



茶多酚对大豆胰蛋白酶抑制因子致小鼠胰腺氧化损伤的缓解作用

赵琳琳¹, 郝鑫¹, 李桐¹, 莫蓝月¹, 谷春梅²

(1. 吉林师范大学 博达学院食品工程系, 吉林 四平 136000; 2. 吉林农业大学 食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118)

摘要:为研究茶多酚(TP)对大豆胰蛋白酶抑制因子(STI)致小鼠胰腺氧化损伤的缓解作用。试验设对照组(control组)、模型组(STI组,于日粮中添加3.6 mg·g⁻¹的STI)、茶多酚组(TP组,于日粮中添加100.0 mg·kg⁻¹的茶多酚和3.6 mg·g⁻¹的STI)。第21天处死小鼠,研究处理组间胰腺和血清中丙二醛(MDA)、总抗氧化能力(T-AOC)、几种消化酶和激素含量的变化,并通过透射电镜观察胰腺超微结构变化。结果表明:与对照组相比,模型组小鼠胰腺和血清中的丙二醛、生长抑素(SS)、淀粉酶(AMS)、脂肪酶(LPS)含量均显著升高($P < 0.05$),T-AOC、胰岛素(INS)和胰蛋白酶(TPS)含量显著降低($P < 0.05$),线粒体损伤严重;而添加茶多酚的TP组较STI组,MDA、SS、AMS、LPS含量均显著降低($P < 0.05$),T-AOC、INS和TPS含量显著升高($P < 0.05$),线粒体有轻微损伤。表明茶多酚有效抑制了STI诱导的氧化应激,缓解了STI造成的胰腺氧化损伤。

关键词:茶多酚;大豆胰蛋白酶抑制因子;胰腺;血清;自由基;小鼠

The Effect of Tea Polyphenols on Oxidative Damage of Pancreas in Mice Induced by Soybean Trypsin Inhibitor

ZHAO Lin-lin¹, HAO Xin¹, LI Tong¹, MO Lan-yue¹, GU Chun-mei²

(1. Department of Food Engineering, Boda College of Jilin Normal University, Siping 136000, China; 2. Institute of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Jilin 130118, China)

Abstract: In order to assess the effect of tea polyphenols on oxidative damage of pancreas in mice induced by soybean trypsin inhibitor factor(STI), 36 male mice were randomly divided into three groups: Control group, model group(STI group, feeding the daily ration of 3.6 mg·g⁻¹ STI) and tea polyphenols group(TP group, feeding the daily ration of 100.0 mg·kg⁻¹ tea polyphenols and 3.6 mg·g⁻¹ STI). Mice were executed on 21 d and their malonaldehyde(MDA), total antioxidant capacity(T-AOC), several digestive enzyme and hormone contents of pancreas and serum were determined, ultrastructural changes of pancreas were observed by TEM. As shown in results, compared with control group, the MDA, somatostatin(SS), amylase(AMS) and lipase(LPS) contents in the pancreas and serum in STI group were significantly increased ($P < 0.05$), T-AOC, trypsin(TPS) and insulin(INS) were significantly decreased ($P < 0.05$), mitochondria were severely damaged. In the TP group with the addition of tea polyphenol, the MDA, SS, AMS and LPS contents in the pancreas and serum were significantly decreased ($P < 0.05$), T-AOC, TPS and INS were significantly increased ($P < 0.05$), mitochondria were slightly damaged. This study showed that tea polyphenols effectively inhibited the oxidative stress induce by STI, weakened the oxidative damage of pancreas.

Keywords: Tea polyphenols; Soybean trypsin inhibitor; Pancreas; Serum; Free radical; Mice

胰腺腺泡分泌的胰液中含有脂肪酶、胰蛋白酶原、淀粉酶等消化酶,具有消化脂肪、蛋白质和糖的作用,因此胰腺对食物的消化、吸收起着十分重要的作用。而胰岛B细胞分泌的胰岛素是反映胰岛细胞储备和分泌功能的重要指标,胰岛D细胞分泌的生长抑素是一种抑制性调节激素,可以抑制腺泡的分泌功能以控制各种消化酶对食物的分解,从而使营养能平和、缓慢地吸收。而大豆中主要抗营养因子——大豆胰蛋白酶抑制因子(soybean trypsin inhibitor, STI)会导致胰腺内自由基的过量生成,这些自由基会攻击生物膜系统,造成脂质过氧化和线

