



## 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

赵琳琳<sup>1</sup>, 解慧<sup>1</sup>, 张彪<sup>1</sup>, 谷春梅<sup>2</sup>

(1. 吉林师范大学 博达学院, 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:**为研究茶多酚对大豆胰蛋白酶抑制因子(STI)诱导的小鼠氧化应激的抑制作用, 设3个处理, 每组12只清洁级雄性小鼠, 第1组为正常对照组, 饲喂基础日粮; 第2组为模型组(STI组), 饲喂添加STI的日粮, 第3组为茶多酚组(TP组), 饲喂添加STI和茶多酚的日粮。21 d后处死小鼠, 测定其氧化及抗氧化指标的变化。结果表明: STI组小鼠由于STI诱导了氧化应激, 造成胰腺和血清中的MDA含量均显著升高( $P < 0.05$ ); 而添加茶多酚的TP组, 其胰腺中MDA含量较STI组显著降低( $P < 0.05$ ), 胰腺和血清中T-SOD、T-AOC、CAT、GSH和GSH-Px值较STI组均有不同程度的升高。研究表明, 茶多酚有效抑制了STI诱导的氧化应激, 削弱了自由基的氧化作用, 并有效增强了机体的抗氧化能力。

**关键词:**大豆胰蛋白酶抑制因子; 茶多酚; 自由基; 胰腺; 血清; 小鼠

## The Inhibitory Effect of Tea Polyphenols on the Oxidative Stress Induced by Soybean Trypsin Inhibitor

ZHAO Lin-lin<sup>1</sup>, XIE Hui<sup>1</sup>, ZHANG Biao<sup>1</sup>, GU Chun-mei<sup>2</sup>

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

**Abstract:** In order to assess the inhibitory effect of tea polyphenol on oxidative stress induced by soybean trypsin inhibitor (STI), 3 treatments were established for each group of 12 clean grade male mice, the first group was normal control group, and the basal diet was fed, the second group was the model group (STI group), feeding the daily ration of STI, and the third group was the tea polyphenol group (TP group), feeding the daily ration of STI and tea polyphenol. Mice were executed after 21 d and their oxidation and antioxidant indexes were determined. The result showed that, the MDA content in the pancreas and serum were significantly increased ( $P < 0.05$ ) due to the oxidative stress induced by STI. In the TP group with the addition of tea polyphenol, the MDA content in the pancreas was significantly lower than that in the STI group ( $P < 0.05$ ), and the values of T-SOD, T-AOC, CAT, GSH and GSH-Px in the pancreas and serum were higher than those of the STI group. The results showed that, the tea polyphenols effectively inhibited the oxidative stress induced by STI, weakened the oxidation of free radicals, and effectively enhanced the body's antioxidant capacity.

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

大豆含有丰富的优质植物蛋白、B族维生素、钙及不饱和脂肪酸, 常用来制作各种豆制品, 榨取豆油、酿造酱油和提取蛋白质, 是我国居民膳食中优质蛋白质的重要来源。磨成粗粉的大豆或豆渣也常常被用于生产畜禽饲料。但是大豆中含有一种胰蛋白酶抑制因子(STI), 会抑制胰蛋白酶的分解作用, 影响机体对大豆制品的消化及吸收<sup>[1-2]</sup>, 不利于豆类食品与豆类畜禽饲料的开发。

STI膳食补充会导致小鼠胰腺内氧自由基的过量生成, 并对胰腺细胞产生氧化损伤<sup>[3-5]</sup>。胰腺作

为机体的分泌腺, 是一种对STI较敏感的器官, 现有研究表明, 大鼠摄入含有高剂量胰蛋白酶抑制因子的脱脂大豆粉, 会对其胰腺造成病理性损伤, 可见胰腺弥漫性肥大、增生, 甚至出现肿瘤结节和腺瘤<sup>[6]</sup>。

茶多酚(TP)是茶叶中的一种活性成分, 含量较高, 通常可占茶叶干重的30%左右。茶多酚也是一类食品抗氧化剂, 在食品工业应用较多, 因其具有较强的还原性, 能够将氧自由基还原成相对稳定的化合物, 还可以协同过氧化氢酶(CAT)、超氧化物

