

大豆异黄酮抑菌的研究进展

石治强, 吴雨珊, 杨文钰, 万 燕, 伍江波

(四川农业大学 农学院, 四川 成都 611130)

摘要:大豆异黄酮是一类主要存在于大豆籽粒中的次生代谢产物,在食品、药物、禽畜饲料加工中具有重要价值。随着食品添加剂、抗菌药物的发展,大豆异黄酮抑菌的研究越来越受到重视。大豆异黄酮可通过抑制拓扑异构酶的活性,影响细菌和真菌 DNA 的复制与合成、蛋白质的合成,还可通过破坏菌体的细胞壁和细胞膜的结构来抑制菌体呼吸进而达到抑菌效果。该文就大豆异黄酮的组成、含量、抑菌作用及其机制的研究现状进行了综述。

关键词:大豆异黄酮;抑菌作用;抑菌机制

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2011)06-1047-04

Advanced Research of Soybean Isoflavones on Bacteriostasis

SHI Zhi-qiang, WU Yu-shan, YANG Wen-yu, WAN Yan, WU Jiang-bo

(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

Abstract: Soybean isoflavones, a kind of secondary metabolites mainly existed in soybean seed, play a important role when applied in foodstuff, medicine and livestock feed. With the development of food additive and anti-bacteria drugs, antibacterial researches of soybean isoflavones have gained increasingly attention. Soybean isoflavones can affect DNA replication, synthesis and protein synthesis of fungus and germs by inhibiting the bioactivity of topoisomerase. Also it can destroy the construction of cell wall and cell membrane of thallus, therefore inhibiting thallus' respiration. Both ways can achieve bacteriostatic effect. This paper mainly reviewed on current antibacterial researches of soybean isoflavone covering its composition, content, bacteriostasis and its functioning mechanism.

Key words: Soybean isoflavone; Bacteriostatic effect; Bacteriostatic mechanism

大豆异黄酮(soybean isoflavone)属黄酮类化合物中的异黄酮成分,是大豆生长过程中的一类次生代谢产物^[1]。其基本骨架为3-苯基并吡喃酮,因其结构与雌二醇相似,也称为植物雌激素。黄酮类化合物合成的起始底物为香豆酰辅酶A(coumaroyl-coA)和丙二酰辅酶A(malonyl-coA),香豆酰辅酶A来源于苯丙烷类代谢途径,丙二酰辅酶A来自乙酰辅酶A,它们在查尔酮合成酶(chalcone isomerase, CHI)作用下形成查尔酮,再在查尔酮异构酶(chalcone isomerase, CHI)催化下形成柚皮素(naringenin),柚皮素作为中间代谢产物可进入异黄酮的合成途径^[2],苯丙氨酸解氨酶为其生育期的关键合成酶。

大豆异黄酮生物学活性丰富,被广泛应用于生产生活,其弱雌激素性和抗溶血活性可作为预防和治疗人类疾病的保健品和药物^[3-4],因其抗氧化性作为改善畜禽的氧化机能的饲料^[5-6]。大豆异黄酮的抗真菌活性,早在20世纪80年代就有报道^[7],随着食品添加剂、抗菌药物与人类的生活越来越紧密,大豆异黄酮抑制细菌和真菌的作用逐渐受到重

视。综合其营养价值,大豆异黄酮可作为相关抑菌制剂的优良替代物和功能多效的新食品。该文就大豆中异黄酮的成分组成、含量和抑菌作用及其机制方面的研究进展进行阐述。

1 大豆异黄酮的组成与含量

大豆异黄酮属多酚类混合物,按化学性质可分为3类:黄豆苷类(Daidzin groups)、染料木苷类(Genistin groups)、黄豆黄素苷类(Glycitin groups),每类以游离型、葡萄糖苷型、乙酰基葡萄糖苷型、丙二酰基葡萄糖苷型4种主要形式存在^[8-9]。主要分布在大豆籽粒的子叶和胚轴中,子叶约占0.1%~0.3%,胚轴中所含异黄酮种类较多且浓度较高,所占比例却很少(10%~20%);种皮中异黄酮含量极少^[10]。异黄酮总含量与籽粒大小呈负相关,与种皮颜色关系正相关:黑、褐色种皮>黄色种皮>绿色种皮^[11]。我国多数品种含量在200~300 mg·100 g⁻¹之间,南方大豆品种中的含量在

