

非消化寡糖的生理功能研究进展及其应用

闫冰雪¹ 霍样样¹ 刘璐璐¹ 王现勇² 王志祥¹ 陈文^{1*}

(1. 河南农业大学牧医工程学院, 郑州 450002; 2. 河南商都生物技术股份有限公司, 郑州 466311)

摘要: 非消化寡糖如壳寡糖、低聚木糖、果寡糖、大豆低聚糖等, 它们本身不能被机体胃酸、胃酶降解吸收, 但其具有多种生理功能。本文从降低血糖、血脂和血清胆固醇及提高动物机体免疫力、增强造血功能、促进矿物质元素吸收、改善消化道菌群结构、提高机体抗氧化功能等方面综述了近十年非消化寡糖的生理功能研究进展, 并浅谈了其在家禽、猪、反刍动物、水产养殖、饲料工业、农业等多个领域的应用现状及应用前景。

关键词: 非消化寡糖; 生理功能; 畜牧; 饲料

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)08-1689-06

寡糖是由 2~10 个单糖分子以糖苷键相连形成的直链或支链糖类化合物, 在生物体生命活动中具有重要的功能。机体组织中, 寡糖主要以复合物形式存在, 尤其是生物膜蛋白质表面的寡糖残基, 在细胞生理活动及胞间相互作用中起着重要作用。根据寡糖的生物学功能, 可将其分为普通寡糖和非消化寡糖。普通寡糖中有人们熟悉的蔗糖、麦芽糖、乳糖等, 它们可以被机体消化吸收, 又称营养性寡糖, 但对肠道有益菌的生长并无促进作用, 研究讨论的极少。非消化寡糖如果寡糖、低聚木糖、大豆低聚糖、壳寡糖等, 它们本身不能被机体胃酸、胃酶降解吸收, 但具有多种生理功能, 已经广泛应用于畜牧业、农业、饲料业等多个领域。

1 非消化寡糖的生理功能

1.1 降低血糖、血脂和血清胆固醇

寡糖类似水溶性植物纤维, 低甜度、低热量, 难被唾液酶和小肠消化酶水解, 很少转化为脂肪, 是一种能溶于水的非消化糖类。王莹等^[1]研究证明, 寡糖有降血脂、降血压的作用。对患有糖尿病和低血糖的个体, 寡糖可以作为一种低热甜味剂

替代蔗糖^[2-3]。吉首最近引种的雪莲果有降血压血脂作用, 也是因为其中含有大量果聚糖的缘故^[4]。此外, 邵秀林等^[5]发现在荷斯坦公犍牛的饲料中添加低聚果糖能显著降低犍牛血清总胆固醇含量, 并且具有降低甘油三酯含量的趋势。寡糖主要通过增加机体胰岛素含量、抑制 α -葡萄糖苷酶活性、抑制糖异生、促进外周组织糖利用、抑制醛糖还原酶活性及调节葡萄糖激酶和葡萄糖-6-磷酸酶活性等途径来降低血糖^[6]。寡糖降低血清胆固醇含量的机制与其调节肠道菌群、改善肠道微生态的作用有着必然联系。机体摄入寡糖后, 肠道内双歧杆菌的数量增加, 双歧杆菌通过影响胆固醇合成酶系中 β -羟基- β -甲基戊二酸单酰辅酶 A 还原酶的活性来控制并降低其合成量, 最终达到降低血清胆固醇含量的目的。

1.2 提高动物机体免疫力

非消化寡糖被动物摄入后, 可充当免疫刺激因子, 刺激肠道免疫细胞的生长, 提高免疫能力, 达到防止疾病的效果。李梅等^[7]研究发现, 基础饲料中添加异麦芽寡糖或果寡糖能显著提高 30 日龄仔猪的细胞免疫功能, 前者还能显著提高体液免疫功能; 添加甘露寡糖能显著提高 60 日龄仔

收稿日期: 2013-02-26

基金项目: 动物营养学国家重点实验室开放基金项目(004DA125184F1209); 郑州市创新型科技人才队伍建设工程——科技创新团队(121PCXTD516)

