

谷氨酰胺转胺酶诱导交联发酵乳蛋白的体内抗氧化功效

吕建敏¹, 袁海娜²

(1. 浙江中医药大学动物实验研究中心, 浙江 杭州 310053; 2. 浙江科技学院生物与生物工程学院/轻工学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为了研究微生物谷氨酰胺转胺酶诱导交联发酵乳蛋白 (Microbial Transglutaminase Cross-Linked Fermentation Milk Protein, mTG-FPM) 对 D-半乳糖 (D-gal) 衰老模型小鼠的抗氧化活性的影响, 试验设正常组、D-gal 模型组、D-gal+0UmTG-FPM 组、D-gal+1UmTG-FPM 组、D-gal+3UmTG-FPM 组和 D-gal+VE 阳性对照组共 6 组, 每组 10 只 C57BL/J 小鼠。采用皮下连续注射 D-Gal 方式建立衰老小鼠模型。造模同时, FPM 各组每天灌服 1.5 g/kg mTG-FPM/FPM, D-gal + VE 阳性对照组每天灌服 100 mg/kg 的 VE, 模型对照和正常组每天灌服蒸馏水 0.2 mL/10 g。连续灌胃 8 w 后, 测定各组小鼠肝肾组织和血清中的相关抗氧化指标 (CAT、SOD、GSH-Px、MDA)。结果表明: D-Gal 可显著降低衰老模型小鼠肝脏和血清中 CAT 及 GSH-Px 活性 ($P < 0.01$, $P < 0.05$); 显著降低肾脏和血清中的 SOD 活力 ($P < 0.01$, $P < 0.05$), 显著升高 MDA 含量 ($P < 0.01$)。与模型组和 0UmTG 组相比, 3UmTG 组的肝脏 CAT, 1UmTG 组血清 CAT 活性和 3U mTG 组肝脏 GSH-Px 活性显著升高 (比 0UmTG 组分别升高 11.14%、35.57% 和 22.36%, $P < 0.01$, $P < 0.05$); 而 3UmTG 组肾脏中的 MDA 含量显著降低 (比 0UmTG 组降低 26.41%, $P < 0.05$)。因此, mTG 诱导交联处理可在一定程度上改善 FPM 的体内抗氧化活性。

关键词: 微生物谷氨酰胺转胺酶; 发酵乳蛋白; 体内; 抗氧化

中图分类号: TS 252.54 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2016)12—1330—06

Anti-Oxidative Activity of Microbial Transglutaminase Cross-Linked Fermentation Milk Protein *in vivo*

LU Jianmin¹, YUAN Haina²

(1. Laboratory Animal Research Center, Zhejiang Chinese Medicine University, Hangzhou 310053, China; 2. School of Biological Chemical Engineering/School of Light Industry, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The study was carried out to investigate the anti-oxidative effect of Microbial Transglutaminase Cross-Linked Fermentation Milk Protein (mTG-FPM) in aging mice induced by D-galactose (D-gal). Sixty C57BL/6J female mice (12 w old) were divided into 6 groups including the control group, D-gal model group, D-gal-induced mice treated with FPM cross-linked mTG by 0