收稿日期:2011-06-01

第一作者简介:石治强(1988-),男,学士。E-mail:15908131769@139.com。

通讯作者:杨文钰(1958-),男,教授,博士生导师,从事作物生理研究。E-mail:wenyu.yang@263.net。

84.55 ~ 322.22 mg · 100 g⁻¹, 平均含量为 189.90 mg · 100 g⁻¹, 较国外品种的含量变化幅度大^[12]。大豆异黄酮含量因品种和环境因子的影响存在差异^[13-15], 但各类大豆中丙二酰基化的黄豆苷和染料木苷含量却相对稳定丰富, 而对应的苷元组分含量极低^[16]。

2 大豆异黄酮的抑菌研究

2.1 大豆异黄酮抑菌作用

大豆异黄酮抑菌研究最早可追溯到 Naim 等^[7]的抗真菌的实验, 近年来, 国内对其抑菌的研究也有报道。井乐刚等^[17]通过滤纸片法用 3 种浓度 (0.3、0.6、0.9 mg · mL⁻¹) 的大豆乳清中的异黄酮提取液进行了抑菌 (供试菌为对人体常见的致病菌和食品中常见的腐败菌) 试验, 表明大豆异黄酮对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和啤酒酵母有一定的抑菌效果, 抑菌作用随着提取液浓度的增加而增强, 但 3 种浓度下的大豆异黄酮溶液对黑曲霉均没有抑制效果。周建芹^[18]发现异黄酮对枯草芽孢杆菌和黑曲霉没有抑制作用, 对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌和米根霉有明显抑制作用, 抑菌效果与浓度正相关。

谢明杰等^[19]进一步研究了大豆异黄酮抑菌的有效成分和最低抑菌浓度 (MIC) 以及游离苷元的热稳定性。以脱脂豆粕中的大豆异黄酮为材料, 通过异黄酮糖苷酶分离提取出游离型的苷元, 采用杯碟法对金黄色葡萄球菌等 11 种菌体做抑制试验, 获得最低抑菌浓度 (MIC); 实验发现游离苷元对除大肠杆菌和酿酒酵母外的 9 种菌体均有抑菌效果, 验证抑菌活性成分是游离型苷元, 与 Naim 的推断相吻合。热稳定性实验表明游离苷元经过湿热灭菌后其仍具有较强的活性。钟星明等^[20]研究表明大豆苷元对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌有一定抑菌效果, 浓度与效果呈一定剂量依赖性, 但对痢疾杆菌无抑菌效果。Ulanowska 等^[21]发现大肠杆菌对染料木黄酮和大豆苷元不敏感, 哈氏杆菌对染料木黄酮敏感, 枯草杆菌的敏感程度介于二者之间。王海涛等^[22]研究结果显示, 染料木黄酮对金黄色葡萄球菌、藤黄微球菌、蜡状芽孢杆菌、短小芽孢杆菌 (全为革兰氏阳性菌) 有明显的抑制作用, 抑菌效果在一定浓度范围内随染料木黄酮浓度的增高而增大, 但对大肠杆菌 (革兰氏阴性菌) 无抑制作用。刘潇等^[23]比较了染料木黄酮钙配合物与配体的抑菌活性, 解释可能由于钙离子对菌体生长有促进作用, 而染料木黄酮有抑制作用, 导致染料木黄酮配合物的抑菌效果仅略高于配体。