作者简介: 闫冰雪(1990—), 女, 河南伊川人, 硕士研究生, 从事家禽营养学与饲料研究。E-mail: 957237989@qq.com

* 通讯作者: 陈文, 副教授, 硕士生导师, E-mail: cchenwen@yahoo.com.cn

猪的细胞和体液免疫功能。王中华等^[8]用添加大枣低聚糖的基础饲料饲喂肉仔鸡,结果显示大枣低聚糖可以提高肉仔鸡的脾脏指数和胸腺指数,从而提高免疫功能。近期甘露寡糖研究应用较多,它可以促进肝脏合成甘露结合蛋白,其免疫调节作用通过增加己酰基或提高寡糖的磷酸化程度而被加强。张学锋^[9]以绵羊为试验对象发现,瘤胃和十二指肠灌注寡糖增加了绵羊外周血中CD4⁺T淋巴细胞数量,提高了血清中免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白A(IgA)含量,增强机体免疫力。值得一提的是,非消化寡糖与疫苗一起使用时,可延缓疫苗的吸收时间并提高其效用。

1.3 增强造血功能

许多药理学研究证明,寡糖对造血系统有很好的促进作用,其作用机理可能是直接或间接促进造血生长因子的分泌、刺激造血干细胞的增殖。武卫红^[10]用地黄中提取的水苏糖和甘露三糖进行小鼠造血祖细胞体外培养试验,结果表明,水苏糖和甘露三糖对造血祖细胞的增殖分化无直接促进作用,而添加水苏糖和甘露三糖制备的小鼠骨骼肌和脾细胞条件培养液能显著促进粒一单核系和早期红系祖细胞的增殖分化,因此推测水苏糖和甘露三糖造血促进作用的机理是促进造血生长因子的生成。刘福君等^[11]采用造血祖细胞体外克隆培养等试验血液学技术,研究了地黄寡糖对快速老化模型P系小鼠(SAMP8)骨髓造血祖细胞增殖作用的影响,结果发现地黄寡糖可能通过多种途径激活机体组织,特别是造血微环境中的某些细胞,促进其分泌多种造血生长因子而增强造血祖细胞的增殖。黄芪多糖也被证实能促进有关造血干细胞的增殖和成熟,刺激相关因子表达,从而能促使血细胞再生^[12]。

1.4 促进矿物质元素吸收

寡糖一方面通过增加消化道黏膜通透性来增加矿物质元素的吸收,其机制是以其分子上携带的正电荷连接到细胞膜上,使得膜上细胞间紧密结合蛋白的结构发生改变,从而导致跨膜通道的开放^[13]。寡果糖可以增加鼠对钙、镁、铁、锌和铜等矿物质元素的吸收^[14]。另一方面寡糖可借氢键或盐键形成具有类似网状结构的笼形分子,从而增加对金属离子的吸附能力^[15]。王秀武等^[16]试验证明,壳寡糖能增加肉仔鸡胸、腿肌中钙、磷、锌、铁、锰各元素的含量,其作用机理可能就是壳

寡糖分子被吸收后,氢键和盐键对金属离子的吸附作用增加了消化道黏膜的通透性,使金属离子的吸收增加。在大肠内,低聚果糖能被细菌发酵生成L-乳酸,可以溶解钙、镁、铁等矿物质元素,促进人体对矿物质的吸收。近期研究报道,将果寡糖添加在绵羊饲料中,在一定程度上也提高了钙和磷的表观消化率^[17]。

1.5 改善消化道菌群结构

寡糖具有保护胃肠道的功能。杨雪芬等^[18]发现乳成分中寡糖可在新生仔猪肠道中选择性地促进乳酸菌和双歧杆菌等有益菌的快速繁殖。而這些有益菌代谢产生的丙酸是黏膜代谢的主要能源物质,它具有促进正常细胞形成的作用;产生的大量醋酸和乳酸等短链脂肪酸对肠道有刺激作用,它们能刺激肠道蠕动,增加粪便的湿润度并保持一定的渗透性,从而双向调节肠道内环境而防止便秘的发生。同时,非消化寡糖的分解能产生一些抗菌类物质及下调肠道pH,从而有效抑制大肠杆菌等有害菌的生长,维持肠道健康。近几年,这方面的功能在反刍动物上研究的比较多。祁茹等^[19]以崂山奶山羊为研究对象,发现甘露寡糖、半乳甘露寡糖、果寡糖可以促进瘤胃液纤维素分解菌、原虫、真菌的增殖,进而促进消化。

