

# 大豆凝集素及其对动物健康的影响

吴莉芳,秦贵信,孙 玲,朱 丹

(吉林农业大学动物科技学院,长春 130118)

**摘要** 大豆来源广、营养价值高、氨基酸组成基本平衡。是畜禽及水产动物主要的植物蛋白源之一。但是,大豆中含有抗营养因子,大豆凝集素是大豆中主要抗营养因子之一。对动物营养物质的消化吸收产生影响,不仅会影响动物的生长,而且大豆凝集素能够与肠道上皮细胞结合,影响肠道的结构和功能,影响消化酶的活性,甚至对动物机体的全身都会产生一定的影响。本文概述了凝集素和大豆凝集素的含义和分类,大豆凝集素的生物学功能及对动物健康的影响,旨在为开发利用大豆蛋白源提供依据。

**关键词** 大豆凝集素;动物;健康;影响

**中图分类号** TS202.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)02-0259-05

## SOYBEAN AGGLUTININ AND THE EFFECTS ON ANIMAL HEALTH

WU Li-fang, QIN Gui-xin, SUN Ling, ZHU Dan

(College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

**Abstract** The soybean sources are abundant, its nutritional value is high, its amino acid composition is balance. It is the main albumen source of the poultry and aquatic animal. But there are anti-nutritional factors. It has the influence on the animal nutrients digestion and absorption. The soybean agglutinin not only can affect animals growth, but also can union with the intestinal tract epithelial cell, it effect the structure and the function of intestinal tract, the digestive enzyme activity even the whole body of animal. This article has outlined the lectins and the soybean agglutinin meaning and the classification, soybean agglutinin biological function and the effects on animal health. The purpose of this article is to provide the theory basis for the development and utilization of the soybean protein source.

**Key words** Soybean agglutinin; Animal; Health; Effect

动物为了维持正常的生理活动以及用于满足生长、繁殖、生产等的需要,必须不断地从外界摄取营养。饲料是动物维持生命和生长、繁殖的物质基础。蛋白质是饲料中主要的营养物质,也是决定饲料成本的关键因素<sup>[1]</sup>。鱼粉具有必需氨基酸和脂肪酸

含量高,碳水化合物含量低,适口性好,抗营养因子少以及能够被养殖动物很好的消化吸收等特点。一直以来是畜禽及水产饲料中不可缺少的优质蛋白源。随着畜牧业和水产养殖业的发展,鱼粉的需求量剧增,由于受全球性的酷捕滥获、厄尔尼诺现象及

收稿日期:2006-07-04

基金项目:国家自然科学基金(30471251)资助

作者简介:吴莉芳(1970-),女,博士研究生,副教授,研究方向水产动物营养与饲料科学。E-mail:wulifang2915@yahoo.com.cn

通讯作者:秦贵信教授,博士生导师。

环境污染等的影响,鱼粉的产量逐年下降,蛋白质资源匮乏,寻求开发新的蛋白质资源已势在必行。大豆来源广、营养价值高、氨基酸组成基本平衡。是畜禽及水产动物主要的植物蛋白源之一。但是,大豆中含有抗营养因子(antinutritional factor)大豆凝集素(soybean agglutinin),不仅影响饲料的适口性,抑制动物的生长,而且对动物的内脏器官、肠道免疫系统、肠道菌群及刷状缘酶活性等产生一定的影响。限制了大豆的利用效率<sup>[2]</sup>。因此,笔者在查阅国内外相关资料的基础上,概述了大豆凝集素对动物健康的影响。旨在为开发利用大豆蛋白源提供依据。

