

# 茶多酚对微生物生长影响的研究进展

王丽, 许奇, 徐顺, 张韦, 黄莹

(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

**摘要:** 茶多酚是茶叶中酚类物质及衍生物的总称, 作为天然抗氧化剂, 可添加与食品中, 同时, 一定量的茶多酚对微生物有特殊的调节作用。本文系统地介绍了茶多酚的有效成分、茶多酚抑制有害菌和促进有益菌生长的机理、以及茶多酚的生产应用。研究表明, 茶多酚起抑菌作用的主要成分是黄烷醇和儿茶素, 其对近百种致病细菌具有广谱抑制作用, 而对双歧杆菌、乳酸菌等有益菌群具有较好的增殖作用。茶多酚独有的特殊生物活性功能以及双向调节微生物的作用将在食品加工、保藏、医药、养殖业等领域发挥越来越重要的作用。

**关键词:** 茶多酚; 抑菌; 机理; 应用

文章编号: 1673-9078(2013)7-1737-1741

## Research progress of Tea Polyphenols on Growth of Microorganisms

WANG Li, XU Qi, XU Shun, ZHANG Wei, HUANG Ying

(College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Tea polyphenols, the phenolic compounds and their derivatives in tea, are a kinds of natural antioxidants used as food additives, which have a strong role in metabolic regulation of microorganisms. This paper systematically introduced the active components of tea polyphenols, the mechanism of their inhibitory effects on harmful bacteria and promotion effects on beneficial bacterium and their application. Research showed that the main component of tea polyphenols was yellow paraffin and catechins which exerted an enormous function on prevention of bacteria growth and have a broad spectrum of inhibition of pathogenic bacteria while it had good proliferation effect on Bifidobacterium and Lactobacillus bacteria. The special bioactive function and bidirectional regulation of tea polyphenols will have increasingly important effects on the field of food processing, preservation, medicine, aquaculture industry and other fields.

**Key words:** tea polyphenols; bacteriostatic; mechanism; application

茶多酚又名茶单宁、茶鞣质, 它是茶叶内一类多羟基类化合物的总称, 具有抗氧化、清除自由基、抗菌、解毒等的功能。其主要含有黄烷醇类、黄酮类、黄酮醇类、花青素类、酚酸、缩酚酸类及聚合酚类等, 其中茶多酚的主体成分为儿茶素类化合物, 其含量约占茶多酚总量的 65~80%<sup>[1]</sup>。随着茶文化的发展和普及, 人们对茶叶的认识已经大大加深, 对茶叶功能性的物质本质也有了深刻的了解, 并将其应用到生活和生产过程的众多领域。在抗生素、生长激素的毒副作用日益遭到质疑的今天, 随着人们对动物食品安全性及动物福利的重视, 茶多酚以其独特的生物学功能和“绿色”本质倍受关注。茶多酚除了具有抗氧化的作用外, 它还具有防癌抗癌、预防心血管疾病、抗菌消炎、防辐射等多种生物活性, 在食品、医药、养殖业

收稿日期: 2013-01-15

基金项目: 国家自然科学基金(31000781); 2012年度国家级大学生创新创业训练计划项目(201210564138)

作者简介: 王丽(1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为食品微生态与质量安全

等领域具有广阔的应用前景和开发价值。

### 1 茶多酚抑菌的机理

研究表明, 茶多酚通过影响细菌的细胞分裂过程, 对 19 个细菌类群的近百种细菌的生长均有不同程度的抑制作用<sup>[2]</sup>。对食品中常见的几种微生物(如金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、沙门氏菌、志贺氏痢疾杆菌等), 其最小抑制浓度(MIC)均未超过 1000 mg/kg, 对众多肠道致病菌的 MIC 大多在 400~500 mg/kg 之间, 这表明茶多酚对细菌具有广谱抑制作用和较强的抑制能力<sup>[1]</sup>。此外, 茶多酚对微生物的作用还具有较好的选择性, 主要表现为它既可以抑制大多数有害菌群的生长, 又能促进双歧杆菌及乳酸菌等有益菌群的增殖, 可改善人体微生态, 增强肠道的免疫功能。

