

# 桑树中黄酮类化合物研究进展及应用

李瑞雪, 汪泰初\*, 王钰婷, 王伟, 高新文 (安徽省农业科学院蚕桑研究所, 安徽合肥 230061)

**摘要** 黄酮类化合物是存在于植物中的一种多酚类物质, 具有降血糖、抗氧化、抗肿瘤、抗病毒等多种生物活性及药理作用, 是一种多功能的生理保健类物质。就桑树中黄酮类化合物的结构特征、化学分类、生物活性、药理作用、提取工艺等方面的研究进展进行了阐述, 并且对其应用前景进行了展望, 为桑树中黄酮类化合物的进一步开发利用奠定科学基础。

**关键词** 桑树黄酮类化合物; 结构特征; 生物活性; 药理作用; 提取工艺

**中图分类号** S188 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)28-09661-03

## Research Progress and Application of Flavonoids in Mulberry

LI Rui-xue, WANG Tai-chu\*, WANG Yu-ting et al (Sericultural Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230061)

**Abstract** Flavonoid is a kind of polyphenols in plants, which has various biological activity and pharmacological action of antioxidant, anti-inflammation, antiviral and antitumor. It belongs to the class of possess various of pharmacological properties. Research progress of mulberry flavonoids on structure feature, chemical classify, biological activity, pharmacological action and extraction process were reviewed and its application prospect was forecasted, which will provide scientific basis for the further development and application of mulberry flavonoid.

**Key words** Mulberry flavonoid; Structure feature; Biological activity; Pharmacological action; Extraction process

桑(*Morus alba* L.)是多年生深根性木本植物, 落叶乔木或灌木, 属双子叶植物, 为桑科桑属桑种<sup>[1]</sup>。我国是世界蚕桑生产的发源地, 自然生态环境复杂多样, 形成丰富的桑树品种, 故我国有着极大的桑树资源优势。桑树全身是宝。桑叶是家蚕的主要饲料; 桑皮可以造纸; 桑果可食用, 其叶、枝、果、根皮等均可入药<sup>[2]</sup>。桑树含有蛋白质、脂类、维生素类、生物碱、黄酮类、多糖等种类丰富的化学成分及次生代谢产物<sup>[3-6]</sup>, 具有抗氧化、抗病毒、抗肿瘤、降血糖、降血压等各种生物活性、药理作用<sup>[7-11]</sup>, 一直备受人们关注。

黄酮类化合物是一种多酚类物质。最常见的是黄酮醇类和黄酮类。作为具有多种重要生物活性及药理作用的次生代谢产物, 它们是国内外研究的热点<sup>[12-16]</sup>。同时, 随着食品化学工业的发展和大众消费观念的转变, 由天然活性物质做成的保健食品成为现代人寻求的目标, 其中黄酮类化合物以高活性、见效快、绿色天然、作用广泛等特点日益受到人们的关注。目前, 研究较多的产黄酮类物质的植物主要有银杏、大豆、茶叶、葛根等植物<sup>[17-19]</sup>, 种类不多, 资源较稀少, 不能满足市场的需要。桑树中黄酮类成分含量较多, 不同桑种总黄酮类在桑叶中含量高达 44.00~55.38 mg/g<sup>[20]</sup>。我国桑树资源丰富众多。因此, 从桑树中提取黄酮类物质具有较好的意义, 已引起研究者的广泛重视, 成为国内外研究的热门课题。

## 1 黄酮类化合物的结构特征及分类

黄酮类化合物是由色原酮或色原烷衍生的一种酚类化合物, 早先主要是指基本母核结构为 2-苯基色原酮(图 1)

的一系列化合物, 现在则泛指 2 个具有酚羟基的苯环(A-和 B-环)通过中央三碳链相互连结(即 C6-C3-C6)(图 1)而成的一系列三环天然有机物<sup>[21-22]</sup>, 并且可根据中央三碳链的不同氧化水平(C-3 位是否有羟基、C-4 位是否有羰基、C-2 与 C-3 位是否为双键等)、三碳链是否成环、B-苯环连接位置(2 位或 3 位)、两侧苯环上连接的各种取代基(酚羟基、甲氧基、甲基、异戊烯基等)等特点而分为不同的黄酮类型。