## 1 凝集素和大豆凝集素的定义和分类

凝集素(lectin)一词来源于拉丁文 *to legere*,本意为选择,Agglutinin 是它的同义词。广泛分布于植物、动物和微生物中。人们对凝集素的认识已有一百多年的历史,自 1888 年 Stillmark 发现 ricin(蓖麻蛋白)以来,已有数百种植物凝集素被分离纯化,这类物质的一个共同特点就是能使动物红细胞凝集。因此,将它统称为血细胞凝集素或凝血素(haemagglutinin)<sup>[3]</sup>。后来,Watkin 和 Morgan 建立了人类 ABO 血型系统凝集反应中严格的糖特异性结合理论,在此基础上,Goldstein 给出了凝集素的第一个比较确切的定义:凝集素是自然界广泛存在的一大类能凝集细胞、多糖或糖复合物的非源于免疫反应的糖蛋白<sup>[4]</sup>。Kocourek 和 Horejsi<sup>[5]</sup>将凝集素进一步定义为凝集素是非免疫球蛋白本质的蛋白质或糖蛋白,它能够特异性识别并可逆结合复杂糖复合物中的糖链,而不改变所结合糖基的共价结构。

植物凝集素是发现最早也是研究最深入的凝集素,豆类凝集素是易于大量分离,纯度较高,是用于理化研究和糖复合物研究的理想工具。1952 年 Liener 和 Pallansch 采用等电点盐析、移动界面电泳和超速离心沉淀技术,从大豆提取物中分离出一种能凝集红细胞的蛋白质,Liener 最初将其称为大豆毒素(soylin),后来为了避免与大豆中另外的一种已知蛋白酶抑制成分混淆,改称为大豆凝集素<sup>[6]</sup>。大豆凝集素是指对 N—乙酰基 D—半乳糖胺/D—半乳糖有结合特异性,分子量约 120 KDa 的一类糖蛋白,是大豆的主要抗营养因子之一。大豆种子中还存在着另外一种凝集素,分子量为 175 KDa 左右。由两个不同的四个亚基组成,每个亚基的分子量大约 45

KDa,对 4—O—甲基—D—葡萄糖醛酸、D—葡萄糖醛酸和它们的甲基糖苷有结合特异性<sup>[7]</sup>。

凝集素可以从不同的角度进行分类,按照凝集素的来源,可分为植物凝集素、动物凝集素、微生物凝集素和 BEA 类毒素等;按照凝集素与糖结合的特异性,粗略的分为五大类:对葡萄糖/甘露糖特异性结合的凝集素、对半乳糖/N—乙酰基半乳糖胺特异性结合的凝集素、对 L—岩藻糖特异性结合的凝集素、对壳二糖特异性结合的凝集素、对复杂型糖复合物特异性结合的凝集素;以整体结构分类,可以分为部分凝集素,全凝集素,嵌合凝集素和超凝集素;按照进化和结构相关性分类,可以分为豆科凝集素,单子叶植物甘露糖结合凝集素,含橡胶素结构域的几丁质结合凝集素,2 型核糖体失活蛋白及其相关凝集素,葫芦科韧皮部凝集素,木菠萝凝集素家族,苋科凝集素。

## 2 大豆凝集素的生物学功能

大豆凝集素是大豆中唯一的含量较高的生物活性蛋白<sup>[8]</sup>。其生物学功能是通过与细胞的结合而直接或间接发挥作用,概括起来包括凝集活性、分裂活性、胰岛素样作用。

### 2.1 凝集活性

凝集活性是植物凝集素与细胞相互作用后最容易检出的现象。大豆凝集素能凝集兔、鼠、人、奶牛、鱼类的红细胞。也能凝集 T—淋巴细胞、真菌和细胞原生质体等。凝集作用受到外部因素和内部因素的影响。外部因素包括温度、大豆凝集素的浓度、细胞的浓度、二者混合的程度等;内部因素包括大豆凝集素分子的大小、能与糖结合的位点的数量、细胞表面的特性等。此外,酶对细胞表面糖的作用,也影响大豆凝集素的细胞凝集效果。大豆凝集素对不同种属动物红细胞敏感性不同。如对兔和人的红细胞的凝集反应最敏感<sup>[8]</sup>。

### 2.2 促分裂活性

和其他的植物凝集素一样,大豆凝集素可以促进淋巴细胞的分裂和转化。在淋巴细胞的培养基中,加入低浓度的凝集素,可以诱导 T—淋巴细胞或 B—淋巴细胞的生长、分化和增殖。这就是凝集素刺激淋巴细胞有丝分裂作用。多数具有刺激有丝分裂功能的植物凝集素仅对 T—淋巴细胞有刺激作用,而对 B—淋巴细胞的有丝分裂是抑制或无效。