1.6 抗氧化功能

有些寡糖分子中含有半缩醛羟基,所以具有抗氧化能力。用超声辅助酶法提取获得的大豆总多糖对羟自由基($\cdot\text{OH}$)、超氧阴离子自由基、二苯代苦味酰肼(DPPH)自由基清除率均随着质量浓度的升高而增大,呈明显的量效关系^[20]。这提示水溶性大豆总多糖可能是一种良好的天然抗氧化剂。超氧化物歧化酶(SOD)能够有效清除超氧阴离子自由基,其活性反映了机体清除氧自由基的能力。郭云贵等^[21]以三黄鸡为试验对象,研究发现甘露寡糖能显著提高血清、肝脏、心肌SOD活性,可替代饲料中添加的林可霉素,并以4~8 g/kg添加量的抗氧化效果最好。Wang等^[22]发现从小麦麸皮中提取的阿魏酰低聚糖可增强人体淋巴细胞对双氧水诱导的氧化损伤的抵抗力。寡糖对反刍动物血清生化指标影响的研究较少,近期报道显示在奶山羊饲料中添加半乳甘露寡糖能显著提高总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性。

1.7 其他功能

由于寡糖独特的理化特性和功能特性,近几

年对它的研究越来越多,发现了一些新的功能。例如抑制肿瘤生长、抑制血管平滑肌细胞增殖、保护皮质酮诱导损伤的 SH-SY5Y 神经细胞、保护肝脏、避免过氧化氢诱发的应激损伤等^[23-25]。最值得关注的是,寡糖还可影响基因表达。现在已有黄芪多糖能够调控有关免疫基因表达的报道^[26]。张竞之等^[27]发现黄芪多糖能够抑制 Toll 样受体-核转录因子 κB (*TLR-NF- κB*) 的表达,减轻该途径介导的炎症反应和免疫紊乱,进而保护高血压患者血清损伤的血管内皮细胞。此外还有研究表明巴戟天寡糖具有抗抑郁作用^[28]。

2 非消化寡糖的应用

寡糖的应用越来越广泛,出现商品化趋势。常见的商品寡糖有低聚果糖、异麦芽低聚糖、麦芽低聚糖、低聚木糖、大豆寡糖、麦芽糖醇、低聚半乳糖等。

2.1 寡糖在畜牧业中的应用

饲料中添加适量寡糖,可显著提高动物体增重及饲料转化率、维持动物体的健康状态、改善畜产品品质,目前在家禽、猪、反刍动物、水产动物中应用的较多。

2.1.1 家禽

综合近几年文献,寡糖在禽类肉用型品种上研究应用的较多,且在幼龄期效果最为显著,蛋鸡上也有应用。已有报道显示,饲料中添加甘露寡糖增加了肉仔鸡肠道中乳酸杆菌等有益菌的数量,抑制梭菌属等有害菌的生长,维持肠道健康^[29]。王书山等^[30]以蛋鸡为研究对象,结果表明,在杂粕型蛋鸡饲料中添加木聚糖酶有提高产蛋率和蛋重的趋势,且显著提高了营养物质利用率,与对照组比较,木聚糖酶添加组能量、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪、钙、磷的利用率分别提高了 2.15%~2.81%、0.57%~6.64%、57.04%~82.01%、0.55%~2.18%、2.67%~10.91%、10.52%~14.27%。另外,在肉鸭、鹌鹑等特种家禽上的应用效果也较理想。黄杰河等^[31]选用 1 日龄肉用鹌鹑进行研究,发现果寡糖添加组的鹌鹑日增重提高,显著降低料重比、腹泻率和血清总胆固醇含量,证实果寡糖对肉用鹌鹑的生长性能有促进作用;近期对樱桃谷肉鸭的研究显示,饲料中添加甘露寡糖对肉鸭的生长性能无显著影响,但能够提高肉鸭的半净膛率和免疫性能,效果与金

霉素相当^[32]。

2.1.2 猪

猪生产中,大部分损失出现在仔猪断奶期,由于暴露于各种应激下,包括从母乳到干饲料的转换,容易感染疾病,如腹泻和肺炎等。许多学者一直试图通过改善断奶期饲粮组成来减少这种损失,添加寡糖是一条新途径,且近几年的研究证明其行之有效。新型饲料添加剂甘露寡糖可提高仔猪的平均日采食量和平均日增重,还可以提高仔猪免疫力,减少腹泻^[33]。国外有研究报道,仔猪饲粮中随着壳寡糖添加水平增加,日增重、采食量、干物质和氮的表观消化能也增加,且两者呈线性关系^[34]。