粒体受损。STI还会降低营养物质的消化率,导致营养的流失^[1],甚至引起生长抑制和胰腺损伤,造成胰腺分泌功能异常^[2-3]。谷春梅等^[4]研究表明STI会导致小鼠胰腺消化酶和激素分泌异常。

茶多酚(TP)结构中含有多个酚羟基,可以通过氢键与STI络合,削弱STI对胰蛋白酶的抑制作用,降低其活性。此外,茶多酚作为一种具有较强还原性的抗氧化剂,能够将氧自由基还原成相对稳定的化合物,起到降低脂质过氧化程度,削弱氧化损伤的作用^[5-8]。因此,本文利用分离纯化的STI致小鼠胰腺氧化损伤,研究茶多酚对STI致小鼠胰腺氧化

收稿日期:2018-05-28

基金项目:吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH20171058KJ)。

第一作者简介:赵琳琳(1988-),女,硕士,助教,主要从事营养代谢调控的研究。E-mail: jnzll89@yahoo.com。

通讯作者:谷春梅(1976-),女,博士,副教授,主要从事食品营养与安全、营养代谢与调控的研究。E-mail: jjnong2008@126.com。

损伤的缓解作用和抑制 STI 抗营养作用,以期为提高豆类食品及饲料的营养价值和安全性提供有价值的参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试动物 供试小鼠采购于长春市亿斯实验动物技术有限责任公司,体重约 18 g 的昆明种雄性小鼠,共 36 只。在整个试验周期中,小鼠自由饮水及进食,动物房相对湿度控制在 50% ~ 60%,温度控制在 22 ~ 24℃。

1.1.2 主要仪器 高速台式离心机(TGL-I6G,上海安亭科学仪器厂)、水浴锅(DZKW-D,河北黄骅市航天仪器厂)、紫外可见分光光度计(T6,北京普析通用仪器有限责任公司)、超低温冰箱(DW-FL90,中科美菱)。

1.1.3 主要试剂 茶多酚由河南华建化工产品有限公司提供、大豆胰蛋白酶抑制因子于吉林师范大学活性产物检测与分析实验室制备、戊二醛购自美国 Sigma-Aldrich 公司、总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)、胰岛素(INS)、生长抑素(SS)、胰蛋白酶(TPS)、脂肪酶(LPS)、淀粉酶(AMS)试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.2 试验设计

36 只小鼠采用随机数字表法平分成 3 组,分别为对照组(control 组)、模型组(STI 组,于日粮中添加 3.6 mg·g⁻¹ 的 STI)、茶多酚组(TP 组,于日粮中添加 100.0 mg·kg⁻¹ 的茶多酚和 3.6 mg·g⁻¹ 的 STI)。基础日粮的所含主要营养成分及含量见表 1,此日粮代谢能为 16.33 MJ·kg⁻¹。第 21 天,小鼠眼球取血,随后断颈处死,常规消毒,开腹,取出胰腺组织,部分用于制备 10% 组织匀浆,部分于 2.5% 戊

二醛中保存。

表 1 试验日粮

Table 1 Composition of the diets (g·kg ⁻¹)		
项目 Item	组份 Ingredient	含量 Content
蛋白质 Protein	酪蛋白 Casein	200
碳水化合物 Carbohydrates	玉米淀粉 Corn starch	660
脂肪 Fat	大豆油 Soybean oil	50
纤维素 Fiber	纤维素粉 Cellulose powder	30
其它 Others	复合矿物质添加剂 Mineral mixture	50
	复合维生素添加剂 Vitamin mixture	10

1.3 测定项目与方法

取血清和 10% 组织匀浆待测液,分别测定其中 T-AOC、MDA、INS、SS、AMS、TPS 和 LPS 含量,按试剂盒说明书进行相关试剂的配制及测定。电镜观察于吉林大学人兽共患病研究所进行。

1.4 数据分析

使用 Excel 2017 对数据进行整理和计算;采用 SPSS 18.0 对整理后的试验数据进行单因素方差分析,方差分析结果均表示为“平均值 ± 标准差”的形式,并进行 Duncan's 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 茶多酚对小鼠胰腺和血清中氧化及抗氧化指标的影响