有的植物凝集素仅对 B-淋巴细胞起作用。极少数的植物凝集素对 T 和 B 淋巴细胞均有刺激作用。Krugluger 等<sup>[9]</sup>发现,大豆凝集素能与大鼠血液来源于骨髓的巨噬细胞膜上分子量约为 16 KDa 的糖蛋白受体结合,可加强巨噬细胞的分化和代谢。

### 2.3 胰岛素样作用

Con-A, WGA 等几十种植物凝集素对脂肪细胞有类似胰岛素样的作用,能刺激脂肪的生成,葡萄糖转化和氧化,促进糖原合成,抑制糖原分解。对另外的靶组织也有类似的作用。这说明胰岛素受体上可能有植物凝集素结合的最初位点。植物凝集素可能结合到细胞膜上胰岛素受体(糖蛋白)的糖部分<sup>[10]</sup>。

## 3 大豆凝集素对动物健康的影响

### 3.1 大豆凝集素对动物生长的影响

大豆凝集素是大豆中主要抗营养因子之一,饲料中生大豆和溶剂萃取的大豆明显引起虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)和斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)鱼种生长率降低。加热可除去大豆产品中大部分凝集素活性,明显提高生长性能<sup>[11,12]</sup>。但由于加工条件的限制,高温后的大豆凝集素的变性程度随着它的有生物活性的四聚体转变为单体的程度而改变,不改变的四聚体仍然有活性<sup>[13]</sup>。同饲喂动物蛋白源的饲料相比,添加高水平处理大豆的饲料仍可引起虹鳟<sup>[14]</sup>和斑点叉尾鲷鱼种<sup>[15]</sup>生长缓慢。因此,在饲料中,还保留有低水平的凝集素活性。对机体的代谢与调控产生一定的影响。使机体生长缓慢甚至引起中毒<sup>[16]</sup>。摄食过量时动物日增重减少<sup>[17]</sup>,饲料利用率下降<sup>[18]</sup>,并影响免疫系统功能<sup>[19]</sup>。

大豆凝集素对动物生长性能的影响随动物种属、年龄和凝集素剂量等因素而异<sup>[20]</sup>。大豆凝集素对单胃动物的影响远大于对反刍动物的影响。Mankind 等<sup>[21]</sup>研究发现大豆凝集素可使猪体重减轻并引起腹泻。李振田<sup>[22]</sup>研究发现,大鼠日粮中纯化大豆凝集素水平达到 2.0 mg/g 时,大鼠生长速度明显下降,和对照大鼠相比降低了 23%。Douglas 等<sup>[23]</sup>研究发现,用生大豆饲喂雏鸡时,凝集素占生大豆抗营养作用的 15% 左右。Lalles 等<sup>[24]</sup>认为,大豆凝集素对成年反刍动物的生长性能没有显著影响。

### 3.2 大豆凝集素对动物肠道的影响

大豆凝集素同动物的肠道有广泛的结合作用。Buttle 等分别用含有 3.5% 大豆凝集素和含高水平的(60%)大豆蛋白的饲料喂虹鳟、大西洋鲑(*Salmo salar* L.),使鱼类肠道出现病理性变化。饲喂含 3.5% 大豆凝集素饲料组的大西洋鲑的后肠绒毛完整性明显破坏,表现为黏膜脱落到肠腔内,细胞浸润到固有层,大豆凝集素结合到小肠绒毛的上皮细胞上。对饲喂含 60% 大豆蛋白的虹鳟后肠进行相似处理,对照组沿肠上皮细胞层分布着相似大小的吸收泡,试验组则液泡大小不规则,且为半液泡形态。对照组切片大豆凝集素特异免疫染色明显消失,试验组染色明显可见。此外,绒毛尖端附近的上皮细胞染色更强,说明了刷状缘膜分解以及从绒毛尖端黏膜脱落到肠腔里<sup>[25]</sup>。Hendriks 等(1990)也报道了大豆凝集素对大西洋鲑小肠后肠的结合力高于前肠,说明大西洋鲑后肠对大豆凝集素更敏感<sup>[26]</sup>。Jaeger 等<sup>[27]</sup>报道,大豆凝集素与哺乳仔猪和断奶仔猪十二指肠黏膜中的上皮细胞和杯状细胞都有结合。Baintner 等<sup>[28]</sup>研究发现,凝集素在反刍动物体内通过胃肠道的速度低于胰蛋白酶抑制因子,提示大豆凝集素可能与胃肠道上皮发生了结合作用。Liener 研究报道,大豆凝集素主要与小鼠小肠近段黏膜吸收性绒毛的上半部细胞结合,而很少和绒毛的下半部腺窝细胞结合<sup>[29]</sup>。大豆凝集素结合与小鼠小肠黏膜上皮细胞结合导致微绒毛萎缩<sup>[30]</sup>,刷状缘膜紊乱。大豆凝集素同肠上皮细胞结合后,减少了与消化酶作用的机会,导致其在胃肠道内的降解率下降。

