% 。另外，稀土壳糖胺螯合盐还可以在一定程度上提高水体净化能力，改善水质，但 与饵料的投放量有很大关系［29］。在鲫鱼饲料中添加不同水平( 0． 08% 、0． 16% 、0． 24% ) 的稀土壳糖

胺螯合盐，使肠道淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶活性分别提高了 37． 7% ～ 48． 1% 、121． 5% ～ 190． 2% 、 362． 1% ～ 542． 2% ; 但添加这 3 个水平的稀土壳糖胺螯合盐对肝胰脏消化酶活性无显著影响［30］。3． 4 反刍动物

给滩羊分别饲喂 10、15、20 mg / kg BW 的硝酸稀土，使得血液中总蛋白、白蛋白、血红蛋白和尿素氮的含量分别提高了 3． 7% ～ 9． 5% 、6． 6% ～ 10． 3% 、1． 7% ～ 3． 0% 、17． 9% ～ 30． 7% ，说明添加稀土可以提高血液中的有机成分，但随剂量的递增，理化指标水平有先升高后降低的趋势［31］。3． 5 毒理学研究

对稀土壳糖胺螯合盐的急性毒性和致突变性 的试验研究表明，给小鼠经口分别灌胃 1 000、2 150、4 640、10 000 mg / kg BW 的稀土壳糖胺螯合盐，观察 2 周，均未出现中毒和死亡现象，其半数致死量( LD 50 ) 大于 10 000 mg / kg BW ，毒性低， 属实际无毒级物质; 小鼠骨髓嗜多染红细胞微核试验和精子畸形试验研究也未显示有任何致突变 性，也得出急性毒性剂量大于或等于使用量的 300 倍者，则不必进行慢性毒性试验，可进行安全性 评价［32］。

# 小 结

稀土壳糖胺螯合盐作为一种天然性饲料添加剂可以提高饲料利用率和动物生产性能，增加经济效益。我国稀土资源丰富，壳糖胺来源充裕，价格低廉，因此稀土壳糖胺螯合盐在动物生产中有着很好的应用前景。目前，稀土壳糖胺螯合盐在单胃动物中应用研究已经很多，但在反刍动物中的应用资料还相对缺乏，所以，应深入研究稀土壳糖胺螯合盐对反刍动物生长性能的影响及其作用机制，以补充和扩展其应用领域，促进反刍动物养殖业的健康发展。

参考文献:

［1 ］ HAN Y K ，THACKER P A． Effects of antibiotics，

zinc oxide or a rare earth mineral-yeast product on performance，nutrient digestibility and serum parame- ters in w eanling pigs［J］． Asian-Australasian Journal of Animal Sciences，2010，23( 8) : 1057 － 1065．

［2 ］ 杨自芳，何其庄，许东芳，等． 稀土壳聚糖配合物的制备、表征和抑菌性能研究［J］． 稀土，2009，20 ( 6 ) :