收稿日期: 2018-04-03

基金项目: 吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(No. 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, 硕士, 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。

歧化酶(SOD)、谷胱甘肽(GSH)、维生素C等更好地发挥抗氧化防御体系的作用,起到降低自由基水平,削弱脂质过氧化程度、提高机体免疫力以及延缓衰老的作用<sup>[7]</sup>。但是目前关于茶多酚的研究主要集中在人类医学方面,对清除自由基、抗畜禽氧化应激及抗氧化机理方面却很少有报道。因此,本文以此为研究的切入点,利用从大豆中分离纯化的STI致小鼠胰腺损伤,用茶多酚对小鼠进行抗氧化研究,以达到降低小鼠胰腺内过量的自由基水平,抑制氧化应激的目的。本研究结果将对提高豆类食品及饲料的营养价值和安全性有重要参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验动物和日粮

选取清洁级昆明种雄性小鼠36只,体重 $18 \pm 2$  g,由长春市亿斯实验动物技术有限责任公司提供。所有小鼠均在条件可控的动物房内饲养,控制温度在 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,相对湿度在 $(55 \pm 5)\%$ ,12 h 白天-黑夜轮换。饲喂试验开始前,所有小鼠均用基础日粮和去离子水预饲3 d。3 d后将小鼠随机平均分成3组,分别饲喂经过不同处理的饲料。其中,第1组为正常对照组,饲料为基础日粮;第2组为模型组(STI组),饲料中添加STI,添加量为 $3.6\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ;第3组为茶多酚组(TP组),饲料中添加STI和茶多酚,添加量分别为3.6和 $100.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 日粮。在21 d的饲养期内,去离子水和日粮要保证足够小鼠食用。STI由吉林师范大学生命科学学院活性产物检测与分析实验室提供,经测定其活性为 $4\,600\text{ U}\cdot\text{mg}^{-1}$ ;TP购买于河南华建化工产品有限公司,经测定其含量为99.5%。试验日粮的具体组成成分及营养含量见表1。

表1 试验日粮  
Table 1 Composition of the diets ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

	组成 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

日粮代谢能  $16.33\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。  
The diets were semipurified, isoenergetic for  $16.33\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

1.2 血样和组织样的处理

在屠宰前12 h,3组小鼠均禁食、不禁水,眼球采血,随后断颈处死,分离脏器并称重。血清的制备:在室温条件下,采集的血液自然凝固,将凝固的血块剥离析出血清,尽快将血清离心,离心机转速 $2\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,离心时间15~20 min,小心吸出上层清液待测。处死小鼠后,迅速解剖并准确取出胰腺,用生理盐水作缓冲液制备10%的胰腺组织匀浆。10%的组织匀浆用冷冻离心机离心,离心机转速 $3\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,离心时间15 min,而后小心取上清液待测。

1.3 测定项目与方法

分别取血清和10%组织匀浆待测液,测定其中MDA含量,总抗氧化能力(T-AOC)、谷胱甘肽(GSH)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)以及过氧化氢酶(CAT)的酶活性,所采用的试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,试剂配制和操作步骤均按说明书进行。

1.4 数据统计分析

使用Excel 2016对数据进行统计、整理;采用SPSS 18.0对试验数据进行单因素方差分析和差异显著性分析,方差分析结果均表示为“平均值 $\pm$ 标准差”的形式,采用Duncan方法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 茶多酚对小鼠脏器指数的影响

小鼠在饲养期结束时的脏器指数如表2所示,其中STI组小鼠的胰腺与体重比、肝脏与体重比、十二指肠与体重比均显著高于对照组小鼠( $P<0.05$ )。TP组小鼠的胰腺与体重比、肝脏与体重比、十二指肠与体重比皆显著低于STI组( $P<0.05$ )。