#### 1.1 茶多酚的抑菌作用

茶多酚可以抑制大部分肠道内有害菌的生长<sup>[2-4]</sup>, 主要通过以下几种方式。

##### 1.1.1 茶多酚影响细菌培养液电导率

细胞膜是细菌与外界接触的一个保护屏障,而茶多酚可以破坏细菌细胞膜的脂质层,使细菌发生形态学改变。当细菌遇到强抑菌剂而使其细胞膜遭到破坏时,其内部电解质泄漏到培养液中,此时细胞内 $K^+$ 、 $Na^+$ 等电解质大量外泄,进而使培养液中的离子浓度上升,导致培养液的电导率上升,培养液电导率的改变可以反映细胞膜渗透性的改变<sup>[5]</sup>。一方面细胞内的离子丢失导致多种生命代谢途径受阻,同时影响多种酶的活性以及细胞内膜的稳定性;另一方面膜流动性降低也影响细胞控制物质进出的能力,导致细菌无法调节细胞内外的离子浓度平衡,使细胞吸水胀破受损甚至死亡。由于茶多酚对细菌细胞膜脂质的凝集作用产生影响,使细菌无法形成一定的形态结构,对有害细菌产生很好的抑制作用<sup>[6-7]</sup>。

### 1.1.2 与蛋白质与金属离子之间的多点结合作用

茶多酚分子中的众多酚羟基可与蛋白质分子中的氨基或羧基发生氢结合,其疏水性的苯环结构也可与蛋白质发生疏水结合,茶多酚与蛋白质之间的这种多点结合作用无疑是其抑菌性的重要原因之一。茶多酚的抑菌作用主要表现为茶多酚与环境中的蛋白质结合,影响微生物对蛋白质的利用;其次茶多酚还可以与细胞内蛋白质发生结合,茶多酚与细胞酶蛋白作用,降低酶活,茶多酚与膜蛋白结合,影响微生物对营养物质的吸收。

此外,茶多酚本身的分子结构很容易与金属离子络合,可以络合钙、铜、铁等10种金属离子,具有较强的络合金属离子的性能,而有些金属离子在微生物的生命代谢活动中占据着重要的作用。茶多酚对铜具有一定的络合作用,可抑制铜催化的低密度脂蛋白的氧化,但是,TP对铜的弱络合性,又可以保证在一定浓度范围,不会影响以铜为中心的超氧化物歧化酶(SOD)的生物活性。茶多酚主要是络合过量的游离铁,有效络合铁进而减轻自由基对细胞的损伤,不争夺铁蛋白的络合态铁,不会造成缺铁性贫血。茶多酚又可以通过络合细胞内的钙离子,通过降低钙浓度,从而抑制黄嘌呤氧化酶的合成,从而起到抗氧化作用<sup>[8]</sup>。

所以,茶多酚通过络合蛋白质和络合金属离子,抑制了细菌对外界必要离子的获取,从而对有害细菌的生命活动产生抑制作用。

### 1.1.3 茶多酚影响细菌磷代谢

磷是所有生物所必要的微量元素,体现在微生物的核酸、磷脂及糖代谢过程中,属于中间产物的重要组成部分,且在细胞能量代谢中起核心作用<sup>[9]</sup>。细菌

能利用葡萄糖进行一系列磷酸化反应,为生长繁殖提供所需能量,因此通过检测细菌代谢活动中磷的消耗状况,可反映细胞的整体代谢功能和生长状态<sup>[10]</sup>。而细菌在一定浓度的茶多酚溶液作用下,磷消耗量会随着作用时间的延长而逐渐降低,表明磷代谢受到严重影响,证明茶多酚不仅可以破坏细胞膜,还可以影响细胞生命代谢,从而影响细菌正常生长繁殖。