大豆异黄酮主要以糖苷形式存在, 丙二酰基异

黄酮约占 60%, 利用糖苷酶水解糖苷可制备大豆异黄酮苷元^[24-25]。目前关于大豆异黄酮抑菌组分的研究主要集中在对其生物活性成分和转化方面。发酵能改变大豆异黄酮的各组分含量, 豆粕发酵后, 异黄酮中的游离苷元可大幅增加。嵇美华^[26]将发酵豆粕中分离精制的异黄酮的抗菌活性同未发酵豆粕中提取的异黄酮做了比较研究, 结果表明发酵豆粕中异黄酮对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、鼠伤寒沙门氏菌、福氏痢疾杆菌的抑制效果优于未发酵豆粕中异黄酮。孙明等^[27]实验发现, 发酵豆粕中的异黄酮对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、鼠伤寒沙门氏菌、福氏痢疾杆菌的抑制浓度为 0.24%, 对黄曲霉和产黄青霉和红酵母的抑制浓度为 0.56%; 未发酵的豆粕中异黄酮的抑制细菌和真菌的浓度相比较, 细菌的抑制浓度为 0.48%, 对黄曲霉和产黄青霉最低抑制浓度未测到。发酵豆粕中异黄酮的热稳定性也较好。

大豆异黄酮对革兰氏阳性菌有很强的抑制作用; 对部分真菌有较强的抑制作用, 部分没有; 对革兰氏阴性菌抑菌实验结果不一, 有待进一步研究。大豆乳清中提取的大豆异黄酮与脱脂豆粕中提取的大豆异黄酮对大肠杆菌的抑菌结果不同, 可能是前者中含有糖苷类异黄酮或少量其它抑菌物质。

2.2 大豆异黄酮抑菌机制

扫描电镜与透射电镜、呼吸代谢抑制试验和 SDS-PAGE 蛋白谱带变化常用来观测菌体的生长变化, 王海涛等^[22]利用染料木素对金黄色葡萄球菌的抑制机制进行了全面探究。

扫描电镜观察, 染料木素作用金黄色葡萄球菌 24 h 后, 表面出现皱缩、囊泡状或不规则突起结构; 透射电镜观察, 染料木素处理 4 h 后, 金黄色葡萄球菌的细胞质开始固缩, 14 h 后有明显的质壁分离现象, 并出现空腔, 24 h 后细胞壁和细胞膜破裂, 破裂处有胞浆内容溢出。染料木素可通过破坏菌体结构完整性抑制菌体生长或杀死菌体。磷酸钠、碘乙酸和丙二酸分别是生物体内磷酸戊糖途径、糖酵解途径和三羧酸循环途径的典型抑制剂, 染料木素抑制微生物呼吸代谢的具体途径可通过比较典型抑制剂对染料木素的叠加率来判断, 叠加率越小, 表明染料木素与典型抑制剂间的增效作用越弱, 与典型抑制剂抑制相同代谢途径的可能性越大。染料木素和丙二酸、碘乙酸、磷酸钠的叠加抑制率分别为 8.6%、16.4% 和 22.1%, 因为染料木素和丙二酸的叠加率最小, 因此染料木素主要是通过抑制三羧酸 (TCA) 循环途径而起作用。王海涛等^[28]又利用呼吸代谢抑制试验进一步进行研究。发现当大豆

异黄酮浓度为 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,可显著抑制金黄色葡萄球菌的三羧酸(TCA)循环的关键酶苹果酸脱氢酶的活性,试验组苹果酸脱氢酶的比活性与对照组相比降低了 74.97%。SDS-PAGE 蛋白谱带分析结果显示,染料木素可抑制金黄色葡萄球菌的蛋白合成,使其蛋白总量呈下降趋势,尤其是较大分子量蛋白质含量下降显著,其蛋白量减少了 90.1%。Ulanowska 等^[21]用同位素标记法发现染料木素抑制细菌 DNA、RNA 和蛋白质的合成。 $4',6\text{-二脒基-2-苯基吲哚}$ ($4',6\text{-diamidino-2-phenylindole}$, DAPI) 荧光染色对大豆异黄酮抑菌机制 DAPI 染色结果显示,DAPI 可以和金黄色葡萄球菌内核酸结合,经过大豆异黄酮作用 28 h 后,菌体内的核酸含量呈明显下降趋势,其中 DNA 荧光强度减少了 33.53%,RNA 减少了 39.82%^[28]。染料木素对金黄色葡萄球菌有较强的抑菌活性,其抑菌机制是通过破坏细菌细胞壁及细胞膜的完整性、抑制细菌的呼吸代谢和抑制蛋白质的合成等多种途径。