1706

动 物 营 养 学 报 25 卷

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 50 － 54． | ［17］ | AGBEDE J O ，ARIM AH A A ，ADU O A． Grow th- |
| ［3 ］ | 王科军，温和瑞，刘芳，等． 低聚壳聚糖稀土铈( Ⅲ) |  | enhancing，health impact and bacteria suppressive |
|  | 配合物的合成与光谱表征［J］． 光谱学与光谱分析， |  | property of lanthanum supplementation in broiler |
|  | 2006，26( 7) : 1277 － 1280． |  | chicken［J］． Archiva Zootechnica，2011，14 ( 2 ) : 44 － |
| ［4 ］ | 尹雪琼，张 岐，林 强，等． 低聚壳聚糖及其稀土 |  | 56． |
|  | ( LaCl3 ·nH2 O ) 配合物的抗氧化活性研究［J］． 食 | ［18］ | 肖凯，赵胜军，郑中朝，等． 添加稀土壳糖胺螯合盐 |
|  | 品科学，2002，23( 2) : 27 － 30． |  | 条件下不同蛋白水平饲粮对蛋鸡生产性能的影响 |
| ［5 ］ | 史彬林，李德发，朴香淑． 壳聚糖对肉仔鸡生长性能 |  | ［J］． 中国饲料，2007( 4) : 25 － 29． |
|  | 及免疫功能的影响［J］． 中国畜牧杂志，2005，41 | ［19］ | 张义，周定刚，刘宏伟． 稀土壳聚糖对四川山地乌骨 |
|  | ( 1) : 9 － 11． |  | 鸡生长性能、血清生化指标及 ATP 酶活性的影响 |
| ［6 ］ | 冯小强，李小芳，杨声，等． 壳聚糖镧配合物的制备、 |  | ［J］． 中国家禽，2008，30( 16) : 12 － 15． |
|  | 表征及其抑菌性能［J］． 食品工业科技，2010，2 | ［20］ | 李新民． 镧和钙对人红细胞膜的作用［J］． 中国稀土 |
|  | ( 31) : 304 － 306． |  | 学报，1995，13( 9) : 257 － 259． |
| ［7 ］ | BIANCO I D ，BALSINDE J，BELTRAM O D M ，et | ［21］ | LAKSHNFI R，KUNDU R，M ANSURI A P． Toxicity |
|  | al． Chitosan-induced phospholipase A2 activation and |  | of mercuri to mudskipper，boleophthalmus dentatus |
|  | arachidonic acid mobilization in P388D1 macrophages |  | ( Cuy and Va1) ． Part 1: changes in the activity of AT- |
|  | ［J］． The European Society of Biochemical Federation |  | Pase in gills［J］． Acta Hydrochimica et Hydrobiologi- |
|  | Express，2000，466: 292 － 294． |  | ca，1990，18( 5) : 605 － 611． |
| ［8 ］ | M ILLS C D． M olecular basis of‘supp ressor’macro- | ［22］ | 顾振权，宋锦昌． 稀土甲壳素对生长肉猪的效应研 |
|  | phages: arginine metabolism via the nitric oxide syn- |  | 究［J］． 稀土，1993，14( 4) : 31 － 33． |
|  | thase pathw ay［J］． Journal of Immunol，1991，146: | ［23］ | 许甲平，鲍宏云，邓志刚，等． 稀土元素氨基酸螯合 |
|  | 2719 － 2723． |  | 物对保育期仔猪生产性能的影响［J］． 饲料工业， |
| ［9 ］ | 汪明，刘军，黄峰，等． 稀土壳聚糖对鲫鱼非特异性 |  | 2012，33( 8) : 60 － 62． |
|  | 免疫力的影响［J］． 粮食与饲料工业，2010( 9 ) : 52 － | ［24］ | 张彩芬，史彬林，金晓，等． 壳聚糖对仔猪生长性能 |
|  | 54． |  | 及血清中类胰岛素生长因子 － Ⅰ和生长激素水平 |
| ［10］ | 卢美滦，邱晓燕，宋玉芳，等． 壳聚糖对肉鸡抗氧化 |  | 的影响［J］． 动物营养学报，2008，20( 2) : 191 － 195． |
|  | 能力及生产性能的作用［J］． 生态学杂志，2008，27 | ［25］ | WANG M Q ，XU Z R． Effect of supplemental lantha- |
|  | ( 10) : 1749 － 1752． |  | num on the grow th performance of pigs［J］． Asian- |
| ［11］ | 刘静娜，张家骊，夏文水． 壳聚糖降低脂质过氧化作 |  | Australasian Journal of Animal Sciences，2003，16 |
|  | 用的研究［J］． 食品与生物技术学报，2010，29 ( 6 ) : |  | ( 9) : 1360 － 1363． |
|  | 836 － 841． | ［26］ | HE M L，RAM BECK W A． Rare earth elements － a |
| ［12］ | WANG D X ，HAN J J，YU Y ，et al． Chitosan oligo- |  | new generation of grow th promoters for pigs? ［J］． |
|  | saccharide decreases very-low -density lipoprotein tri- |  | Archives of Animal Nutrition，2000，53: 323 － 334． |
|  | glyceride and increases high-density lipoprotein cho- | ［27］ | LI Q C，XU W ，AI Q H，et al． Effects of dietary chi- |
|  | lesterol in high-fat-diet-fed rats［J］． Experimental Bi- |  | tosan oligosaccharide complex w ith rare earth on |
|  | ology and M edicine，2011，236: 1064 － 1069． |  | grow th performance and innate immune response of |
| ［13］ | 任群翔，翟玉春，白玉红，等． 壳寡糖与氯化稀土 |  | turbot，Scophthalmus maximus L． ［J］． Aquaculture |
|  | ( Pr3 + 、Dy3 + ) 配合物的合成、配位机理和抗羟基自 |  | Research，2012，44: 1 － 8． |
|  | 由基活性［J］． 稀土，2009，30( 3) : 57 － 61． | ［28］ | 宋理平，张家国，王爱英，等． 饲料中添加稀土壳聚 |
| ［14］ | 汪承润，吴薇，何梅，等． 硝酸钬对小鼠骨髓细胞核 |  | 糖对丰产鲫幼鱼生长性能的影响［J］． 饲料工业， |
|  | 异常和肝脏三种抗氧化酶活力的影响［J］． 稀土， |  | 2007，28( 14) : 26 － 27． |
|  | 2004，25( 5) : 36 － 40． | ［29］ | 陈爱敬，刘军，胡兵，等． 稀土壳聚糖螯合盐对养殖 |
| ［15］ | 王长青，王洪民，蒋维银，等． SQA 活力素对蛋鸡生 |  | 水体水质的影响［J］． 粮食与饲料工业，2006 ( 12 ) : |
|  | 产性能的影响［J］． 中国畜牧兽医，2005，32( 4) : 19． |  | 35 － 36． |
| ［16］ | 万辉，赵胜军，任莹，等． 稀土壳糖胺螯合盐对蛋鸡 | ［30］ | 刘军，陈爱敬，胡兵，等． 稀土壳聚糖螯合盐对鲫鱼 |
|  | 代谢率和肠道消化酶活性的影响［J］． 中国粮油学 |  | 消化酶活力的影响［J］． 中国饲料，2008 ( 6 ) : 35 － |
|  | 报，2008，23( 6) : 177 － 180． |  | 38． |