### 1.1.4 茶多酚影响细菌培养液总糖浓度

糖是细菌生长的主要供能物质,通过测定细菌培养液总糖浓度可以知道细菌的生长情况。研究发现<sup>[11]</sup>,当细菌与2 g/L的茶多酚作用后,培养液中总糖的浓度随着作用时间的延长逐渐上升,表明细胞膜结构遭到破坏,胞内的糖类物质逐渐渗漏到胞外;而对对照组则显示了培养液中总糖浓度的下降,其原因是由于正常细菌在增殖过程中需要利用培养基中的糖类物质来获得生长代谢的能量。而当茶多酚溶液浓度为1g/L、作用时间为1 h时,培养液与对照中的总糖浓度是相似的,说明此时细菌的膜结构尚未完全破坏,因此,只有茶多酚达到一定浓度才会有抑菌效果。

### 1.2 茶多酚抑菌的主要有效成分

茶多酚抑菌作用的主要有效成分包括黄烷醇和儿茶素<sup>[12]</sup>。(1)茶多酚中黄烷醇的结构会与碳原子产生强烈的亲核性,可结合菌体蛋白质、糖类等大分子,并且分子量大的茶多酚组分与蛋白质的结合能力越强,对微生物的抑制作用越大;(2)儿茶素在有氧的情况下通过自身氧化反应产生具有杀菌功能的超氧阴离子和过氧化氢,产生的化学物质可将病菌直接杀死。或者通过激活动物大肠内的过氧化物酶-硫氰酸盐反应系统,使乳酸过氧化物酶与过氧化氢结合,然后将硫氰酸盐氧化成氧化性中间产物,进而抑制葡萄球菌等病菌的生长繁殖。

同时,茶多酚分子中含有许多酚羟基,所以其能与蛋白质分子中的氨基或羧基发生氢结合,苯环结构也可与蛋白质发生疏水结合,这种多点结合作用使茶多酚具备抑菌性。其抑菌作用主要表现在茶多酚与环境中的蛋白质结合,从而影响微生物对蛋白质的利用;或者与膜蛋白结合,影响微生物对营养物质的吸收;另外,茶多酚还可以与细胞酶蛋白作用,降低酶的生物活性。可以认为,茶多酚的抑菌性是多种因素综合作用的结果<sup>[13]</sup>。

### 1.3 茶多酚抑制有害菌生长的实验研究

研究发现,茶多酚对细菌有广泛的抑制作用,一定浓度下能抑制几种常见的对人体有害的细菌生长。董金甫研究结果表明<sup>[14]</sup>,当浓度在0.2%至1.0%时,伤寒沙门氏杆菌、志贺氏痢疾杆菌、铜绿色假单胞杆

菌、金黄色葡萄球菌、枯草杆菌、普通变形杆菌、口腔变异链球菌以及大肠埃希氏痢疾杆菌,共8种在食物中常见的致病菌在茶多酚作用下均产生了抑菌圈。随着浓度降低,抑制作用减弱,低至0.008%时只对金黄色葡萄球菌有效果,说明茶多酚对金黄色葡萄球菌的抑制能力最显著,茶多酚对不同有害菌的最低抑制浓度也不同。王岳飞进行了不同浓度茶多酚对同种有害菌的实验研究<sup>[15]</sup>,实验浓度在2.5%以内时茶多酚浓度与抑菌圈直径成线性相关,1.0%以上的茶多酚对大肠杆菌、鼠伤寒沙门氏菌和荧光假单胞菌均有极显著的抑制效果,但抑制效果随着时间的延长会显著下降。刘书亮的实验<sup>[16]</sup>证明了茶多酚具有较广的抑菌谱,对金黄色葡萄球菌、李斯特氏菌、热死环丝菌的抑制作用最强,MIC仅为156 mg/L,与壳聚糖一起能很好地发挥协同抑菌作用。