如表 2 所示,模型组小鼠胰腺和血清中的丙二醛 MDA 含量均较对照组显著升高($P < 0.05$),总抗氧化能力 T-AOC 含量较对照组显著降低($P < 0.05$),说明 STI 诱导了氧化应激。与 STP 相比,TP 组中胰腺和血清中 MDA 含量显著降低($P < 0.05$),并且胰腺中数值接近于对照组,胰腺和血清中 T-AOC 含量显著升高($P < 0.05$)。

表 2 小鼠胰腺和血清中氧化及抗氧化指标含量

Table 2 Oxidative and antioxiidative parameters contents in pancreas and serum of mice

项目 Item	组织 Tissue	对照组 Control group	模型组 STI group	茶多酚组 TP group
丙二醛 MDA	胰腺 Pancreas /(nmol·mg·prot ⁻¹)	12.37 ± 2.26 b	20.33 ± 0.68 a	13.43 ± 0.78 b
	血清 Serum/(nmol·mL ⁻¹)	2.81 ± 0.31 c	4.45 ± 0.63 a	3.21 ± 0.46 b
总抗氧化能力 T-AOC	胰腺 Pancreas /(U·mg·prot ⁻¹)	146.40 ± 12.11 a	78.54 ± 7.84 c	125.97 ± 5.80 b
	血清 Serum/(U·mL ⁻¹)	15.34 ± 1.97 a	9.55 ± 1.06 c	11.72 ± 0.66 b

同行不同小写字母表示数据之间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Different lowercase in the same line represent significant differences between data ($P < 0.05$). The same below.

2.2 茶多酚对小鼠胰腺和血清中消化酶的影响

如表 3 所示,氧化应激作用下 STI 组小鼠胰腺和血清中淀粉酶 AMS 和胰蛋白酶 TPS 活性均显著升高($P < 0.05$),而添加茶多酚的 TP 组,其胰腺和血清中数值较 STI 组显著降低($P < 0.05$),但是未

降低到正常水平,与对照组数值相比仍有显著差异。TPS 的变化趋势与 AMS 和 TPS 完全相反,STI 抑制了 TPS 的活性,而茶多酚削弱了这种抑制作用,使 TPS 活性显著升高($P < 0.05$)。

表3 小鼠胰腺和血清中消化酶活性
Table 3 Digestive enzyme activities in pancreas and serum of mice

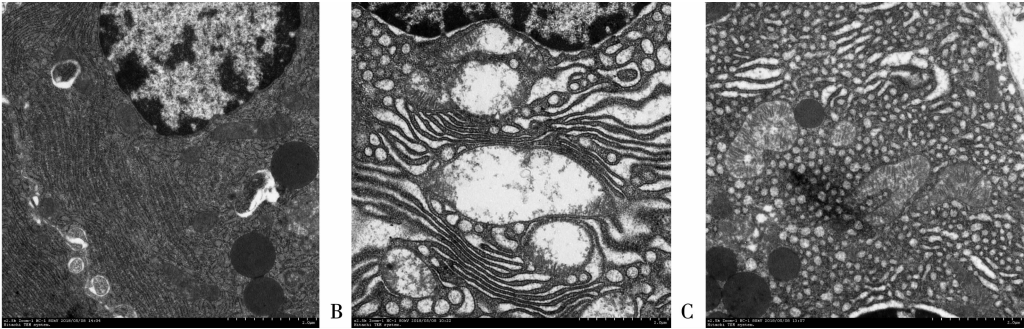
消化酶 Digestive enzyme	组织 Tissue	对照组 Control group	模型组 STI group	茶多酚组 TP group
淀粉酶 AMS	胰腺 Pancreas/(U·mg·prot ⁻¹)	1.21 ± 0.03 c	1.89 ± 0.05 a	1.39 ± 0.01 b
	血清 Serum/(U·mL ⁻¹)	3130.34 ± 36.90 c	4982.03 ± 75.96 a	3978.11 ± 38.78 b
脂肪酶 LPS	胰腺 Pancreas/(U·mg·prot ⁻¹)	0.44 ± 0.02 c	0.71 ± 0.06 a	0.58 ± 0.03 b
	血清 Serum/(U·mL ⁻¹)	165.32 ± 5.32 c	249.45 ± 4.74 a	201.75 ± 4.79 b
胰蛋白酶 TPS	胰腺 Pancreas/(U·mg·prot ⁻¹)	8.72 ± 0.33 a	3.28 ± 0.18 c	5.21 ± 0.25 b
	血清 Serum/(U·mL ⁻¹)	97.63 ± 3.43 a	39.01 ± 1.51 c	68.98 ± 2.76 b