据统计, 迄今为止已分离和鉴定的黄酮类化合物 4 000 余种。它们以游离苷元或配糖体的形式广泛分布于植物界<sup>[23-24]</sup>。黄酮类化合物可分为黄酮类、双黄酮类、二氢黄酮类、异黄酮类、黄酮醇类、二氢黄酮醇类、花色苷类、查尔酮类以及其他黄酮<sup>[25-26]</sup>。桑树是黄酮类物质含量较高的树种之一。桑树中黄酮类化合物主要有黄酮类、花色苷类、黄酮醇类、二氢黄酮醇类等四大类物质<sup>[27-28]</sup>, 分别为芸香苷、槲皮素、桑色素、桑素、二氢桑色素、环桑素、桑色烯、环桑色烯、桑酮、桑根皮素、环桑根皮素、桑白皮素、桑根酮、桑色呋喃、异槲皮及花青素等(表 1)<sup>[29-30]</sup>。现在, 还不断地有新的桑黄酮类化合物被发现。

## 2 黄酮类化合物的生物活性及药理作用

**2.1 降血糖作用** Andallu 等<sup>[31]</sup>发现, 桑叶中黄酮类成分可通过减缓小肠对葡萄糖的吸收和抑制小肠双糖酶活性等机制降低血糖。周峰<sup>[32]</sup>研究表明, 在一定浓度范围内, 桑白皮总黄酮可显著降低糖尿病小鼠的血糖水平和大鼠模型中血糖、甘油三酯含量, 提高其肝糖原含量。王磊<sup>[33]</sup>研究发现, 药桑桑枝皮萃取剩余的水相部分和醇提物的乙酸乙酯、正丁醇部分均对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有明显的抑制作用, 其中水相部分的活性最强, 抑制率达到 95.9%, 其  $IC_{50}$  为 0.12  $\mu$ g/ml。吴志平等<sup>[34]</sup>发现, 桑枝(嫩枝)的降血糖作用比桑白皮、桑叶和桑皮更明显, 通过桑枝总黄酮成分的降血糖药效学试验分析发现桑枝总黄酮是桑枝降血糖作用的有效成分。

**基金项目** 安徽省农科院青年创新基金项目(14B0638); 国家蚕桑产业技术体系项目(CARS-22-SYZ09); 安徽省农科院创新团队项目(11C0610); 安徽省蚕桑产业技术体系(ahnycytx-16)。

**作者简介** 李瑞雪(1982-), 女, 山东济宁人, 助理研究员, 硕士, 从事桑树育种及蚕桑资源综合利用研究。\*通讯作者, 研究员, 硕士, 从事桑树栽培与育种、蚕桑综合利用研究。

**收稿日期** 2014-08-22

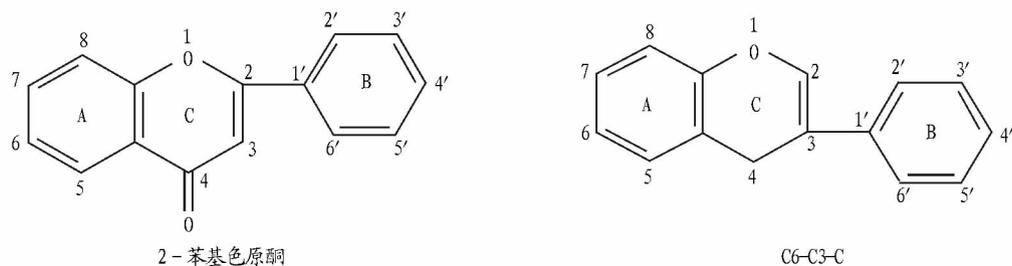


图1 黄酮类化合物的母核

表1 桑树不同组织器官的黄酮类物质及基本化学结构

名称	基本结构	代表化合物	存在部位
黄酮类		桑色烯、桑素、环 桑素、桑根皮素	茎皮、 心木
黄酮醇类		槲皮素、芦丁、桑 色素、山萘酚	叶片、 嫩枝
二氢黄酮醇类		桑根醇 C、D、E、桑 根酮 A、L、M	根皮
花色素类		矢车菊素	桑椹

**2.2 降血压、降血脂作用** 李向荣等<sup>[35]</sup>用 Triton WR-1339 诱导建立急性高脂血症小鼠模型和高脂饲料建立高脂血症大鼠模型,分别测定小鼠和大鼠血清中的总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇的含量,发现桑叶黄酮能剂量依赖性地降低高脂血症小鼠和大鼠的血脂水平,预防高脂血症的发生、发展。Andallu 等<sup>[31]</sup>用桑叶治疗糖尿病,可以降低病人的血清总胆固醇、甘油三酯和脂肪酸含量,达到较好的降血脂效果。朱玉霞等<sup>[36]</sup>通过研究桑叶黄酮对 2 型糖尿病大鼠胰岛素抵抗的影响,发现桑叶黄酮治疗组 GIR、ISI 和 PPAR<sub>γ</sub> 明显高于糖尿病组 ( $P < 0.05$ ),而血脂显著降低 ( $P < 0.05$ ),表明桑叶黄酮能增加 2 型糖尿病大鼠胰岛素敏感性,同时可以降低血脂。Ajay 等<sup>[37]</sup>发现,桑树中的黄酮类化合物还能有效地抑制血清脂质的增加和动脉粥样硬化的形成。