#### 1.4 茶多酚能够诱导细胞凋亡

在医学研究方面已经有利用茶多酚诱导肿瘤细胞凋亡的先例,细菌等属于单细胞生物,通过研究诱导细胞凋亡的机理来诱导有害菌进入凋亡状态是未来发展的方向。GUPTA等研究了在人前列腺癌细胞中,茶多酚可使肿瘤细胞的生长周期阻滞,从而启动细胞的自杀机制<sup>[17]</sup>。说明,可以通过茶多酚诱导基因表达蛋白生成或者降低某些蛋白的表达<sup>[18]</sup>,参与到细胞凋亡信号转导,在级联反应中诱导细胞凋亡<sup>[19]</sup>。研究茶多酚在分子水平上的诱导肿瘤细胞凋亡机制,可适用于诱导细菌细胞凋亡,进而得出能更好发挥茶多酚抑制有害菌生长的条件。

## 2 茶多酚促进有益菌的生长

### 2.1 茶多酚促进有益菌生长的机理

茶多酚有化学益生菌的作用,对有害菌的增殖起抑制作用的同时能促进有益菌菌群的生长,对有益菌菌群的促进作用能间接地抑制病菌的菌群的生长,因而茶多酚能平衡肠道微生物生态环境,改善微生物结构。

茶多酚对细胞膜和细胞器具有保护作用:当自由基作用下,细胞内产生脂类自由基和细胞膜流动性改变,茶多酚对脂类自由基的清除效果明显,效果比维生素E、C更好,茶多酚在一定的浓度下,在抑制过氧化的同时,能够使深层的细胞膜流动性略增。茶多酚还可以对细胞线粒体在脂氧自由基的过氧化作用进行抑制,保护线粒体<sup>[20]</sup>。

同时,茶多酚还具有维生素PP的作用,能显著促进胃肠道的蠕动,进而促进食物消化;另外能降低胃肠道pH,因而激活了胃蛋白酶,促进消化、吸收蛋

白质;茶多酚具有益生菌的作用,能改善胃肠道微生物环境,促进有益菌如乳酸菌、双歧杆菌等的生长,这些有益菌可在肠内合成维生素B族和K族以及蛋白质,增加血液中钙、镁的含量,进而改善动物对矿物质的吸收,甚至产生某些未知生长因子,加强动物体营养代谢,促进动物生长;茶多酚还作用于肌细胞的 $\beta$ -受体,可以激活细胞膜上CAMP酶的活性,使细胞中CAMP浓度提高,CAMP含量的提高则会激活蛋白激酶,蛋白激酶又可降低肌肉中组织蛋白酶的活性,加强肌肉细胞中核苷酸活性等,最后促进蛋白质沉积<sup>[21]</sup>。

### 2.2 茶多酚促进有益菌生长的实验研究

研究发现,一定浓度的茶多酚对于常见的乳酸菌,比如保加利亚乳杆菌和双歧杆菌均有较好的促进作用。蒋玉兰研究结果表明<sup>[22]</sup>,随着茶多酚浓度增加,在相同时间下,培养基上的保加利亚乳杆菌的数量是先增加后减少的,这说明了低浓度的茶多酚溶液可以促进保加利亚乳杆菌的生长。而当茶多酚浓度超过5 g/L的时候,保加利亚杆菌数量下降,则证明茶多酚溶液浓度过高反而会抑制保加利亚乳杆菌的生长。但当茶多酚浓度为2 g/L的时候,菌的数量最多,此时该浓度最有利于保加利亚乳杆菌生长,并在14 h菌落数目就达到了最大值 $4.22 \times 10^9$ 。王玮研究结果表明<sup>[23]</sup>,饮用8周含1.6 g/L茶多酚的水的小鼠与饮用8周不含茶多酚的水的小鼠相比,前者肠道内双歧杆菌的数量有一定的增加,再通过检测两者粪便中双歧杆菌的多样性发现,前者肠道内双歧杆菌的菌落多样性显著降低,而后者肠道内双歧杆菌的多样性和菌落分配发生显著变化。这说明了茶多酚能降低双歧杆菌在生长过程中发生变异机率,使菌群更稳定,即茶多酚能促进小鼠结肠双歧杆菌的生长。