收稿日期: 2015-04-05

基金项目: 浙江省自然科学基金项目 (LY14C200007)。

作者简介: 吕建敏 (1971—), 女, 浙江嵊州人, 农学博士, 研究员, 主要从事动物营养方面的研究。E-mail: ljm6666@163.com

U, 1 U and 3 U/g protein (as D-gal+0 UmTG-FMP, D-gal+1UmTG-FMP and D-gal+3 UmTG-FMP groups), at 1.5 g/kg bw via ig, and D-gal-induced mouse treated with vitamin E as the positive group at 100 mg/kg via ig, respectively. After continuous administration for 8 weeks, the anti-oxidative parameters (CAT, SOD, MDA GSH-Px) in liver, kidney tissues, and serum of mice in each group were determined. The results showed that mice induced by D-gal had lower CAT and GSH-Px activity in liver and serum, lower SOD activity of kidney and serum, and higher MDA content of kidney and serum, when compared with the normal mice ($P < 0.01$, $P < 0.05$). Compared to the model and untreated FPM groups, FPM treated with mTG had higher CAT activities in liver tissue (3 U mTG treatment, $P < 0.01$) and in serum (1 U mTG treatment, $P < 0.05$) up to 11.14% and 35.57% respectively, whereas the content of MDA in kidney tissue ($P < 0.01$) in FPM treated with mTG was reduced 26.41%. The activity of GSH-Px in liver tissue was also sharply higher (22.36% increase) in D-gal+3 U mTG-FPM group than that of in FPM group untreated with mTG ($P < 0.01$). It was concluded that the mTG Cross-linked effect in FPM can improve the anti-oxidative ability of aging mice induced by D-gal.

Keywords: microbial transglutaminase (mTG), fermentation milk protein (FPM), *in vivo*, anti-oxidative ability

谷氨酰胺转氨酶(Transglutaminase, TG)是存在于动、植物和微生物中的一种酶,可催化分子间和分子内酰基转移反应,并能通过交联、氨基转移及脱酰氨基作用改性蛋白质^[1-4]。微生物谷氨酰胺转氨酶(Microbial transglutaminase, mTG)由链霉菌属(*Streptovorticillum*)的某些菌株发酵生产^[2-5],具有与谷氨酰胺转氨酶相同的改性蛋白质作用^[5],且成本较低,广泛应用于乳制品加工、奶酪生产、肉类加工、焙烤制品及可食性膜的生产等食品加工领域^[4-5]。目前,在酸奶等发酵乳制品中使用 mTG 的研究主要是集中在增加凝胶强度,保持其质地平滑并提高稳定性等方面^[4-5]。但 mTG 通过交联作用是否能改善发酵乳蛋白(Fermentation Milk Protein, FPM)的抗氧化功效还未见报道。

另一方面,自由基学说认为,过量的自由基对机体产生氧化性损伤是衰老发生的主要原因。D-半乳糖小鼠衰老模型是目前常用的一种诱发性衰老模型,其主要机制与 D-半乳糖的过度氧化损伤作用有关,可导致机体细胞产生大量的自由基,加速衰老过程^[6-7]。为充分验证 mTG 诱导交联发酵乳蛋白的体内抗氧化功效,作者参考毛根祥等^[8]的方法复制 D-半乳糖衰老小鼠模型,研究 mTG 诱导交联发酵乳蛋白对 D-半乳糖衰老模型小鼠组织和血清中抗氧化指标的影响,旨在明确 mTG-PFM 的体内

抗氧化功效,为拓展 mTG 在乳制品中的应用方向,开发乳制品营养保健功能奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 主要试剂 D-半乳糖(D-gal)粉剂(原装):购自 Sigma 公司;药用维生素 E(水溶性制剂):浙江新和成药业有限公司;批号分别为 2010914、20150915、20150916、20150922 的超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-Px)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)和丙二醛(Malondialdehyde, MDA)测定试剂盒:购自南京建成生物工程研究所。

1.1.2 实验动物 C57BL/6J 小鼠 60 只,购自上海斯莱克实验动物有限责任公司,SPF 级,雌性,年龄为 10 周龄,体质量为 18~22 g。试验在浙江中医药大学动物实验研究中心进行。

1.2 仪器和设备

DK-450B 型电热恒温水槽:上海森信实验仪器有限公司;721 型分光光度计:上海菁华科技有限公司;X-15R 离心机:Beckman Coulter 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 mTG 诱导交联发酵乳蛋白(mTG-FPM)制备 将浓度为 0、1、3 U/g 蛋白质的 mTG 分别与乳酸菌一

起进行酸乳发酵,经均质、高速离心和冷冻干燥,制备出含 mTG 含量分别为 0、1、3 U 的 FMP,标记为 0U mTG-FPM,1U mTG-FPM 和 3U mTG-FPM。