### 3.3 大豆凝集素对动物刷状缘酶活性的影响

目前,关于凝集素对刷状缘酶活性的影响已有报道。秦贵信<sup>[31]</sup>报道,多数植物凝集素可以和小肠壁上皮细胞表面特异受体(多糖)结合,破坏小肠刷状缘黏膜结构,干扰刷状缘黏膜多种酶的功能,使蛋白质利用率下降,动物生长受阻,甚至停滞。Rouanet (1985)指出,以含有 0.25% 纯植物凝集素的饲料饲喂大鼠,会使肠黏膜上肠激酶、碱性磷酸酶等酶的活性降低。Hendriks 等研究报道,大豆凝集素对大西洋鲑刷状缘黏酶活性有一定的影响,小肠前段和后段碱性磷酸酶活性和异麦芽糖酶转化酶活性都很低,而小肠后段氨肽酶的活力比前段低<sup>[26]</sup>。Krogdahl 等<sup>[32]</sup>研究发现,与鱼粉组相比豆粕引起虹鳟中肠和后肠上皮刷状缘胞外酶碱性磷酸酶、亮氨酸氨肽酶以及双糖酶(麦芽糖酶、异麦芽糖酶、乳糖

酶、蔗糖酶)活性下降。随着饲料中豆粕比例的增加,后肠酶活性呈指数性下降。

### 3.4 大豆凝集素对动物营养物质消化吸收的影响

大豆凝集素对饲料营养成分的消化吸收有一定影响,但这不是造成生长抑制的主要原因。Buttle等<sup>[25]</sup>报道,大豆凝集素能够结合到虹鳟和大西洋鲑的肠上皮上,结合的凝集素干涉了营养物质的消化、吸收及刷状缘膜细胞的代谢过程,从而导致无用蛋白的产生,糖蛋白的分泌,以及细胞更新率增加。大豆凝集素对氮代谢的影响比较明显,主要是增加内源氮的排出而降低饲料氮的表观消化率和存留率。Schulze等<sup>[32]</sup>研究发现,仔猪基础日粮添加纯化大豆凝集素可导致回肠总氮的排出增加,表明氮损失增加<sup>[33]</sup>。

此外,大豆凝集素对动物胰腺结构和功能有显著影响。大鼠日粮中添加0.75%的纯化大豆凝集素,引起胰腺的广泛增生。大豆凝集素对动物的免疫系统及肠道菌群也有一定的影响。

大豆凝集素具有很强的抗热变性能力,很多传统的热处理方法都不能使它有效失活。戴大章等<sup>[34]</sup>用理化处理对大豆凝集素活性的影响进行了研究,结果表明:120℃以下的干热处理不能使大豆凝集素的活力明显丧失;而95℃、30 min,100℃、20 min或105℃、10 min的湿热处理,可使大豆凝集素的活力完全丧失。在pH值1.0~4.5或pH值9~13范围内提取大豆蛋白质,可使大豆凝集素的活力显著丧失。大豆蛋白抽提液中三价、四价金属离子和部分二价、一价金属离子也可显著降低大豆凝集素的活力<sup>[34]</sup>。