## 3 茶多酚的应用概况

### 3.1 茶多酚在食品中的应用

茶多酚具有较强的抗氧化性和抑菌特性,在食品中常用于:(1)保鲜剂,茶多酚的抗菌作用具有广谱性,而且还对淀粉酶、蔗糖酶均有良好的抑制能力。为防止肉制品氧化哈败,抑制细菌的繁殖,可用茶多酚溶液浸泡各种肉制品,或将其喷洒在各种肉制品表面<sup>[24]</sup>。茶多酚还可以推迟水果与蔬菜的后熟期,因为对水果、蔬菜的生化活动有减缓作用。适当浓度的茶多酚添加在果汁中,不仅抑制了细菌生长,而且能有效缓解果汁Vc和糖度含量减少,有些甚至增进了风味并提高营养价值<sup>[25]</sup>。另外,用茶多酚制得的保鲜剂也可使各色糕点、乳酸饮料和畜牧水产品深加工等不

变色腐败<sup>[26]</sup>,根据杨峰的研究<sup>[27]</sup>,茶多酚能抑制虾类黑头和脂肪氧化,并且短期抑制南极磷虾 TBARS 生成,可应用于短时保藏及运输;(2) 保色剂,基于茶多酚的强还原性,茶多酚可以防止天然色素如叶绿素、胡萝卜素、红花黄、维生素 B 和胭脂红等色素受光氧化作用而褪色,可作为保色剂保持色泽鲜艳稳定;(3) 除臭剂,在肉类、粮油作物及其制品中有时会存在异味,如大豆制品的豆腥味,鱼臭成分的三甲基胺等。加入一定量的茶多酚可有效地抑制产臭的细菌和去除异味<sup>[28]</sup>;(4) 抑制剂,茶多酚除具有较强的抑菌或杀菌作用,还可抑制某些微生物毒素的活性。因此茶多酚可作为防腐剂而添加到食品中,延长食品的保质期。此外,将茶多酚添加于糖果、蜜饯等产品中不但有防腐的作用,还具有预防龋齿的效果<sup>[6]</sup>。(5) 抗氧化剂,茶多酚有较强的油脂抗氧化能力<sup>[29]</sup>,能缓解富含油脂的干果类食品在贮存过程中的氧化反应,可以在一定时期内保持富含油脂的干果类食品的质量。

### 3.2 茶多酚在养殖业和畜牧业中的应用

随着养殖业的规模化、集约化发展,对饲料的质量要求越来越高,由原来的简单配合逐渐发展到目前使用大量添加剂配合饲料。由于配合饲料中含有维生素、脂肪等易氧化的营养成分,因此添加抗氧化剂是保证饲料中营养成分不受损失或减缓损失,提高利用率的必要途径。目前饲料中常用的抗氧化剂有乙氧基喹啉 (EMQ)、丁基羟基茴香醚 (BHA)、二丁基羟基甲苯 (BHT)、没食子酸丙酯 (PG) 等,这些抗氧化剂均为化学合成,其潜在毒性直接影响饲料的安全性。茶多酚的抗氧化能力比维生素 E、BHA 和 BHT 强 3~9 倍,而且对人畜无毒副作用。试验证明,茶多酚作饲料抗氧化剂的抗氧化效果显著,可提高维生素 A 的保存率,减缓维生素的氧化<sup>[1]</sup>。

在动物体内,茶多酚能抑制有害菌增殖,促进有益菌菌群生长,保护肠道微生物环境,改善微生物结构,有效抑制肠道中产臭菌的生理活动降低畜禽粪便的臭味。研究发现,用含 0.2% 茶多酚的饲料喂食 30 日龄仔猪 2 周后,猪粪中乳酸杆菌数量显著增加,细菌和类菌体数量递减,梭状杆菌磷酸酯酶的检出率下降,氨、酚、对-甲酚和类酚的含量显著减少,短链脂肪和乳酸菌数量显著增加, pH 值略有下降,臭味显著降低<sup>[30]</sup>。可能为儿茶素  $\beta$  环提供  $H^+$  同  $NH_3$  反应生成铵盐而使臭味减弱或消失。