**2.3 抗氧化作用** 据报道,黄酮类化合物结构中 3、4 位置上的 2 个羟基具有抗氧化功能。羟基能提供活跃的氢,完成对超氧离子自由基的清除。桑叶中主要的黄酮类化合物芸香甙、槲皮素、异槲皮素等均在 3、4 位置上含有邻羟基<sup>[23]</sup>。Katsube 等<sup>[38]</sup>通过体外试验证实了桑叶中的槲皮素-3-O-葡萄糖苷和槲皮素-3-O-芸香糖苷成分具有很强的抗 LDL 氧化的活性。刘建文等<sup>[39]</sup>研究发现,浓度为 200、250  $\mu\text{mol/L}$  的芸香甙、槲皮素及异槲皮苷清除超氧阴离子和羟自由基的作用强于标准的自由基清除剂维生素 C,表明黄酮类化合物是一种天然良好的抗氧化剂。

**2.4 抗肿瘤作用** 王海燕<sup>[40]</sup>报道通过腹腔内给予注射了

B16-BL6 黑色素瘤细胞的小鼠槲皮素,发现其肿瘤生长明显延缓。罗士德等<sup>[41]</sup>在桑根皮的提取物中分离出 6 个黄酮类成分,发现其中 Morusin 4'-glucoside、桑酮和桑根皮素具有一定的抗肿瘤活性。Kim 等<sup>[42]</sup>报道从桑叶中提取出的黄酮类物质槲皮素-3-O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷和槲皮素-3,7-dio- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷能显著抑制人早幼粒白血病细胞系的生长,具有明显的抗肿瘤活性,后者还能诱导人早幼粒白血病细胞系的分化。桑树中酚黄酮类化合物芦丁和槲皮素能诱导肿瘤细胞的死亡、抑制正常细胞的凋亡,在很大程度上减少结肠癌的危险症状<sup>[43]</sup>。药桑桑椹中的微量元素硒对人体免疫系统疾病、心脏具有治疗和保健作用,特别是药桑桑椹中的白藜芦醇能抑制癌细胞生长,并且有增强机体免疫力和阻止血液栓塞形成的作用<sup>[44]</sup>。

**2.5 抗菌抗病毒作用** 桑树中提取的黄酮类化合物桑色素具有抗菌、抗病毒功能,对疱疹病毒、马铃薯病毒及金黄色葡萄球菌、伤寒、痢疾杆菌等有较强抑制作用,还具有利尿作用<sup>[45]</sup>。威本明<sup>[46]</sup>通过体外试验,发现某些黄酮类化合物对细菌、真菌等均有不同程度的抑制作用,有显著的抗微生物作用,如云香昔及其衍生物对甲醛引起的关节炎及棉球肉芽肿、角叉菜胶诱发的大鼠足爪水肿等均有明显抑制作用。张国刚等<sup>[47]</sup>利用色谱技术分离鉴定了 4 个黄酮类化合物,并且对这 4 个黄酮类化合物进行体外抗病毒试验,发现桑白皮中分离得到的这 4 个化合物对流感病毒、副流感病毒、腺病毒、柯萨奇病毒等具有较好的抑制作用。

**2.6 其他生物活性及药理作用** 研究表明,桑白皮的提取物黄酮类化合物具有较好的抗炎症、祛痰、镇咳及平喘作用<sup>[48-50]</sup>;桑叶中的槲皮素具有减轻低密度脂蛋白小鼠的粥样硬化损伤的作用,能抗动脉粥样硬化<sup>[23]</sup>;药桑桑椹汁中含有丰富的氨基酸,用其可以研制治疗因患肝硬化、脂肪肝、痢疾等疾病引起的营养不良症的复方药剂<sup>[8]</sup>。

### 3 黄酮类化合物的提取工艺

桑树黄酮类化合物广泛存在于桑枝、桑叶、桑白皮、桑椹中,一般难溶或不溶于水,易溶于甲醇、乙醇、乙酸乙酯、醚、稀碱液或某些极性较大的混合溶剂。目前,桑总黄酮提取方法主要有水煮浸提法、有机溶剂醇提法、超声波浸提法、微波萃取法、回流提取法、碱性水提法等<sup>[51-55]</sup>。