2.3 茶多酚对小鼠胰腺和血清中激素含量的影响
如表4所示,氧化应激作用下 STI 组小鼠胰腺和血清中生长抑制素 SS 含量显著升高($P < 0.05$),而添加茶多酚的 TP 组,其胰腺和血清中数值较 STI 组显著降低($P < 0.05$),与对照组数值相比无显著差异。胰岛素 INS 的变化趋势与生长抑制素 SS 完全相反,STI 组数值较对照组显著降低($P < 0.05$),TP 组数值较 STI 组显著升高($P < 0.05$)。

表4 小鼠胰腺和血清中激素含量
Table 4 Hormone contents in pancreas and serum of mice

激素 Hormone	组织 Tissue	对照组 Control group	模型组 STI group	茶多酚组 TP group
生长抑制素 SS	胰腺 Pancreas/(pg·mg·prot ⁻¹)	26.38 ± 2.26 b	62.63 ± 0.68 a	30.04 ± 3.19 b
	血清 Serum/(pg·mL ⁻¹)	19.42 ± 1.70 b	54.53 ± 6.70 a	20.54 ± 3.33 b
胰岛素 INS	胰腺 Pancreas/(mIU·mg·prot ⁻¹)	42.37 ± 2.26 a	20.33 ± 0.68 b	39.93 ± 1.75 a
	血清 Serum/(mIU·mL ⁻¹)	89.58 ± 4.43 a	49.36 ± 7.57 c	80.46 ± 2.96 b

2.4 茶多酚对小鼠胰腺线粒体的影响
如图1所示,通过电镜观察,对照组小鼠胰腺腺泡细胞超微结构正常,线粒体正常,可见嵴,线粒体膜正常。与对照组相比,STI 组线粒体变性,严重肿胀,空泡化程度非常高并出现局灶性加重,甚至有些部位发生溶解。与 STI 组相比,TP 组线粒体损伤有所缓解,但仍可见大部分线粒体有轻微肿胀现象,部分出现空泡化,可见嵴。



A:对照组;B:STI 组;C:TP 组。
A:Control group;B:STI group;C:TP group.

图1 胰腺细胞线粒体
Fig.1 Mitochondria of the pancreas

3 讨论

MDA 是脂质过氧化的中间产物,本试验中,模型组小鼠胰腺和血清 MDA 含量显著增加,并且 T-AOC 含量显著降低,说明建模成功,小鼠因摄入 STI 导致胰腺内自由基水平升高,过多的自由基会攻击线粒体,使线粒体结构受损^[9]。TP 组小鼠胰腺中 MDA 含量较 STI 组显著降低,线粒体损伤程度减轻。这是由于茶多酚自身具有较低的氧化还原电位,能够将自由基还原,生成含有邻苯二酚结构的

稳定自由基,以此来降低自由基的负面作用,抑制氧化应激^[10-12],类似的结果在其它研究中也有发现^[13-15]。
淀粉酶和脂肪酶主要存在于胰液中,淀粉酶能催化淀粉及糖原水解,对食物中多糖化合物的消化起重要作用,脂肪酶能将中性脂肪分解成甘油和脂肪酸,当胰腺组织受到损伤时少量胰液会外溢进入周围胰腺组织及血液中,导致胰腺和血清中脂肪酶和淀粉酶的含量显著升高^[16-18],因此,临床上通常联合检测这两种酶的含量,作为诊断胰腺损伤的基

本依据。胰蛋白酶由胰腺腺泡分泌,是一种内肽酶,STI 可与消化系统中游离的胰蛋白酶结合生成无活性的复合物,造成小肠中游离的胰蛋白酶减少,蛋白质消化异常,因此导致肠促胰酶素的大量分泌,肠促胰酶素刺激胰腺腺泡分泌更多胰液,势必造成胰腺分泌失调性增生、肥大、甚至损伤^[19]。本试验结果表明,饲喂含 STI 的日粮后,STI 处理组小鼠血清和胰腺中淀粉酶和脂肪酶含量明显升高,说明腺泡出现损伤,胰液外溢到组织和血液中,导致淀粉酶和脂肪酶的含量升高;而胰蛋白酶因与 STI 结合生成无活性的复合物,导致其数值降低。同时添加 STI 和茶多酚的 TP 组,胰蛋白酶含量升高,这是由于茶多酚结构中的酚羟基与 STI 结合,起到一定的钝化作用^[20],与茶多酚络合时,STI 对胰蛋白酶的抑制作用降低,而胰蛋白酶的含量因此增加。淀粉酶和脂肪酶的含量降低,这也说明茶多酚有效削弱了胰腺的损伤程度。