2.2 茶多酚对小鼠胰腺和血清中MDA含量的影响

茶多酚对不同处理组小鼠胰腺和血清中MDA含量的影响如表3所示,STI组小鼠由于STI诱导了氧化应激,造成胰腺和血清中的MDA含量均显著升高( $P<0.05$ );而添加茶多酚的TP组,其胰腺中MDA含量较STI组显著降低( $P<0.05$ ),并接近于对照组的数值;血清中该含量与STI组相比也有一定程度的降低,但是与对照组的数值相比仍有显著差异。

表 2 小鼠脏器指数  
Table 2 Viscera indexes of mice

	对照组 Control group	STI 组 STI group	TP 组 TP group
胰腺/体重 Pancreas/weight	0.09 ± 0.02 c	0.13 ± 0.03 a	0.11 ± 0.05 b
肝脏/体重 Liver/weight	4.24 ± 0.36 c	5.49 ± 0.28 a	4.95 ± 0.33 b
脾脏/体重 Spleen/ weight	0.36 ± 0.06 a	0.38 ± 0.05 a	0.37 ± 0.04 a
肾脏/体重 Kidney/weight	1.41 ± 0.24 a	1.54 ± 0.12 a	1.51 ± 0.13 a
胃/体重 Stomach/weight	1.31 ± 0.30 a	1.28 ± 0.34 a	1.32 ± 0.42 a
十二指肠/体重 Duodenum/weight	0.41 ± 0.09 b	0.61 ± 0.07 a	0.46 ± 0.10 b

同列数据不同字母表示 5% 水平差异显著( $P < 0.05$ )。下同。  
Different lowercase in the same column represent significant difference at 5% level ( $P < 0.05$ ). The same as below.

表 3 小鼠血清和胰腺中 MDA 含量  
Table 3 Change of the MDA in serum and pancreas

	对照组 Control group	STI 组 STI group	TP 组 TP group
胰腺 Pancreas / (nmol·mg·prot <sup>-1</sup> )	12.37 ± 2.26 b	20.33 ± 0.68 a	13.43 ± 0.78 b
血清 Serum / (nmol·mL <sup>-1</sup> )	2.81 ± 0.31 c	4.45 ± 0.63 a	3.21 ± 0.46 b

2.3 茶多酚对小鼠胰腺和血清中的抗氧化指标的影响

如表 4 所示,茶多酚对不同处理组小鼠胰腺和血清中抗氧化指标影响,氧化应激作用下 STI 组小鼠胰腺和血清中 T-AOC 值显著降低( $P < 0.05$ ),而添加茶多酚的 TP 组,其胰腺和血清中 T-AOC 值较 STI 组显著升高( $P < 0.05$ ),但是未升高到正常水

平,与对照组数值相比仍有显著差异。此外,茶多酚对不同处理组小鼠胰腺和血清中 GSH 和 GSH-Px 值的影响与 T-AOC 类似。茶多酚对 CAT 的影响最为理想,与 STI 组数值相比,TP 组胰腺和血清中 CAT 活性均显著降低( $P < 0.05$ ),并且降低到正常对照组水平,与对照组相比无显著差异,类似的结果也体现在对血清中 T-SOD 的影响。

表 4 小鼠血胰腺和血清中抗氧化指标活性  
Table 4 Antioxidative parameters in pancreas and serum of mice

		对照组 Control group	STI 组 STI group	TP 组 TP group
T-AOC	胰腺 Pancreas / (U·mg·prot <sup>-1</sup> )	146.40 ± 12.11 a	78.54 ± 7.84 c	125.97 ± 5.80 b
	血清 Serum / (U·mL <sup>-1</sup> )	15.34 ± 1.97 a	9.55 ± 1.06 c	11.72 ± 0.66 b
T-SOD	胰腺 Pancreas / (U·mg·prot <sup>-1</sup> )	64.78 ± 2.95 a	58.43 ± 2.02 b	62.88 ± 2.62 ab
	血清 Serum / (U·mL <sup>-1</sup> )	158.30 ± 6.91 a	135.43 ± 8.42 b	151.76 ± 7.38 a
CAT	胰腺 Pancreas / (U·mg·prot <sup>-1</sup> )	22.53 ± 2.91 a	17.19 ± 2.07 b	23.01 ± 0.59 a
	血清 Serum / (U·mL <sup>-1</sup> )	39.38 ± 3.09 a	31.29 ± 1.60 b	38.88 ± 1.05 a
GSH-Px	胰腺 Pancreas / (U·mg·prot <sup>-1</sup> )	278.57 ± 21.87 a	197.74 ± 12.83 c	243.36 ± 8.91 b
	血清 Serum / (U·mL <sup>-1</sup> )	532.58 ± 29.61 a	392.61 ± 15.77 c	432.78 ± 18.50 b
GSH	胰腺 Pancreas / (mg·g·prot <sup>-1</sup> )	227.41 ± 22.94 a	117.35 ± 12.65 c	158.10 ± 9.73 b
	血清 Serum / (mg·L <sup>-1</sup> )	144.44 ± 13.48 a	97.20 ± 5.01 c	115.50 ± 3.98 b