1.3.2 动物分组及处理 试验设正常组、D-gal 模型对照组、D-gal+0UmTG-FPM 组、D-gal+1UmTG-FPM 组、D-gal+3UmTG-FPM 组和 D-gal+VE 阳性对照组 6 个组别,将购入 60 只 10 周龄雌性 C57BL/6J 小鼠适应饲养 2 w 后,随机分为 6 组,每组 10 只,参照文献[8]的方法建立衰老小鼠模型,正常组采用等体积生理盐水皮下注射。FPM 各组在造模的同时每天分别经口灌胃 1.5 g/kg 的 FPM,D-gal +VE 阳性对照组在造模同时每天经口灌胃 100 mg/kg 的 VE,模型组和正常对照组每天经口灌胃蒸馏水 0.2 mL/10 g。按以上方式处理 8 周后结束试验,采集各组小鼠血清、肝脏、肾脏样本,每组取 8 只动物样本,测定各样本血清以及肝脏和肾脏组织匀浆中 CAT、MDA、SOD、和 GSH-Px 等指标。

1.4 统计学处理

采用 SAS 8.1 统计软件的 ANOVA 分析进行单因素方差分析,并进行 Duncan 氏多重比较,结果以 $\bar{X} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 mTG-FMP 对 D-gal 衰老小鼠肝、肾组织及血清中 CAT 活性影响

由表 1 可知,模型对照组小鼠肝脏和血清中的 CAT 活性均显著低于正常组 ($P < 0.01, P < 0.05$)。3U mTG-FPM 组和 VE 阳性对照组小鼠肝脏 CAT 活性显著高于模型对照组和 0UmTG-FPM 组 ($P < 0.01, P < 0.05$)。3UmTG 处理组小鼠肝脏 CAT 活性比模型组和 0UmTG 组分别提高 14.91% 和 11.14%。血清 CAT 活性以正常组和 1UmTG-FPM 处理组为高,均与模型对照组和 0UmTG-FPM 组差异显著 ($P < 0.05$),其中,1UmTG 处理组小鼠肝脏 CAT 活性比模型组和 0UmTG 处理组分别提高 41.21% 和 35.57%。

表 1 小鼠肝脏、肾脏组织和血清中 CAT 活性测定结果

Table 1 Activity of CAT in liver, kidney tissues, and serum of mice ($n=8, \bar{X} \pm s$)

组别	CAT 活性		
	肝脏组织/(U/mg)	肾脏组织/(U/mg)	血清/(U/mL)
正常组	162.28 $\pm$ 12.65 ^{Aa}	99.92 $\pm$ 2.31	10.64 $\pm$ 1.70 ^a
模型组	129.95 $\pm$ 7.77 ^{Cc}	101.79 $\pm$ 17.94	7.45 $\pm$ 1.30 ^b
D-gal+0UmTG-FPM 组	134.35 $\pm$ 13.41 ^{BCc}	109.12 $\pm$ 11.43	7.76 $\pm$ 1.86 ^b
D-gal+1UmTG-FPM 组	140.82 $\pm$ 10.09 ^{BCc}	101.01 $\pm$ 16.33	10.52 $\pm$ 3.16 ^a
D-gal+3UmTG-FPM 组	149.33 $\pm$ 17.16 ^{ABCab}	95.40 $\pm$ 7.12	8.25 $\pm$ 1.71 ^{ab}
D-gal+VE 阳性对照组	151.15 $\pm$ 7.90 ^{ABab}	108.35 $\pm$ 16.04	9.31 $\pm$ 1.71 ^{ab}

注:同一列中的数字具有相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$);具有不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$);具有不同的大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.2 mTG-FMP 对 D-gal 衰老小鼠肝、肾组织及血清中 MDA 含量影响