2.1.3 反刍动物

寡糖在反刍动物上的应用对象主要涉及牛、羊 2 种。寡糖可以改善反刍动物瘤胃微生物区系、提高饲料的消化利用率。最新研究表明,饲料中添加果寡糖显著提高了锦江黄牛瘤胃微生物生长效率^[35]。饲料中添加甘露寡糖可提高奶牛奶量和经济效益,改善乳品质,提升奶牛的健康水平。肖宇等^[36]研究表明,奶山羊饲料中添加不同寡糖能够改善机体脂质代谢、蛋白质合成以及钙、磷的吸收,且对肝脏和心脏无损害,建议在奶山羊饲料中添加的寡糖种类有果寡糖、甘露寡糖、半乳甘露寡糖,其中半乳甘露寡糖为首选。

2.1.4 水产动物

近年来,寡糖在水产动物上的应用研究也越来越多,应用效果与单胃或反刍动物相似。刘含亮等^[37]研究了壳寡糖对虹鳟生长性能、血清生化指标、非特异性免疫功能的影响,结果表明饲料中添加壳寡糖可以显著提高虹鳟生长率、增重率、蛋白质效率;增加虹鳟血清总蛋白、白蛋白、球蛋白含量。另外壳寡糖可以显著提高三疣梭子蟹血细胞密度^[38]。徐磊等^[39]以异育银鲫为试验对象,研究结果表明甘露寡糖能提高鱼体的免疫力,增强鱼体抗病原菌感染能力。

2.2 寡糖在饲料工业中的应用

寡糖具有难于被消化酶水解,不能被大多数有害菌利用,却能促进肠道有益菌增殖等特点,克服了大多数传统饲料添加剂的缺陷,是一种比较理想的新型饲料添加剂。石波等^[40]发现以玉米芯为原料制备的木寡糖可作为功能性饲料添加剂使用。研究证实,甘露寡糖能够在很大程度上取代

抗生素,这样在解决抗生素残留问题的同时,维持或者提高了动物的生产性能^[41]。饲料中添加适量寡糖还可以降低料重比,提高饲料转化率,增加经济效益。

2.3 寡糖在农业中的应用

寡糖在植物抗病性、水果保鲜、促进植物生长、改善农产品品质、组织培养、杀虫方面的应用的研究越来越多。壳寡糖可以结合在质膜上并激发多种防御反应的诱导子,进而提高植物体抗病性^[42]。值得一提的是,海藻酸钠寡糖被证实可促进光能的捕获及转化,提高菜薹光能利用效率,并改变碳代谢过程,促进碳代谢产物积累^[43],应用前景广阔。除此之外,有研究表明壳寡糖对鳞翅目和同翅目害虫均具有一定的杀虫活性,可以用于农业杀虫^[44]。

3 小 结

现在各行业都向着绿色、环保和无公害的方向进行转变,寡糖具有优良的生理功能,并且寡糖的原料广泛,可以变废为宝,减轻环境污染,正符合这一趋势要求。随着我国对寡糖的研究逐渐深入,已经取得一些成果,然而由于寡糖自身的结构比较复杂,它的许多潜在生理功能和活性还需要进一步开发,许多作用机理特别是分子水平的作用机理还需要进一步研究和探索,以便更好地应用于生产实践。目前,随着多学科领域的快速发展,该类物质的研究、开发与利用必将具有更加广阔的前景。

致谢:

感谢河南农业大学牧医工程学院黄艳群教授对文稿所提的宝贵意见。

参考文献:

- [1] 王莹,罗勇,徐卫国,等. 功能性低聚糖对机体免疫功能的影响和抗感染作用[J]. 实用医学杂志, 2010,26(4):698-699.
- [2] 唐传核,彭志英. 功能性食品基料低聚糖及膳食纤维类开发现状[J]. 粮食与油脂,2000(8):33-35.
- [3] CARABIN I G, FIAMM W G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 1999, 30(3): 268-282.
- [4] 谷中村,吴玉先,唐显江,等. 雪莲果吉首引种初报[J]. 吉首大学学报:自然科学版,2012,33(1): 85-88.
- [5] 邵秀林,龙翔,向钊,等. 低聚果糖对早期断奶犊牛生长性能和血液理化指标及肠黏膜形态的影响[J]. 中国畜牧兽医杂志,2009,45(11):34-38.
- [6] 董权锋,于荣敏. 寡糖研究新进展[J]. 食品与药品, 2009,11(7):63-66.
- [7] 李梅,刘文利,赵桂英,等. 不同寡糖对仔猪免疫力和生产性能的影响研究[J]. 安徽农业科学,2010, 38(28):15655-15657.
- [8] 王中华,黄修奇. 大枣低聚糖对肉仔鸡生长性能、免疫功能 and 肠道菌群的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2012,48(17):59-61.
- [9] 张学锋. 外源寡糖在绵羊消化道内的降解、转化、利用和流通规律及其对瘤胃微生物区系、免疫和营养物质消化率影响的研究[D]. 博士学位论文. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007:67-76.
- [10] 武卫红. 地黄寡糖的制备工艺及其药理活性研究[D]. 硕士学位论文. 济南:山东大学,2006: 47-59.
- [11] 刘福君,赵修南,汤建芳,等. 地黄寡糖对 SAMP8 小鼠造血祖细胞增殖的作用[J]. 中国药理学与毒理学杂志,1998,12(2):127-130.
- [12] 黄小英,刘端勇,赵海梅. 黄芪多糖免疫调节作用研究进展[J]. 江西中医学院学报,2008,20(4): 75-77.
- [13] 侯春林,顾其胜. 几丁质与医学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2001:49-77.
- [14] 郭效中,刘天余. 洛克沙砷、黄霉素及杆菌肽锌在畜禽日粮中的应用及研究饲料研究[J]. 饲料研究, 2000(10):1-4.
- [15] 邵良平,周伦江,李国平,等. 口服甘露寡糖(MOS)对哺乳仔猪免疫功能和血液 GSH-Px、SOD 的影响[J]. 中国兽医学报,2000,20(3):257-259.
- [16] 王秀武,林欣,张丽,等. 壳寡糖对肉仔鸡生产性能、小肠组织结构和肌组织矿物质元素含量的影响[J]. 中国粮油学报,2005,20(2):83-88.
- [17] 郭勇庆,张英杰,刘月琴,等. 牛蒡果寡糖对绵羊生产性能及营养物质消化的影响[J]. 饲料研究,2010(1):49-51.
- [18] 杨雪芬,熊光源,周桂莲,等. 乳源性寡糖对仔猪肠道健康的影响及母猪乳腺合成寡糖的生化机制[J]. 动物营养学报,2012,24(6):991-1000.
- [19] 祁茹,温建新,程明,等. 不同外源寡糖对崂山奶山羊瘤胃微生物区系的影响[J]. 动物营养学报, 2012,24(2):349-357.
- [20] 潘利华,徐学玲,罗建平. 水溶性大豆多糖的超声辅