**3.1 有机溶剂醇提法** 章华伟等<sup>[56]</sup>以含水乙醇为溶剂,在单因素试验的基础上,采用响应曲面法优化提取桑叶黄酮工艺条件。结果表明,醇法提取桑叶黄酮的最优工艺条件为:乙醇体积分数 71.75%、提取温度 67.1  $^{\circ}\text{C}$ 、料液比 23.2:1.0

(醇溶液:桑叶粉)、提取时间 150 min、提取次数 2,桑叶黄酮得率为 2.37%。刘利等<sup>[20]</sup>利用甲醇提取桑叶总黄酮来分析白桑不同种质资源桑叶总黄酮含量的差异,结果表明以甲醇溶液提取适用于桑叶总黄酮提取,不同属白桑的不同种质资源桑叶总黄酮含量差异在 0.01 水平显著。

**3.2 回流提取法** 杨虎等<sup>[57]</sup>采用乙醇回流法提取桑叶中黄酮类物质,通过正交试验考察了回流乙醇浓度、提取时间、提取次数、料液比等因素对提取率的影响。结果表明,提取的最佳工艺条件为乙醇浓度 80%,回流提取时间 1.5 h,提取 3 次,料液比(质量比)1:30,其提取率可达 0.723%。

**3.3 超声波辅助法** 高中松<sup>[53]</sup>利用超声波辅助法提取桑叶总黄酮,采用乙醇浓度 70%、料液比 1:15、浸泡 3 h 的浸提条件,再用超声波提取 45 min,结果表明桑叶总黄酮得率提高到 2.18%。杨青珍等<sup>[58]</sup>通过正交试验对超声辅助乙醇法提取龙桑叶黄酮类物质的工艺条件进行了研究,结果表明龙桑叶黄酮乙醇法提取的最适宜工艺条件为 70% 乙醇,料液比 1:20,80 ℃ 水浴 2 h,超声波处理 35 min,在此条件下龙桑叶黄酮提取效果最好。

**3.4 微波萃取法** 陈菁菁等<sup>[52]</sup>采用微波萃取法提取桑叶和桑白皮中黄酮类成分,并且与传统醇提法相比,得出微波萃取黄酮类成分的最佳工艺条件为:70% 乙醇 12 倍量,于 60 ℃ 萃取 20 min,使得桑叶总黄酮得率由 1.85% 提高到 2.87%,桑白皮总黄酮得率由 0.241% 提高到 0.317%。结果表明,微波萃取法在溶剂用量、提取时间及得率等方面明显优于传统的醇提法,成本低,适用于工业生产。

**3.5 CO<sub>2</sub> 超临界萃取法** 王昕宇等<sup>[59]</sup>利用正交设计法研究了 CO<sub>2</sub> 超临界萃取药桑黄酮的最佳工艺,并且与超声波提取法进行了比较。结果表明,萃取的优化条件(以 300 g 样品计)为压力 35 MPa、萃取剂用量 200 ml、CO<sub>2</sub> 流量 10 kg/h 及温度 45 ℃,萃取物中黄酮含量达到 7.68%,其效率远优于传统提取方法。李莉等<sup>[60]</sup>探讨采用超声-微波协同萃取法提取桑叶中总黄酮的工艺,得出总黄酮提取的最佳条件为超声-微波提取功率为 400 W,提取液为体积分数为 65% 的乙醇溶液,料液比为 1:10(W/V),提取时间为 12 min,在此条件下桑叶总黄酮的提取率可达 3.07%。

## 4 前景展望

桑树作为一种传统的药用植物一直受到人们的关注。近年来,众多研究表明桑树黄酮类化合物有降血糖、降血压、降血脂、抗氧化、抗肿瘤、抗菌、抗病毒等多种生物活性、药理作用,可用于开发研制治疗糖尿病、心血管疾病及抗肿瘤的新药,也是具有抗衰老、增强免疫力功效的保健品及日用化妆品的天然成分之一。同时,黄酮类化合物也是饲料添加剂中抗氧化剂最好的替代物,绿色,天然,无毒害,具有诱人的应用前景。但是,目前关于黄酮类化合物中具体有效成分及活性单体的研究报道相对较少,且药效作用机制的研究仍不够明确。因此,今后的研究工作应继续加强、加深对其有效活性成分单体及其相应的药理药效、作用机制、代谢调控的研究,对桑树中黄酮类化合物的质量控制方法进行完善,使