由表 2 可见,D-gal 衰老模型小鼠肾脏和血清中 MDA 含量均显著高于正常小鼠 ($P < 0.01$),说明 D-gal 衰老模型小鼠出现了衰老症状。mTG 诱导交联处理可显著降低 D-gal 衰老模型小鼠的肾脏 MDA 含量,3U mTG-FPM 组的小鼠肾脏 MDA 含量显著低于模型组、0UmTG-FPM 组和 1UmTG-FPM 组 ($P < 0.01$),比 0UmTG-FPM 组降低 26.41%。各 FPM 处理组小鼠血清 MDA 含量较模型组均有降低趋势,但无显著性差异 ($P > 0.05$)。VE 阳性对照组小鼠肾脏 MDA 含量显著减低模型对照组和

0UmTG-FPM 组 ($P < 0.01$),但与 3UmTG-FPM 组无显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.3 mTG-FMP 对 D-gal 衰老小鼠肝、肾组织及血清中 SOD 活性影响

mTG-FMP 对 D-gal 衰老小鼠肝、肾组织及血清中 SOD 活性影响的结果见表 3。D-gal 处理显著降低衰老小鼠肾脏和血清中的 SOD 活性 ($P < 0.01, P < 0.05$)。在肾脏中,3 个 FPM 处理组和 VE 阳性对照组的 SOD 活性均极显著高于模型组 ($P < 0.01$)。VE 阳性对照组小鼠血清 SOD 活性则显著高于模型组和 0UmTG-FPM 组,但与 1UmTG-FPM 和 3UmTG-FPM 组差异不显著 ($P > 0.05$)。以上结果表

明,无论与 mTG 是否交联,FMP 均可极显著提高衰老小鼠肾脏 SOD 活性,说明 FMP 本身也具有一定的抗氧化功能。

2.4 mTG-FMP 对 D-gal 衰老小鼠肝、肾组织及血清中 GSH-Px 活性影响

小鼠肝、肾组织及血清中 GSH-Px 活性检测结果见表 4。D-gal 衰老模型小鼠的肝肾组织和血清中的 GSH-Px 活性均显著低于正常小鼠 ($P < 0.01$,

$P < 0.05$),说明模型成立。3UmTG-FPM 组和 VE 阳性对照组小鼠肝脏 GSH-Px 活性显著高于模型对照组和 0UmTG-FPM 组 ($P < 0.01$),二者分别比 0UmTG-FPM 组升高 22.36%和 26.22%。在肾脏中,3U mTG-FPM 组和 VE 阳性对照组的 GSH-Px 活性显著高于模型组 ($P < 0.05$),说明经 3UmTG 处理的 FPM 的抗氧化功效与 VE 接近。

表 2 小鼠肝脏、肾脏组织和血清中 MDA 含量测定结果

Table 2 Content of MDA in liver,kidney tissues,and serum of mice($n=8, \bar{X} \pm s$)

组别	MDA 含量		
	肝脏组织/(U/mg)	肾脏组织/(U/mg)	血清/(U/mL)
正常组	1.77 $\pm$ 0.24	2.52 $\pm$ 0.09 ^{ab}	7.92 $\pm$ 2.22 ^B
模型组	2.08 $\pm$ 0.49	4.04 $\pm$ 0.57 ^{Aa}	11.52 $\pm$ 0.60 ^A
D-gal+0UmTG-FPM 组	1.88 $\pm$ 0.30	3.90 $\pm$ 0.72 ^{Aa}	9.48 $\pm$ 1.65 ^{AB}
D-gal+1UmTG-FPM 组	1.88 $\pm$ 0.18	3.67 $\pm$ 0.25 ^{ABa}	10.33 $\pm$ 2.28 ^{AB}
D-gal+3UmTG-FPM 组	1.92 $\pm$ 0.27	2.87 $\pm$ 0.34 ^{ab}	9.46 $\pm$ 1.93 ^{AB}
D-gal+VE 阳性对照组	1.78 $\pm$ 0.23	3.07 $\pm$ 0.46 ^{BCb}	10.27 $\pm$ 1.82 ^{AB}

注:同一列中的数字具有相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$);具有不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$);具有不同的大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