8 期 户如霞等: 稀土壳糖胺螯合盐生物学功能及其在动物生产中的应用

1707

［31］ 康晓东，王川，马青，等． 稀土添加剂饲喂滩羊的试验［J］． 饲料研究，2011( 2) : 63 － 67．

［32］ 黄海雄，张锦周，慈捷元，等． SQA 螯合盐的急性毒

性和致突变性研究［J］． 职业与健康，2005，21 ( 2 ) :

176 － 177．

Rare Earth-Chitosan Chelate: Functions and Applications in Animal Production

HU Ruxia1，2 CHENG Jianbo1 BU Dengpan1\* LI Fadi2

( 1． State Key Laboratory of Animal Nutrition，Institute of Animal Science，Chinese Academy of Agricultural Sciences，

Beijing 100193，China; 2． College of Animal Science and Technology，G ansu Agricultural University，Lanzhou 730070，China)

Abstract: This paper summarized the physico -chemical property ，biological functions and applications in ani- mal production of rare earth-chitosan chelate，w hich w ould provide a technical basis for the use of this new feed additive in animal production． ［*Chinese Journal of Animal Nutrition*，2013，25( 8) : 1703-1707］

Key words: rare earth-chitosan chelate; biological functions; animal production

\* Corresponding author，associate professor，E-mail: burdenpan@ gmail． com ( 编辑 陈 鑫)