3 讨论

细胞在其正常的代谢过程中,会产生一定量的自由基,低浓度或中浓度的自由基对机体是有益的,而过高浓度的自由基则会增强脂质过氧化作用,导致氧化应激的发生<sup>[8]</sup>,这是一种对机体有害的过程,涉及癌症、心血管疾病、糖尿病、神经紊乱、缺血/再灌注损伤、其它疾病和衰老等各种病理状

态的产生<sup>[9-15]</sup>。MDA 是脂质过氧化的中间产物,所以是衡量氧化应激产生的常用指标。T-SOD、CAT、T-AOC 等是机体抗氧化系统的重要组成部分,可以反应机体的抗氧化能力<sup>[16]</sup>。本试验中,模型组小鼠胰腺和血清 MDA 含量显著增加,T-AOC 等抗氧化剂活性降低,说明因摄入 STI 导致氧化应激的发生,造成机体的抗氧化能力降低。  
茶多酚作为一种有效的 ROS 清除剂,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<sup>[17]</sup>。本试验中,茶多酚有效抑制了自由基的氧化作用,减少胰腺和血清中MDA的含量,这与王妍琪<sup>[18]</sup>研究发现茶多酚可以降低肉用仔鸡热应激时血清中MDA的结果一致。类似的结果在其它研究中也发现,据报道,茶多酚能显著降低乳腺上皮细胞丙二醛含量,显著升高SOD活性,减缓细胞凋亡的程度,从而减轻ROS介导的细胞膜结构与功能损伤,从而有限地抑制了氧化应激,实现保护奶牛乳腺上皮细胞的目的<sup>[19]</sup>。蔡海莹等<sup>[20]</sup>在青脚麻鸡日粮中添加茶多酚,发现肌肉中和肝脏中MDA含量明显降低。

茶多酚还可以通过上调细胞中SOD、CAT、GSH-Px的mRNA表达水平,升高其蛋白合成量及活性,从而达到清除自由基的目的<sup>[21]</sup>。本试验结果与该理论一致,茶多酚有效增强了CAT、GSH-Px、T-AOC等抗氧化剂的活性。但是添加的茶多酚并未将血清和胰腺中的各项指标恢复到正常水平,这与茶多酚的添加剂量较小有关。有研究证明茶多酚的抗氧化效果与添加量正相关,高剂量的茶多酚会呈现更理想的氧化应激抑制作用<sup>[22]</sup>。

此外,茶多酚结构中含有多个酚羟基,可以以氢键形式结合STI并改变其活性,因此在大豆制品及动物饲料中添加天然食品添加剂茶多酚,令其与大豆中的STI结合,也可以起到一定的钝化作用<sup>[23]</sup>。与茶多酚络合时,STI对胰蛋白酶的抑制作用就会降低,而胰蛋白酶的活性就会因此增加,从而间接反映STI的抑制活性。王洪新等<sup>[24]</sup>通过添加茶多酚与STI的比值来探讨茶多酚与STI的络合作用,证明当茶多酚添加量增加,更多的KSTI和BBI会与茶多酚结合,当茶多酚与KSTI的比值为25时,胰蛋白酶活性最大,此时STI的抗营养效果最低。综上所述,在小鼠日粮中添加一定剂量的茶多酚,可以有效削弱STI的抗营养作用,抑制其诱导的氧化应激,增强机体的抗氧化能力。