表 3 小鼠肝脏、肾脏组织和血清中 SOD 活性测定结果

Table 3 Activity of SOD in liver,kidney tissues,and serum of mice($n=8, \bar{X} \pm s$)

组别	SOD 活性		
	肝脏组织/(U/mg)	肾脏组织/(U/mg)	血清/(U/mL)
正常组	80.59 $\pm$ 4.08	59.76 $\pm$ 2.82 ^A	180.73 $\pm$ 5.02 ^a
模型组	71.72 $\pm$ 3.77	51.07 $\pm$ 3.88 ^B	163.99 $\pm$ 6.60 ^c
D-gal+0UmTG-FPM 组	67.60 $\pm$ 5.78	62.44 $\pm$ 3.79 ^A	163.54 $\pm$ 7.18 ^c
D-gal+1UmTG-FPM 组	70.67 $\pm$ 15.55	63.59 $\pm$ 3.57 ^A	171.70 $\pm$ 7.56 ^{bc}
D-gal+3UmTG-FPM 组	71.31 $\pm$ 17.72	64.43 $\pm$ 4.43 ^A	170.17 $\pm$ 6.77 ^{bc}
D-gal+VE 阳性对照组	78.62 $\pm$ 7.68	62.27 $\pm$ 6.53 ^A	173.26 $\pm$ 8.92 ^{ab}

注:同一列中的数字具有相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$);具有不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$);具有不同的大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

表 4 小鼠肝脏、肾脏组织和血清中 GSH-Px 活性测定结果

Table 4 Activity of GSH-Px in liver,kidney tissues,and serum($n=8, \bar{X} \pm s$)

组别	GSH-Px 活性		
	肝脏组织/(U/mg)	肾脏组织/(U/mg)	血清/(U/mL)
正常组	848.35 $\pm$ 82.60 ^{Aa}	432.79 $\pm$ 53.1 ^{ab}	293.34 $\pm$ 47.56 ^a
模型组	670.78 $\pm$ 58.91 ^{Bc}	366.83 $\pm$ 44.53 ^b	233.80 $\pm$ 33.69 ^b
D-gal+0UmTG-FPM 组	674.24 $\pm$ 72.19 ^{Bc}	398.76 $\pm$ 50.15 ^{ab}	246.88 $\pm$ 44.38 ^{ab}
D-gal+1UmTG-FPM 组	737.68 $\pm$ 78.40 ^{ABbc}	397.41 $\pm$ 54.94 ^{ab}	280.12 $\pm$ 33.18 ^{ab}
D-gal+3UmTG-FPM 组	825.06 $\pm$ 141.51 ^{Aab}	461.67 $\pm$ 67.45 ^a	259.83 $\pm$ 29.50 ^{ab}
D-gal+VE 阳性对照组	851.02 $\pm$ 66.49 ^{Aa}	458.83 $\pm$ 63.98 ^a	276.53 $\pm$ 54.02 ^{ab}

注:同一列中的数字具有相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$);具有不同的小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$);具有不同的大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

D-半乳糖致衰老动物模型是目前常用的一种模型,其致衰老的主要原因在于机体细胞受到D-半乳糖攻击后,其自身抗氧化能力过度受损^[9]。因此,该模型常用于体内抗氧化和抗衰老功能的评价体系^[8]。实验结果表明,连续注射D-gal 8 w后,小鼠的肝脏和血清中CAT及GSH-Px活性及肾脏和血清中SOD活性显著升高,而肾脏和血清中MDA含量显著降低,表明本研究所建立的衰老小鼠模型成立。

已有研究显示,乳蛋白中酪蛋白、乳铁蛋白、乳清蛋白及其酶解产物(乳清多肽)均具有一定的抗氧化活性^[10-12],在本实验中也发现FMP本身也具有一定抗氧化活性。乳蛋白抗氧化功能主要源于其内部抗氧化肽的作用,且抗氧化肽的功效与氨基酸组成、序列/结构及疏水性等物化特性密切相关^[13-14]。目前,有关mTG交联处理的抗氧化作用的研究报道较少,仅有一些研究也存在争议,如O'Sullivan等^[2,15]研究发现,mTG交联作用未影响乳清蛋白分离物和总乳蛋白的抗氧化活性,也未改变酪蛋白酸钠水解物在Jurkat T细胞内的抗氧化活性;而Song和Fan等^[16-17]研究发现,mTG交联作用提高了大豆蛋白及其水解物的体外DPPH自由基清除活性和还原力,