Wang 等^[29]对大豆异黄酮抑菌机制在分子水平做了进一步探究,发现经大豆异黄酮处理 28 h 后,可以影响 DNA 拓扑异构酶 I 和拓扑异构酶 II 活性来促使 pBR322DNA 解旋,浓度 $6.4 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时能完全抑制酶活性, $12.8 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时可以使质粒 DNA 失去活性。Ulanowska 等^[21]发现被染料木素和大豆苷元处理过的供试菌株的蛋白质合成比 DNA 和 RNA 的合成来说有较长延迟,推测对蛋白质合成的抑制是次生效应,直接效应是影响菌体 DNA 的合成和复制。染料木素可以抑制拓扑异构酶 I 和拓扑异构酶 II 活性,影响菌株的中心法则的表达。大豆苷元能抑制拓扑异构酶 I 活性,对拓扑异构酶 II 活性影响较弱。

关于大豆异黄酮抑菌机制的研究与药物抑菌机制的研究相符合,但大豆异黄酮抑菌精准机制尚不完全明确。有关抗肿瘤研究也表明染料木素能够抑制 DNA 拓扑异构酶^[30-34],Zhou 等^[33]研究染料木素在癌细胞凋亡的分子功能机制中发现,染料木素通过影响海拉细胞中 Sp1 和 Sp2 这 2 种特异性蛋白来抑制拓扑异构酶 II α 的活性,这可能为更具体的解释抑菌机制提供帮助。

3 展 望

化学防腐剂可致癌或引起积累性中毒,抗菌药物的滥用使菌株抗菌性越来越强,大豆异黄酮作为一用多效的食品添加剂和安全健康的抑菌剂的前景十分可观。豆粕发酵可提高大豆异黄酮游离型苷元的含量,为其在抑菌方面的应用提供了有效途

径^[35]。大豆异黄酮抑菌机制仍不完全明确,对于革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌、真菌的分类抑菌试验需深入研究。不同浓度下大豆异黄酮的溶解性和扩散性存在差异,对菌体的具体影响还需进一步了解。另外,游离型苷元中黄豆黄素抑菌研究有待完善,以期更加安全健康地应用大豆异黄酮抑菌功能,为其在天然防腐剂、生物制药领域及功能性食品的开发利用提供依据。

参考文献

- [1] 任慧玲,张勇,朱宇旌. 异黄酮类化合物的精制方法综述[J]. 中国食品添加剂,2006(6):124-127. (Ren H L, Zhang Y, Zhu Y S. The review on the refining methods of isoflavones[J]. China Food Additives, 2006(6):124-127.)
- [2] 刘安成,李慧,王亮生,等. 石榴类黄酮代谢产物的研究进展[J]. 植物学报,2011,46(2):129-137. (Liu A C, Li H, Wang L S, et al. Recent advances in metabolic products of flavonoids in punica granatum[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2011, 46(2):129-137.)
- [3] Pilčková L, Riečanský I, Jagla F. The physiological actions of isoflavone phytoestrogens[J]. Physiologic Research, 2010(59):651-664.
- [4] 彭珍珍,宋焱峰. 番茄红素与大豆异黄酮对荷瘤小鼠辐射损伤的保护作用[J]. 甘肃中医学院学报,2011,28(1):13-16. (Peng Z Z, Song Y F. Radio-protective effect of the lycopene and soybean isoflavones on the tumor-bearing mice injured by radiation[J]. Journal of Gansu College of Traditional Chinese Medicine, 2011, 28(1):13-16.)
- [5] 葛薇,李巧英,李伟跃. 饲料添加剂大豆异黄酮的研究[J]. 中国饲料,2004(10):16-18. (Ge W, Li Q Y, Li W Y. Study on feed additive soybean isoflavone[J]. China Feed, 2004(10):16-18.)
- [6] 杨帆. 大豆异黄酮的生理作用及其在畜牧生产中的应用[J]. 饲料与畜牧,2010(2):31-38. (Yang F. Soybean isoflavones and its application in animal husbandry[J]. Feed and Husbandry, 2010(2):31-38.)
- [7] Machael N, Benjamin G, Shmuel Z, et al. Soybean isoflavones characterization, determination, and antifungal activity[J]. Agricultural Food Chemistry, 1974, 22(5):806-810.
- [8] 李小满. 大豆异黄酮分子结构、生物活性及其市场现状[J]. 中国食品添加剂,2002(2):66-71. (Li X M. Soy isoflavone molecular structure, bioactivity and current market situation[J]. China Food Additives, 2002(2):66-71.)
- [9] 张永忠,孙艳梅. 大豆异黄酮研究中的名词术语[J]. 中国粮油学报,2004,19(4):50-52. (Zhang Y Z, Sun Y M. A discussion about some terms used in researches on soy isoflavone[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2004, 19(4):50-52.)
- [10] 梁慧珍,李卫东,方宣钧,等. 大豆异黄酮及其组分含量的配合力和杂种优势[J]. 中国农业科学,2005,38(10):2174-2152. (Liang H Z, Li W D, Fang X J, et al. Genetic analysis of combining abilities and heterosis in contents of soybean isoflavone and its components among the soybean varieties[*Glycine max* (L.) Merr.][J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(10):2174-2152.)
- [11] 曾国良,王继安,韩英鹏,等. 大豆异黄酮含量与主要农艺性状