- 助酶法提取条件及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 77-81.
- [21] 郭云贵, 杨碧霖, 孙健红, 等. 魔芋甘露寡糖对三黄鸡抗氧化能力的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011(7): 72-74.
- [22] WANG J, SUN B G, CAO Y P, et al. Inhibitory effect of wheat bran feruloyl oligosaccharides on oxidative DNA damage in human lymphocytes[J]. Food Chemistry, 2008, 109(1): 129-136.
- [23] YUAN H M, SONG J M, LI X G, et al. Immunomodulation and antitumor activity of k-carrageenan oligosaccharides[J]. Cancer Letters, 2006, 243(2): 228-234.
- [24] 李莉, 高婷, 何书英, 等. 肝素寡糖通过抑制 PKC- α 影响血管平滑肌增殖的作用[J]. 药物学报, 2012, 47(8): 993-1000.
- [25] 黄志雄, 穆丽华. 远志寡糖酯化化合物的神经保护作用及初步构效关系研究[J]. 解放军药理学学报, 2012, 28(5): 377-384.
- [26] YUAN C T, PAN X, GONG Y, et al. Effects of *As-tragalus* polysaccharides (APS) on the expression of immune response genes in head kidney, gill and spleen of the common carp, *Cyprinus carpio* L. [J]. International Immunopharmacology, 2008, 8(1): 51-58.
- [27] 张竞之, 陈利国, 胡小勤, 等. 黄芪多糖对高血压病患者血清致伤血管内皮细胞 *TLR4*, *NF- κ B* 表达的影响[J]. 山东大学学报: 医学版, 2010, 48(12): 120-123.
- [28] 邹连勇, 张鸿燕. 巴戟天寡糖抗抑郁作用的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2012, 21(16): 213-217.
- [29] 温若竹, 江芸, 刘泽兴, 等. 甘露寡糖对肉仔鸡肠道微生物区系发育的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2011, 37(1): 83-90.
- [30] 王书山, 徐国安, 孙展英, 等. 木聚糖酶对蛋鸡生产性能、营养物质利用率及相关理化指标的影响[J]. 饲料与畜牧: 新饲料, 2012(11): 28-31.
- [31] 黄杰河, 于桂阳, 郑春芳, 等. 饲料中添加果寡糖对鹌鹑生产性能与胆固醇含量的影响[J]. 经济动物学报, 2010, 14(1): 35-37.
- [32] 张罕星, 林映才, 周桂莲, 等. 益生素、甘露寡糖替代金霉素对肉鸭生长、屠体和免疫性能的影响[C]//中国畜牧兽医学会. 中国家禽科学研究进展: 第十四次全国家禽科学学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009: 1049-1053.
- [33] 陈晶, 薛占伟, 蒋勤燕. 甘露寡糖的生物学功能及对仔猪使用效果的影响因素[J]. 养殖技术顾问, 2012(3): 243-245.
- [34] YAN L, KIM I H. Evaluation of dietary supplementation of delta-aminolevulinic acid and chitooligosaccharide on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics and fecal microbial shedding in weaned pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 169(3): 275-280.
- [35] 戈婷婷, 瞿明仁, 张晖, 等. 功能性寡糖对锦江黄牛瘤胃发酵及微生物生长效率的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(3): 557-562.
- [36] 肖宇, 王利华, 孙国强, 等. 外源寡糖对奶山羊血清生化指标和抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(2): 342-344.
- [37] 刘含亮, 孙敏敏, 王红卫. 壳寡糖对虹鳟生长性能、血清生化指标及非特异性免疫功能的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(3): 479-486.
- [38] 李振达, 陈小娥, 廖智. 壳寡糖对三疣梭子蟹免疫力的影响[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2011, 30(1): 27-31.
- [39] 徐磊, 刘波, 谢骏, 等. 甘露寡糖对异育银鲫生长性能、免疫及 *HSP70* 基因表达的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(4): 656-664.
- [40] 石波, 李里特. 功能性添加剂木寡糖的制备研究[J]. 国外畜牧科技, 2000, 27(6): 14-17.
- [41] 寇庆, 梁咪娟, 李鹏, 等. 甘露寡糖的研究与应用[J]. 粮食与饲料工业, 2012(5): 57-59.
- [42] CHEN F, LI Q, HE Z. Proteomic analysis of rice plasma membrane-associated proteins in response to chitooligosaccharide elicitors[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(6): 863-870.
- [43] 张赓, 张运红, 赵凯, 等. 海藻酸钠寡糖对菜菔光合特性和碳代谢的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 153-159.
- [44] 张宓, 谭天伟, 袁会珠, 等. 壳聚糖杀虫与壳低聚糖抑菌活性研究[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(4): 13-16.

**Non-Digestible Oligosaccharides: Research Advances in
Physiological Functions and Their Applications**

YAN Bingxue¹ HUO Yangyang¹ LIU Lulu¹ WANG Xianyong²
WANG Zhixiang¹ CHEN Wen^{1*}

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Shangdu Biological Technology Co., Ltd. of Henan, Zhengzhou 466311, China)

Abstract: Non-digestible oligosaccharides (NDOS), such as chitosan, xylan, fructo-oligosaccharides (FOS) and soybean oligosaccharides can not be absorbed and degraded by gastric acid and gastric enzymes, but they possess a variety of physiological functions. Research advances in physiological functions on NDOS were reviewed in this article, including decreasing high blood fat, sugar and cholesterol contents, improving immunity, strengthening haematogenous, promoting mineral absorption, improving intestinal flora and anti-oxidation, etc. The applications of NDOS in poultry, pigs, ruminants, aquaculture, feeds and agriculture were also presented. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(8):1689-1694]

Key words: non-digestible oligosaccharides; physiological functions; animal husbandry; feeds

* Corresponding author, associate professor, E-mail: cchenwen@yahoo.com.cn