大豆凝集素作为一种重要的天然产物,是分离纯化和研究糖复合物结构与功能的重要的工具,是阐明糖和蛋白质相互作用机制的理想模型。此外它在转基因抗虫、生物固氮、药物开发、骨髓移植及疾病鉴定等方面有着广泛的应用。关于大豆凝集素的研究,国内外学者做了大量的工作,大多以生大豆为原料,建立了提纯、检测方法,以大鼠为实验动物,对其抗营养作用的机理进行了研究,取得了长足的进展。但是,到目前为止,随着大豆加工工艺的不断改进与完善,低剂量大豆凝集素的抗营养作用,尤其是对肠道黏膜免疫机制的作用,具有一定的现实意义;关于大豆凝集素在不同种属动物体内的消化动力学及对不同种属动物抗营养作用的比较尚需进一步研究;关于大豆凝集素对水产动物的影响,只在大西洋

鲑和虹鳟等鱼类上有报道,在其它鱼类上未见报道,大豆凝集素对我国主要养殖的经济鱼类的生长、肠道组织学、免疫机制的影响,尚需进一步研究;另外,大豆中抗营养因子之间可能存在协同作用,例如:在大豆蛋白源中大豆抗原(soybean antigen)和凝集素都可以引起鱼类肠道酶活性下降,但二者的关系尚不清楚,不同动物之间,同种动物不同发育阶段,大豆凝集素对其影响是不同的,关于大豆凝集素对动物健康的影响,尚需要进一步系统而具体地进行研究和评价。

### 参 考 文 献

- [1] 赵卫红. 鱼类营养研究概述[J]. 盐城工学院学报, 2002, 15(2): 43-49.
- [2] 李德发. 大豆抗营养因子[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [3] Elfstrand M. Uber blutkorperchen agglutinierende Eiweisse. In Kobert R, ed. Gorborsdorfer veroffentlichungen A. Band I Enke, Stuttgart. 1898: 1-159.
- [4] Watkin W M, Morgan W T J. Neutralization of the anti-H agglutinin in eel serum by simple sugars[J]. Nature, 1952, 169: 825-826.
- [5] Kocourek J V, Horejsi. Note on the recent discussion of definition of the term 'lectin' [A]. In: Bog-Hansen T C, Spengler G A ed. Lectins, Biology, Biochemistry, Clinical Biochemistry; Walter de Gruyter, Berlin and New York, 1983: 3-6.
- [6] Liener I E, Pallansch M J. Purification of a toxic substance from the defatted soybean flour[J]. Biology Chemistry, 1952, 197: 29-36.
- [7] Pusztai A, Willam B, Stewart J C. A comprehensive scheme for the isolation of trypsin inhibitors and the agglutinin from soybean seeds[J]. Agricultural Food Chemistry, 1991, 39: 862-866.
- [8] Pereira M E A, Kaabat E A, Sharon N. Immunochemical studies on specificity to soybean agglutinin [J]. Carbohydrate Research, 1974: 89-102.
- [9] Krugluger W, Lucas T, Koller M, Boltz - Nitulescu G, Forster O. Soybean agglutinin binds a 160-kDa rat macrophage membrane glycoprotein and enhances cell differentiation and activation[J]. Immunology Letter, 1996, 52: 53-56.
- [10] 杨远和. 植物凝集素的主要生物学作用及应用[J]. 生物学杂志, 1994, 2: 1-3.
- [11] Viola, S., Mokady, S., Arieli, A. C. Effect of soybean processing method on the growth of carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Agriculture, 1983, 32: 27-38.
- [12] Sandholm, M., Smith, R. R., Shih, J. C. H. et al. Determination of antitrypsin activity on agar plates; relationship between antitrypsin and biological value of soybeans for trout [J]. J. Nutr. 1976, 106: 761-766.
- [13] Wilson, R. P., Poe, W. E.. Effects of feeding soybean meal with

- varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish[J]. *Aquaculture*,1985,46:19-25.
- [14] Bekmann, J., Pfeffer, E.. Hydrothermally treated fullfat soybeans in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) diets. In: J. Huisman, T. F. B. Van der Poel and I. E. Liener (Editors), *Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds*. [M], Pudoc, Wageningen, 1989, 133-136.
- [15] Wilson, R. P., Poe, W. E.. Effects of feeding sombean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish[J]. *Aquaculture*,1985,46:19-25.
- [26] Bardocz S, Ewen SWB, Grant G, et al. Lectins as growth factors for the small intestine and the gut[A]. Puztai A, Bardocz S, Eds. *Lectins: Biomedical Perspectives* [C]. London: Taylor&Francis, 1995, 103-116.
- [17] Grant G, Oliveira JTA, Rubio LA. Metabolic and hormonal change in rats resulting from consumption of kidney bean or soybean[J]. *Nutrition Report International*, 1987, 36:763-772.
- [18] Bardocz S, Grant G, Puztai A. The effect of phytohemagglutinin at different dietary concentrations on the growth, body composition and plasma insulin of the rat[J]. *Br J Nutr*, 1996, 76:613-626.
- [19] Puztai A, Gelencser E, Grant G, et al. *Recent Advances in Animal Nutrition* [M]. Nottingham: Nottingham university Press, 1997:29-43.
- [20] Grant, G., P. M. Dorward, A. Puztai. Pancreatic enlargement is evident in rats fed diets containing raw soybeans (*Glycine Max*) or cowpeas (*Vigna Unguiculata*) for 800 days but not in those fed diets based on kidney beans (*Phaseolous Vulagaris*) or lupinseed (*Lupinus Angustifolius*) [J]. *Nutrition*, 1993, 123:2207-2215.
- [21] Mogridge J L, Smith T K, Sousadias M G. Effect of feeding raw soybeans on polyamine metabolism in chicks and the therapeutic effect of exogenous putrescine [J]. *Animal Science*, 1996, 74:1897-1904.
- [22] 李振田. 大豆凝集素的检测、纯化和对大鼠的抗营养作用机理研究[D]. 中国农业大学, 2003.
- [23] Douglas M W, Parsons C M, Hymowitz T. Nutritional evaluation of lectin free soybeans for poultry[J]. *Poult Science*, 1999, 78:91-95.
- [24] Lalles J P, Mtukur H, Toulles R, et al. Analytical criteria for predicting apparent digestibility of soybean protein in preruminant calves[J]. *Dairy Science*, 1996, 79:3475-3482.
- [25] Buttle L. G., Burrells A. C., JGood J. E.. The binding of soybean agglutinin (SBA) to the intestinal epithelium of Atlantic salmon, *Salmo salar* and Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed high levels of soybean meal[J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2001, 80:237-244.
- [26] Hendriks H. G. C. J. M., Van T. S. G. A. M. den Ingh. Krogdahl A., Olli and Koninkx d J. F. J. G.. Binding of soybean agglutinin to small intestinal brush border membranes and brush border membrane enzyme activities in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 1990, 91:163-170.
- [27] Jaeger L A, Lammer C H, Turek J J. Lectin binding to small intestinal goblet cells of newborn, suckling and weaned pigs[J]. *Am Veterinary Research*, 1989, 50:1984-1987.
- [28] Baintner K, Farningham D A, Burce L A, et al. Fate of the antinutritive proteins of soybean in the ovine gut[J]. *Zentralbl Veterinarmed*, 1993, 40:427-431.
- [29] Liener I. E. Nutritional significance of lectins in the diet[M]. In: Liener, I E Sharon N Goldstein I J, ed. *The Lectins*: Academic Press, New York. 1986:527-552.
- [30] Jindal S, Soni G L, Singh R. Biochemical and histopathological studies in albino rats fed on soybean lectin [J]. *Nutrition report International*, 1984, 29:95-97.
- [31] 秦贵信. 饲料抗营养因子及其消除方法. 国外畜牧学-猪与禽[J]. 2003, 23(3):10-13.
- [32] A krogdahl, A M Bakke Mckellep. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, (9):361-371.
- [33] Schulze H, Saini H S, Huisman J, et al. Increased nitrogen secretion by inclusion of soya lectin in the diets of pigs[J]. *Science Food Agriculture*, 1995, 69:501-505.
- [34] 戴大章, 陈妙月, 叶均安, 等. 理化处理对大豆凝集素活性的影响[J]. *营养学报*, 2004, 26(3):223-226.