- 相关性及通径分析[J]. 大豆科学, 2006, 26(2): 25-29. (Zeng G L, Wang J A, Han Y P, et al. Correlation of isoflavones with the major agronomic characters in soybean [J]. Soybean Science, 2006, 26(2): 25-29.)
- [12] 孙军明, 丁安林, 常汝镇, 等. 中国大豆异黄酮含量的初步分析[J]. 中国粮油学报, 1995, 10(4): 51-54. (Sun J M, Ding A L, Chang R Z, et al. Preliminary analysis on isoflavone content of Chinese soybean [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1995, 10(4): 51-54.)
- [13] 张大勇, 徐杰, 张淑珍, 等. 大豆异黄酮含量的遗传及生态效应研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(4): 525-528. (Zhang D Y, Xu J, Zhang S Z, et al. Some research advance of genetic and eco-physiological factors affecting isoflavone contents in soybean seeds [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, 37(4): 525-528.)
- [14] Sheila E M, Elizabeth A L, Lorna W, et al. Genotype \times environment interaction and stability for isoflavone content in soybean [J]. Crop Science, 2009(49): 1313-1321.
- [15] 孙君明, 丁安林. 大豆异黄酮含量及影响因素的评价[J]. 中国粮油学报, 1998, 13(2): 10-16. (Sun J M, Ding A L. Evaluation of factors affecting isoflavone content in soybeans [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1998, 13(2): 10-16.)
- [16] 周三, 关崎春雄, 岳旺, 等. 野生大豆、黑豆和大豆的异黄酮类成分比较[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 315-319. (Zhou S, Sekizaki H, Yue W, et al. Comparison of isoflavones among wild, black and yellow soybeans [J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 315-319.)
- [17] 井乐刚, 张永忠, 田璐. 大豆异黄酮抑菌活性的研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2004, 2(1): 79-81. (Jin L G, Zhang Y Z, Tian L. Study on antimicrobial activity of soybean isoflavones [J]. Natural Science Journal of Harbin Normal University, 2004, 2(1): 79-81.)
- [18] 周建芹. 大豆异黄酮提取工艺优化及其活性研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 276-279. (Zhou J Q. Optimization of extraction technology of soybean isoflavones and its physiological activity analysis [J]. Soybean Science, 2007, 26(2): 276-279.)
- [19] 谢明杰, 陆敏, 邹翠霞, 等. 大豆异黄酮的抑菌作用[J]. 大豆科学, 2004, 23(2): 101-106. (Xie M J, Lu M, Zou C X, et al. The effect on anti-microorganism of soybean isoflavones [J]. Soybean Science, 2004, 23(2): 101-106.)
- [20] 钟星明, 王小丽, 张乡城, 等. 大豆苷元抑菌活性的初步研究[J]. 赣南医学院学报, 2006, 26(2): 166-167. (Zhong X M, Wang X L, Zhang X C, et al. Preliminary study on antimicrobial activity of daidzein [J]. Journal of Gannan Medical College, 2006, 26(2): 166-167.)
- [21] Ulanowska K, Tkaczky A, Konopa G, et al. Differential antibacterial activity of genistein arising from global inhibition of DNA, RNA and protein synthesis in some bacterial strains [J]. Archives of Microbiology, 2006(184): 271-278.
- [22] 王海涛, 石珊珊, 李银霞, 等. 染料木素的抑菌活性及其机制的研究[J]. 营养学报, 2008, 30(4): 403-409. (Wang H T, Shi S S, Li Y X, et al. Study on antimicrobial activity of genistein and its mechanism [J]. Acta Nutrition Sinica, 2008, 30(4): 403-409.)