生长抑素由胰岛 D 细胞分泌,是机体消化功能的主要调节因子,可以削弱胰腺腺泡分泌消化酶的功能,从而抑制胰腺分泌失调性增生、肥大,并且可以减少对 ATP 的需要,间接地抑制氧自由基的产生。胰岛素由胰岛 B 细胞分泌,是血糖调节因子,临床上通过测定胰岛素含量的变化评估胰腺的内分泌功能,胰岛素水平越低,说明 B 细胞损伤程度越高,内分泌功能异常^[21]。STI 处理组小鼠血清中生长抑素含量显著升高,胰岛素含量显著降低,进一步说明胰腺分泌功能异常。此外,过量的氧自由基可使 cGMP 和 cAMP 水平升高,而这两种物质又对生长抑素基因的表达有调节作用,因此,高水平的氧自由基可通过升高 cAMP 和 cGMP 含量,进而升高生长抑素的含量^[22]。而生长抑素的过量分泌又会抑制胰岛素的分泌,所以导致胰岛素的变化趋势与生长抑素的变化趋势完全相反。添加茶多酚后,可见生长抑素含量显著降低,胰岛素含量显著升高,这也进一步说明了在小鼠日粮中添加一定剂量的茶多酚,可以有效地削弱 STI 的抗营养作用,缓解胰腺氧化损伤。

4 结 论

通过在小鼠日粮中添加茶多酚,有效缓解了 STI 造成的胰腺氧化损伤,使小鼠胰腺和血清中淀粉酶、脂肪酶和生长抑素等数值显著降低,胰蛋白酶和胰岛素数值显著升高,线粒体损伤程度减轻。但是添加的茶多酚并未将各项指标恢复到正常水平,这可能与茶多酚的添加剂量较小有关,具体原因将在后期的试验中深入研究。

参考文献

[1] 李单,田河,陈山,等. 大豆主要抗营养因子对仔猪影响的研究进展[J]. 饲料研究, 2015, 23(3): 10-13. (Li D, Tian H, Chen S. Research progress on the effect of soybean anti-nutritional factors on piglets[J]. Feed Research, 2015, 23(3): 10-13.)

[2] 谷春梅,韩玲玲,曲洪生,等. 大豆胰蛋白酶抑制因子对小鼠胰腺氧自由基水平的影响 [J]. 中国兽医学报, 2013, 33 (12): 1902-1906. (Gu C M, Han L L, Qu H S, et al. The effect of soybean trypsin inhibitor on oxygen free radical level in pancreas of mice [J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2013, 33(12): 1902-1906.)

[3] Gu C M, Zhao L L, Han L L, et al. The effect of soybean trypsin inhibitor on the generation of oxygen free radical in mice during different growth periods [J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20: 431-438.)

[4] 谷春梅,施用晖,乐国伟. 高蛋白膳食对小鼠胰腺功能的氧化损伤[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37 (11): 32-35. (Gu C M, Shi Y H, Le G W. Oxidative damage of high protein diet to pancreatic function in mice[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2010, 37 (11): 32-35.)

[5] 赵琳琳,解慧,张彪,等. 茶多酚对大豆胰蛋白酶抑制因子诱导氧化应激的抑制作用[J]. 大豆科学, 2018, 37 (3): 373-377. (Zhao L L, Xie H, Zhang B, et al. The inhibitory effect of tea polyphenols on the oxidative stress induced by soybean trypsin inhibitor[J]. Soybean Science, 2018, 37 (3):373-377.)

[6] Biswas A H, Wakita M. Effect of dietary Japanese green tea powder supplementation on feed utilization and carcass profiles in broilers[J]. The Journal of Poultry Science, 2001, 38 (1): 50-57.

[7] Tao J, Shen X H, Ai Y H, et al. Tea polyphenols protect against ischemia/reperfusion-induced liver injury in mice through anti-oxidative and anti-apoptotic properties[J]. Experimental and Therapeutic Medicine, 2016, 12 (5): 3433-3439.