### 3.3 茶多酚在医药保健品中的应用

茶多酚由于其优越的抗氧化特性,可以增强人体免疫力,防止及减轻辐射损伤,在医药领域应用越来越广。有研究发现,浓度为 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的茶多酚就可

杀死人膀胱癌 EJ 细胞<sup>[31]</sup>。其机理主要源于其抗氧化和抑制具有促癌作用的酶的活性。此外,茶多酚还可提高机体免疫力,阻断致癌物形成的代谢途径,抑制肿瘤细胞的生物合成。茶多酚还可有效地清除活性氧自由基,因而在一定程度上可保护机体免受损伤。辐射损伤是通过自由基间接作用的,原子弹轰炸日本广岛后,凡有饮茶习惯的人存活率高,辐射病轻,因此称茶叶为“原子时代饮料”。曹明富研究证明,茶多酚能显著治疗  $^{60}\text{Co}$  辐射引起的白血球和血小板减少症,保护小鼠因  $^{60}\text{Co}$  损伤的脾脏和胸腺的正常免疫功能<sup>[26]</sup>。

## 4 展望

茶多酚在抑菌、促菌以及抗氧化能力等方面的基础研究方面取得了较多成果,但是在实际应用方面可能存在以下几个问题:

4.1 茶多酚本身易被氧化,同时新的自由基和氧化性较强的物质产生,当这些物质经过一定时间的积累,原本有的抗氧化性能将被完全抵消,这与通常所期望的其抗氧化特性截然相反。因此,使用化学、分子生物学等方法来控制茶多酚的氧化速度,是未来是否能够深度利用茶多酚的抗氧化特性的关键因素之一。

4.2 茶多酚既具有抑制有害菌的生长的作用又具有促进有益菌生长的作用,过量的茶多酚反而会抑制益生菌的生长,如将其应用于食品等复杂物系中,物质本身的细菌相会影响茶多酚的生物功能,因此,如何根据不同对象控制其用量与条件是实际应用中需要解决的另一个问题。

4.3 开展对茶多酚的活性基团改性研究,如酯化、甲基化等茶多酚衍生物的开发研究已成为茶多酚研究的热点之一。茶多酚羟基甲基化后,可提高其疏水性改性,增加对菌体细胞膜的渗透性,进而提升提高茶多酚的抑菌能力,另一方面,通过分子修饰法改性,可以改善其油性,提高其分散性和稳定性,减缓其自身氧化速度<sup>[32]</sup>。

## 参考文献

- [1] 杜华华,许梓荣.茶多酚的生物学活性及应用前景[J].中国饲料,2004,16:22-24
- [2] 潘玲,李纯.茶多酚与茶黄酮的抗菌效果研究[J].福建茶叶,1991,2:40-43
- [3] 王文娟,孙京新,罗欣,等.茶多酚对肉源腐败菌和致病菌的抑制效果[J].食品科技,2010,35(2):102-105
- [4] 周炯,丁胜,王金菊,等.茶叶中污染微生物分析及茶多酚抑菌性研究[J].试验报告与理论研究,2010,13(5):18-21