4 结 论

通过在小鼠日粮中添加茶多酚,有效降低了STI诱导的氧化应激的水平,使小鼠胰腺和血清中MDA含量显著降低,同时增强了机体的抗氧化能力,T-SOD、T-AOC等数值显著上升。但是添加的茶多酚并未将血清和胰腺中的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,将在

后期的试验中深入研究。

参考文献

[1] 杨丽洁, 吴非, 霍贵成, 等. 豆制品中胰蛋白酶抑制剂的研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2004 (5) : 47. (Yang L J, Wu F, Huo G C, et al. The study of trypsin inhibitor in soy products[J]. Grain and Oil Processing Grain and Food Machinery, 2004 (5) : 47. )

[2] 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) : 10-13. (Li D, Tian H, Chen S, et al. Research progress on the effect of soybean anti-nutritional factors on piglets[J]. Feed Research, 2015 (23) : 10-13. )

[3] Garthoff L H, Henderson G R, Sager A O, et al. The autosow raised miniature swine as a model for asseaaing the effects of dietary soy trypsin inhibitor [J]. Food and Chemical Toxicology, 2002, 40: 487-500.

[4] 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. )

[5] 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.

[6] 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. )

[7] Zhou B, Jia Z S, Chen Z H, et al. Synergistic antioxidant effect of green tea polyphenols with  $\alpha$ -tocopherol on free radical initiated peroxidation of linoleic acid in micelles[J]. Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2, 2000, 4: 785-791.

[8] Valko M, Rhodes C J, Moncol J, et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer [J]. Chemico-Biological Interactions, 2006, 160: 1-40.

[9] Valko M, Leibfritz D, Moncol J, et al. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease [J]. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 2007, 39: 44-84.

[10] Baker J S, Bailey D M, Hullin D, et al. Metabolic implications of resistive force selection for oxidative stress and markers of muscle damage during 30 s of high-intensity exercise [J]. European Journal of Applied Physiology, 2004, 92: 321-327.

[11] Stadtman E R. Role of oxidant species in aging [J]. Current Medicinal Chemistry, 2004, 11: 1105-1112.

[12] Dalle-Donne I, Scaloni A, Giustarini D, et al. Proteins as biomar-

kers of oxidative/nitrosative stress in diseases; The contribution of redox proteomics [J]. Mass Spectrometry Reviews, 2004, 24: 55-99.

[13] Gupte A, Mumper R J. Elevated copper and oxidative stress in cancer cells as a target for cancer treatment [J]. Cancer Treatment Reviews, 2009, 35: 32-46.

[14] Khandrika L, Kumar B, Koul S, et al. Oxidative stress in prostate cancer [J]. Cancer Letters, 2009, 282: 125-136.

[15] El-Newary S A, Shaffie N M, Omer E A. The protection of thymus vulgaris leaves alcoholic extract against hepatotoxicity of alcohol in rats[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2017, 10 (4): 361-371.

[16] 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. )

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

[18] 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: 30-36. (Wang Y Q. Effect of tea polyphenols and vitamin E on broilers perform- ance and antioxidant on under heat-stress conditions[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2004: 30-36. )

[19] Zhong R Z, Tan C Y, Han X F, et al. Effect of dietary tea cate- chins supplementation in giats on the quality of meat kept under refrigeration[J]. Small Ruminant Research, 2009, 87 ( 1 ): 122-125.

[20] 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 polyphe- nol on antioxidation capacity and immune organs index of broilers [J]. China Poultry, 2010, 32(13): 11-14. )

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

[22] 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. Im- prompent 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. )

[23] Liang H H, Huang H H, Kwok K C. Properties of tea polyphenol complexed bromelain[J]. Food Research International, 1999, 32: 545-551.

[24] 王洪新, 王晓玲. 茶多酚钝化大豆胰蛋白酶抑制因子(STI)的 研究[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(3): 349-354. (Wang H X, Wang X L. Inactivation of soybean trypsin inhibitor by tea polyphenols[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2008, 24(3): 349-354. )