交联作用提高了1 000~5 000低相对分子质量肽的含量。导致以上研究结果差异的原因可能在于不同研究的抗氧化肽来源、组成以及所选抗氧化体系的不同。选用D-半乳糖衰老小鼠模型,对mTG交联发酵乳蛋白的体内抗氧化功效进行系统评价。结果表明,灌服经mTG处理的FMP后,衰老小鼠肝肾组织和血清中的抗氧化酶和脂质过氧化物均有改善,在肝脏和血清CAT、肝脏GSH-Px、肾脏MDA等指标上与mTG未处理组具有差异显著性,在其他抗氧化活性指标上,mTG交联发酵乳蛋白的抗氧化效果也基本与维生素E相近。表明mTG在提高发酵乳蛋白的抗氧化功效方面具有一定的作用,可能是由于mTG的交联作用改变了FPM中抗氧化肽的物化特性。此结果不仅为开发乳制品的天然保鲜剂提供了新思路,也为有效利用发酵乳的潜在营养保健功能提供了参考。

4 结语

综上所述,经mTG诱导交联处理的FPM与未经处理的FPM相比,可使D-gal衰老模型小鼠的肝脏和血清中的CAT活性,肝脏GSH-Px活性和肾脏中的MDA含量得到显著改善,因此mTG诱导交联处理在一定程度上提高了FPM的体内抗氧化活性,但其作用机制和剂量关系还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 郑美英,陈坚,伦世仪. 谷氨酰胺转氨酶理化性质、生产方法及其在食品工业中的应用[J]. 生物工程进展,2001,21(1):33-37.
ZHENG Meiyang, CHEN Jian, LUN Shiyi. Transglutaminase, a review of its physical and chemical properties production and application in food processing[J]. *Progress in Biotechnology*, 2001, 21(1):33-37. (in Chinese)
- [2] O'SULLIVAN D, LAHART N, O'CALLAGHAN Y, et al. Characterization of the physicochemical, residual antigenicity and cell activity properties of transglutaminase cross-linked sodium caseinate hydrolysates [J]. *International Dairy Journal*, 2013, 33: 49-54.
- [3] JUSKIEWICZ J, ZDUNCZYK Z, BOHDZIEWCZ K, et al. Physiological effects of the dietary application of quark produced with enzyme transglutaminase as a sole protein source in growing rats[J]. *International Dairy Journal*, 2012, 26: 155-161.
- [4] 金洪伟,张毅,高源,等. 谷氨酰胺转氨酶的功能性质及在乳制品中的应用[J]. 中国乳品工业, 2013, 4(2):37-40.
JIN Hongwei, ZHANG Yi, GAO Yuan, et al. Functions of transglutaminase and its application in dairy product [J]. *China Dairy Industry*, 2013, 4(2):37-40. (in Chinese)
- [5] 王美玲. 微生物谷氨酰胺转氨酶及其在食品工业中的应用[J]. 山东食品发酵, 2015(2):34-36.
WANG Meiling. Microbial trans-glutaminase and its application in food industry [J]. *Shandong Food Fermentation*, 2015(2): 34-36. (in Chinese)
- [6] WEI H, LI L, SONG Q, et al. Behavioural study of the D-galactose induced aging model in C57BL/ 6J mice [J]. *Behav Brain Res*, 2005, 157(2):245-251.
- [7] SONG X, BAO M, LI D, et al. Advanced glycation in D-galactose induced mouse aging model[J]. *Mech Ageing Dev*, 1999, 108