- [5] MT 马迪根, JM 马丁克. 微生物生物学[M]. 北京: 科学出版社, 第 11 版. 李明春, 等译, 2009
- [6] 姚开, 何强, 石碧. 茶多酚的生理活性及其在食品中的应用[J]. 四川食品与发酵, 2001, 36(3): 6-10
- [7] 吴勇. 茶多酚作用的分子机理与闽东绿茶发展前景[J]. 茶叶科学技术, 2008, 2: 40-43
- [8] SESSO H D, GAZIANO J M, BURING J E, HENNEKENS, C H. Coffee and Teaintake and the Risk of Myocardial Infarction [J]. *Am J Pidemiol*, 1999, 149(2): 162-167
- [9] 刘志恒. 现代微生物学[M]. 北京: 科学出版社, 第 2 版, 2008
- [10] 翟培, 韩晋辉, 侯丽霞, 等. 家蝇抗菌肽的抑菌动力学研究及其机理初探 [J]. 中国生物工程杂志, 2006, 26(11): 33-39
- [11] 钱丽红, 陶妍, 谢晶. 茶多酚对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的抑菌机理[J]. 微生物学通报, 2010, 37(11): 1628-1633
- [12] 李香鑫, 张彬. 茶多酚一种新型饲料添加剂[J]. 饲料添加剂, 2004, 9: 15-18
- [13] E. Hasla. Tannins, Polyphenols and Molecular Complexation [J]. 林产化学与工业, 1992, 12(1): 1-23
- [14] 董金甫, 李瑶卿, 洪绍梅. 茶多酚(TPP)对 8 种致病菌最低抑制浓度的研究[J]. 食品科学, 1995, 16(1): 6-12
- [15] 王文娟, 孙京新, 罗欣, 等. 茶多酚对肉源腐败菌和致病菌的抑制效果[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 102-105
- [16] 刘书亮, 夏静华, 叶劲松, 等. 三种天然保鲜剂对肉中腐败菌和致病菌的抑制效果[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(3): 46-50
- [17] GUPTA S, AHMAD N, NIEMINEN A L, et al. Growth Inhibition, cell-cycle Dysregulation, and Induction of Apoptosis By green Tea Constituent (-)-epigallocatechin-3-gallate in Androgen-sensitive and Androgen-insensitive Human Prostate Carcinomacells [J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2000, 164(1): 82-90
- [18] 钱樱, 张莉, 陈秋生, 等. 茶多酚诱导人多发性骨髓瘤 RPMI 8226 细胞的凋亡及其作用机制[J]. 肿瘤, 2012, 32(1): 1-6
- [19] HENGARTNERMO. The Biochemistry of Apoptosis [J]. *Nature*, 2000, 407(6805): 770-776
- [20] 杨贤强, 沈生荣, 贾之慎, 等. 茶多酚(TP)清除自由基和抗氧化作用的机理及应用基础研究[J]. 中国茶叶加工, 1994, 1: 41-44
- [21] 费燕娜, 高卫东, 王鸿博, 等. 茶多酚/聚乳酸复合纳米纤维膜的制备及抗菌性能研究[J]. 材料导报: 研究篇, 2010, 24(08): 42-45
- [22] 蒋玉兰, 王彬, 毛银, 等. 茶多酚对保加利亚乳杆菌生长的影响[J]. 中国茶叶加工, 2012, 2: 45-48
- [23] 王玮, 曾本华, 李桂花, 等. 茶多酚对 apoE<sup>-/-</sup>小鼠脂类代谢和肠道双歧杆菌的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 106-109
- [24] 朱秋劲, 罗爱平, 林国虎. 超声波和气调贮藏对冷却牛肉保鲜效果的影[J]. 食品科学, 2006, 1: 240-246
- [25] 钟艳梅, 李耀斌. 茶多酚对新鲜原果汁保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(6): 630-633
- [26] CAO Ming-fu. Studies of Antiradiate Effect of Green Tea Polyphenols. *Interat, Symp [J]. On Nat. Antioxidants: Molecular Mechanisms and Health Effects*, 1995, 6: 20-24
- [27] 杨峰, 李学英, 杨宪时, 等. 常用水产保鲜剂对南极磷虾品质的影响研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(10): 1285-1310
- [28] 颜亭祥, 张文高. 茶多酚防治心脑血管病的研究进展[J]. 山东中医药大学学报, 2000, 24(4): 314-316
- [29] 龙秀, 李国基, 耿予欢. 茶多酚对干果类食品抗氧化作用的研究[J]. 现代食品科技, 2005, 21(3): 118-121
- [30] 高君恺. 茶多酚作为饲料添加剂于养鸡业中的应用[J]. 养殖技术顾问, 2009, 9: 40-41
- [31] 郑尚珍, 孟军才, 王定勇. 绿茶中茶多酚的提取工艺研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 1996, 32(3): 40-42
- [32] 黄慧华. 茶多酚对菠萝蛋白酶的分离及特性的影响研究[J]. 食品科学, 1996, 17(4): 6-11