[8] Kulandaivelu K, Mandal A K. Positive regulation of bio-chemical parameters by tea polyphenol encapsulated solid lipid nanoparticles at in vitro and in vivo conditions [J]. Inset Engineering Technology Nanobiotechnology, 2016, 10(6): 419-424.

[9] 李淑君. 大豆胰蛋白酶抑制因子致胰腺线粒体氧化损伤机理的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2015. (Li S J. Study on the mechanism of pancreatic mitochondrial oxidative damage induced by soybean trypsin inhibitor[D]. Changchun: Jilin Agricultural University,2015.)

[10] 赵磊,高民,马燕芬. 茶多酚的抗氧化作用及其机制[J]. 动物营养学报, 2017, 29 (6): 1861-1865. (Zhao L, Gao M, Ma Y F. Anti-oxidation functions of tea polyphenols and their mechanisms[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29 (6): 1861-1865.)

[11] Song J L, Qian Y, Li G J, et al. Anti-inflammatory effects of kud-ingcha methanol extract (Ilex kudingcha CJ Tseng) in dextranul-fate sodium-induced ulcerative colitis[J]. Molecular Medicine Reports, 2013, 8(4): 1256-1262.

[12] 赵欣,李贵节,胡园园,等. 苦丁茶多酚提取物对四氯化碳诱导小鼠肝损伤的改善作用及机制研究[J]. 营养与保健,

- 2018, 39(4): 289-295. (Zhao X, Li G J, Hu Y Y, et al. Impromtent effects and mechanism research of polyphenol extracts from Kudingcha on carbon tetrachloride induced hepatic damage in mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(4): 289-295.)
- [13] 王妍琪. 茶多酚、VE 对肉用仔鸡热应激时生产性能和抗氧化性能的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2004. (Wang Y Q. Effect of tea polyphenols and vitamin E on broilers performance and antioxidant on under heat-stress conditions [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2004.)
- [14] Zhong R Z, Tan C Y, Han X F, et al. Effect of dietary tea catechins supplementation in giats on the quality of meat kept under refrigeration[J]. Small Ruminant Research, 2009, 87(1): 122-125.
- [15] 蔡海莹, 徐晓娟, 张磊, 等. 日粮中添加茶多酚对肉鸡抗氧化性能及免疫器官指数的影响[J]. 中国家禽, 2010, 32(13): 11-14. (Cai H Y, Xu X J, Zhang L, et al. Effect of tea polyphenol on antioxidation capacity and immune organs index of broilers [J]. China Poultry, 2010, 32(13): 11-14.)
- [16] Kurt Ö, Demirci H, Ozturk K, et al. Severe serum amylase elevation, with only chronic kidney disease[J]. Renal Failure, 2015, 37(5):915.
- [17] 曹友德, 陈玮, 李浩. 急性胰腺炎患者脂肪酶的检测与临床意义[J]. 中国现代医学杂志, 2001, 11(6): 90-91. (Cao Y D, Chen W, Li H. Detection and clinical significance of lipase in patients with acute pancreatitis[J]. China Journal of Modern Medicine, 2001, 11(6): 90-91.)
- [18] 蒋品. 淀粉酶在胰腺炎诊断中的作用[J]. 实用医技杂志, 2004, 11(12): 2636-2637. (Jiang P. The role of amylase in the diagnosis of pancreatitis[J]. Journal of Practical Medical Techniques, 2004, 11(12): 2636-2637.)
- [19] 杨志刚, 王宝维, 王雷. 大豆胰蛋白酶抑制因子的研究进展[J]. 饲料博览, 2005(12): 31-33. (Yang Z G, Wang B W, Wang L. Research progress of soybean trypsin inhibitor[J]. Feed Review, 2005(12): 31-33.)
- [20] Liang H H, Huang H H, Kwok K C. Properties of tea polyphenol complexed bromelain[J]. Food Research International, 1999, 32(8): 545-551.
- [21] 赵自刚, 牛春雨, 侯亚利, 等. 兔急性肾功能衰竭时胰腺形态与功能及自由基的变化[J]. 中国病理生理杂志, 2005, 21(8): 1599-1601. (Zhao Z G, Niu C Y, Hou Y L, et al. Pancreatic morphology and function and free radicals in rabbits with acute renal failure[J]. Chinese Journal of pathophysiology, 2005, 21(8): 1599-1601.)
- [22] 唐亚丽, 卢立新, 王军. 生长抑素与消化系统的氧化损伤[J]. 饲料工业, 2009, 30(23): 48-51. (Tang Y L, Lu L X, Wang J. Somatostatin and oxidative damage of digestive system [J]. Feed Industry, 2009, 30(23): 48-51.)