- (3):239-251.
- [8] 毛根祥,曹永葆,何志华,等. 松花粉对 D- 半乳糖衰老模型小鼠学习记忆功能的影响及机制研究[J].心脑血管病防治,2012,12(4):290-293.
- MAO Genxiang, CAO Yongbao, HE Zhihua, et al. Effect of pine pollen on learning and memory function in D-galactose-induced aged mice as well as its related mechanisms [J]. **Prevention and Treatment of Cardio-Cerebral-Vascular Disease**, 2012, 12(4):290-293. (in Chinese)
- [9] ZHOU Y, DONG Y, XU Q, et al. Mussel oligopeptides ameliorate cognition deficit and attenuate brain senescence in d-galactoseinduced aging mice[J]. **Food Chem Toxicol**, 2013, 59:412-420.
- [10] 胡文琴,王恬,周岩民,等. 酪蛋白酶解物对小鼠抗氧化酶活性的影响[J]. 营养学报,2005,27(1):54-57.
- HU Wenqin, WANG Tian, ZHOU Yanmin, et al. Effects of hydrolysed casein on antioxidative enzymes in mice [J]. **Acta Nutrimenta Sinica**, 2005, 27(1):54-57. (in Chinese)
- [11] 安清聪,李岑曦,张春勇,等. 乳铁蛋白对滇撒配套系断奶仔猪生产性能、血清抗氧化指标及组织抗氧化基因表达的影响[J]. 动物营养学报,2015,27(7):2018-2026.
- AN Qingcong, LI Cengxi, ZHANG Yongchun, et al. Effects of lactoferrin on growth performance, serum antioxidant indices and tissue antioxidant gene expressions of diana weaned piglets[J]. **Chinese Journal of Animal Nutrition**, 2015, 27(7):2018-2026. (in Chinese)
- [12] GAD A S, KHADRAWY Y A, EL-NEKEETY A A, et al. Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and *Spirulina* in rats[J]. **Nutrition**, 2011, 27(5):582-589.
- [13] POWER O, JAKEMAN P, FITZGERALD R J. et al. Antioxidative peptides; enzymatic production, in vitro and in vivo antioxidant activity and potential applications of milk-derived antioxidative peptides[J]. **Amino Acids**, 2013, 44:797-820.
- [14] 张晖,唐文婷,王立,等. 抗氧化肽的构效关系研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2013,32(7):673-679.
- ZHANG Hui, TANG Wenting, WANG Li, et al. Review on structure-activity relationship of antioxidative peptides[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2013, 32(7):673-679. (in Chinese)
- [15] HILLER B, LORENZEN P C. Functional properties of milk proteins as affected by enzymatic oligomerisation[J]. **Food Research International**, 2009, 42:899-908.
- [16] SONG N, TAN C, HUANG M G, et al. Transglutaminase cross-linking effect on sensory characteristics and antioxidant activities of Maillard reaction products from soybean protein hydrolysates[J]. **Food Chemistry**, 2013, 136:144-151.
- [17] FAN J, SAITO M, YANYAN Z, et al. Gel forming ability and radical-scavenging activity of soy protein hydrolysate treated with transglutaminase[J]. **Journal of Food Science**, 2005, 70:87-92.

科技信息

日本新制定食品添加剂亚硒酸钠的使用限量

2016年9月26日,日本厚生劳动省发表告示(生食发 0926 第3号),制定了食品添加剂亚硒酸钠和天门冬酰胺酶的使用限量。具体内容如下:1.新制定亚硒酸钠的允许使用对象及使用限量:亚硒酸钠允许使用于调制粉乳及母乳代用品中,每100 kcal 母乳代用品中,以硒计应低于5.5 μg。但厚生劳动省大臣特别认可的调制粉乳不受此限。2.关于亚硒酸钠和天门冬酰胺酶,按生产需要适量使用。3.上述告示内容公布之日起实施。

[信息来源] 厦门 WTO 工作站. 日本新制定食品添加剂亚硒酸钠的使用限量 [EB/OL]. (2016-9-28). <http://www.xmtbt-sps.gov.cn/detail.asp?id=52585>