- [23] 刘潇, 刘宁, 张永忠. 染料木黄酮钙配合物的合成、表征及清除自由基和抑菌活性[J]. 化工学报, 2010, 61(11): 3006-3013. (Liu X, Liu N, Zhang Y Z. Synthesis, characterization, scavenging free radical and bacteriostasis characteristics of calcium-genistein complex [J]. Journal of chemical industry and engineering, 2010, 61(11): 3006-3013.)
- [24] 钱丽丽, 左锋, 张爱武, 等. 两步水解酶法制备大豆异黄酮苷元初探[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(2): 14-17. (Qian L L, Zuo F, Zhang A W, et al. Transforming soybean isoflavones aglycon by enzyme in two-step hydrolysis [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(2): 14-17.)
- [25] Hu S C, Hong K, Song Y C, et al. Biotransformation of soybean isoflavones by marine *Streptomyces* sp. 060524 and cytotoxicity of the products [J]. World Microbiological Biotechnol, 2009(25): 115-121.
- [26] 嵇美华. 发酵豆粕中异黄酮对细菌抑制作用的研究[J]. 四川粮油科技, 2003(2): 11-12. (Ji M H. Research on bacteriostasis of fermented soybean [J]. Sichuan grain & oil technology, 2003(2): 11-12.)
- [27] 孙明, 周建新, 吴骏. 发酵豆粕中异黄酮(FSMI)抗菌活性的研究[J]. 食品工业科技, 2005(11): 80-81, 84. (Sun M, Zhou J X, Wu J. Research on antibacterial activity of fermented soya bean meal isoflavone [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005(11): 80-81.)
- [28] 王海涛, 王倩, 谢明杰. 大豆异黄酮对金黄色葡萄球菌的抑菌机制研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2586-2591. (Wang H T, Wang Q, Xie M J. Anti-bacterial mechanism of soybean isoflavone on *Staphylococcus aureus* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7): 2586-2591.)
- [29] Wang Q, Wang H T, Xie M J. Antibacterial mechanism of soybean isoflavone on *Staphylococcus aureus* [J]. Archives of Microbiology, 2010, 192(11): 893-898.
- [30] Kim H K, Park Y, Kim H N. Antimicrobial mechanism of β -glycyrrhetic acid isolated from licorice, *Glycyrrhiza glabra* [J]. Biotechnology Letters, 2002(24): 1899-1902.
- [31] Chang Y C, Nair M G, Nitiss J L. Metabolites of daidzein and genistein and their biological activities [J]. Journal of Natural Products, 1995, 58(12): 1901-1905.
- [32] Constantinou A, Mehta R, Runyan C, et al. Flavonoids as DNA topoisomerase antagonists and poisons: structure-activity relationships [J]. Journal of Natural Products, 1995, 58(2): 217-225.
- [33] Verdrengh M, Collins L V, Bergin P, et al. Phytoestrogen genistein as an anti-staphylococcal agent [J]. Microbes and Infection, 2004(6): 86-92.
- [34] Zhou N J, Yan Y L, Li W L, et al. Genistein inhibition of topoisomerase II α expression participated by Sp1 and Sp3 in hela cell [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2009(10): 3255-3268.
- [35] 杨国峰, 周建新. 发酵豆粕中异黄酮的抗氧化和抗菌活性的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(5): 47-49. (Yang G F, Zhou J X. Study on the antioxidative and antimicrobial activities of isoflavone extracted from fermented soybean meal [J]. Food Science, 2005, 26(5): 47-49.)