(上接第 949 页)

- [17] 中华人民共和国广东出入境检验检疫局, 中国检验检疫科学研究院. 食品中转基因植物成分定性 PCR 检测方法: SN/T 1202-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. (Guangdong Entry-exit Inspection and Quarantine Bureau of the People's Republic of China, Chinese Academy of Inspection and Quarantine. Protocol of the qualitative polymerase chain reaction for detecting genetically modified plant components in food: SN/T 1202-2010 [S]. Beijing: China Standards Press, 2011.)
- [18] Malaki Nik A, Tosh S M, Poysa V, et al. Protein recovery in soymilk and various soluble fractions as a function of genotype differences, changes during heating, and homogenization [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(22): 10893-10900.
- [19] 王媛. 转基因大豆内、外源基因在食品加工过程中变化规律的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005. (Wang Y. Degradation of endogenous and exogenous genes of transgenic roundup ready soybean during its processing [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.)
- [20] 何雪娇, 郑涛, 苏金强, 等. 改良 CTAB 法提取野牡丹科 7 种植物 DNA[J]. 热带农业科学, 2011, 31(10): 73-77. (He X J, Zheng T, Su J Q, et al. DNA extraction of 7 species plants of melastomaceae using modified CTBA method [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2011, 31(10): 73-77.)
- [21] 焦红, 翁文川, 王方金, 等. 食品中副溶血弧菌 FQ-PCR 快速检测方法的研究[J]. 卫生研究, 2005, 34(4): 457-460. (Jiao H, Weng W C, Wang F J, et al. Faster detection of *Vibrio parahaemolyticus* in foods by FQ-PCR technique [J]. Journal of Hygiene Research, 2005, 34(4): 457-460.
- [22] 谢华, 谭桂芳, 程颂. 荧光定量聚合酶链反应在尖锐湿疣诊断中的应用[J]. 四川大学学报(医学版), 2003, 34(1): 155-157. (Xie H, Tan G F, Cheng S. The use of FQ-PCR in detecting condyloma acuminata [J]. Journal of Sichuan University (Medical Science Edition), 2003, 34(1): 155-157.)
- [23] 李勤, 盛占武, 孙志高, 等. 实时荧光定量技术在食品微生物检测和研究中的应用[J]. 食品与机械, 2006, 42(6): 118-120. (Li Q, Sheng Z W, Sun Z G, et al. Application of real-time fluorescent quantitative PCR for detection of microbes in foods [J]. Food and Machinery, 2006, 42(6): 118-120.)
- [24] 郑卫东, 袁仕伟. 荧光定量 PCR 仪的边缘效应与实验误差分析[J]. 医疗卫生装备, 2013, 34(2): 113-115. (Zheng W D, Yuan S W. Edge effect and experiment error of fluorescence quantitative PCR instrument [J]. Quality Control and Safety, 2013, 34(2): 113-115.)
- [25] 梁海燕, 刘文鑫, 杨志刚. 等温核酸扩增技术进展[J]. 中国医学创新, 2017, 14(16): 145-148. (Liang H Y, Liu W X, Yang Z G, et al. Progress in isothermal nucleic acid amplification technology [J]. Medical Innovation of China, 2017, 14(16): 145-148.)
- [26] 李鑫娜, 聂凯, 王估, 等. 埃博拉病毒扎伊尔亚型多引物自配引发等温扩增方法的建立[J]. 病毒学报, 2016, 32(1): 1-6. (Li X N, Nie K, Wang J, et al. Detection of the Zaire subtype of the Ebola virus by isothermal multiple self-matching initiated amplification [J]. Chinese Journal of Virology, 2016, 32(1): 1-7.)
- [27] 丁雄. 新型等温核酸扩增技术 (IMSA) 的建立及其对产染病病原 EV71、CVA16、H7N9 和 HIV-1 的快速检测应用[D]. 广东: 华南农业大学, 2014. (Ding X. Development of a novel isothermal multiple-self-matching-initiated amplification (IMSA) and its application on rapid detection of infectious pathogens of EV71, CVA16, H7N9, and HIV-1 [D]. Guangdong: South China University of Technology, 2014.)