其更绿色安全,为桑树黄酮类化合物在医疗、保健、食品、饮料、饲料和日用化妆领域中的开发应用奠定基础。

## 参考文献

- [1] 傅立国,陈潭清,郎楷永,等. 中国高等植物志[M]. 青岛:青岛出版社,2000.
- [2] 王瑾,张会敏,石俊英. 桑白皮黄酮类化学成分研究进展[J]. 齐鲁药事,2012,31(7):420-422.
- [3] 欧阳臻,陈钧. 桑叶的化学成分及药理作用研究进展[J]. 江苏大学学报,2003,24(6):39-43.
- [4] 李瑞雪,汪泰初,贾鸿英. 桑叶活性成分、生物活性的研究及其开发应用进展[J]. 北方蚕业,2009,30(2):1-3.
- [5] 陈庆,周跃斌,袁勇,等. 桑叶的活性成分及其保健功能研究现状及展望[J]. 科技创新导报,2009(31):231,233.
- [6] 徐立. 桑树植物化学成分及活性研究[D]. 重庆:西南大学,2006.
- [7] 耿鹏,朱元元,杨洋,等. 桑树资源中 1-脱氧野尻霉素的测定及其生物活性分析[J]. 中草药,2005,36(8):1151-1154.
- [8] 蒋昊,徐立,刘俊池,等. 药桑的生物活性成分及药理作用研究进展[J]. 蚕业科学,2011,37(1):98-104.
- [9] 王辉,吴莎,孙毅凡,等. 桑叶提取物的抗病毒活性检测[J]. 蚕业科学,2011,37(5):952-956.
- [10] 李季芳,蒋卓勤,程卫. 桑树资源降血糖主要活性成分的研究进展[J]. 中国现代中药,2008,10(10):6-8.
- [11] 苏方华. 桑叶的化学成分及临床应用研究进展[J]. 中国医学导报,2010,7(14):9-12.
- [12] KIM H K, SON K H, CHANG H W, et al. Inhibition of rat djuvant induced arthritis by ginkgetin, a biflavone from ginkgo biloba leaves[J]. Planta Med, 1999, 65(5):465-467.
- [13] 于晶,郝再彬,苍晶,等. 黄酮类化合物的活性研究进展[J]. 东北农业大学学报,2008,39(12):125-130.
- [14] 马锐,吴胜本. 中药黄酮类化合物药理作用及作用机制研究进展[J]. 中国药物警戒,2013,10(5):26-29.
- [15] HABTEMARIAM S. Flavonoids as inhibitors or enhancers of the cytotoxicity of tum or Necris is factwa in L-929 tum or cells[J]. J Nat Prod, 1997, 60(8):775-778.
- [16] 王军妮,黄艳红,牟志美,等. 植物次生代谢物黄酮类化合物的研究进展[J]. 蚕业科学,2007,33(3):499-505.
- [17] 章红燕,侯桂兰,何福根. 银杏叶总黄酮和银杏内酯对心脑血管作用的研究进展[J]. 浙江临床医学,2008,10(4):543-544.
- [18] 胡琴,齐云,许利平,等. 葛根黄酮的体外抗氧化活性研究[J]. 中药药理与临床,2007,23(6):29-31.
- [19] 杨茂区,陈伟,冯磊. 大豆异黄酮的生理功能研究进展[J]. 大豆科学,2006,25(3):320-323.
- [20] 刘利,潘一乐. 桑叶总黄酮含量分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(8):3255-3256.
- [21] 刘本国,朱永义. 生物类黄酮的研究与应用概况[J]. 粮食与饲料工业,2003(7):46-47.
- [22] 马卡姆. 黄酮类化合物结构鉴定技术[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [23] 万利秀,肖更生,刘亮. 桑叶中黄酮的研究进展[J]. 广东蚕业,2009,43(3):44-48.
- [24] 王长远,吴洪奎,于长青,等. 黄酮类化合物研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2007,19(2):75-78.
- [25] 石磊. 二氢黄酮类衍生物的合成及生物活性研究[D]. 太原:山西医科大学,2010.
- [26] 彭程程,王青山,赵国祥,等. 黄酮类化合物的研究进展[J]. 农产品加工,2010,208(5):38-41.
- [27] 唐传核. 植物生物活性物质[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [28] 张志明,梁敬钰. 桑树的黄酮类化学成分及药理研究进展[J]. 海峡药学,2006,18(1):1-6.
- [29] 黄勇,张林,刘利,等. 桑资源中黄酮类化合物的研究进展[J]. 蚕桑通报,2006,37(4):9-12.
- [30] 刘艳艳,贾俊丽,池旭娟,等. 桑树黄酮类化合物的研究概况[J]. 江苏蚕业,2008(3):5-9.
- [31] ANDALLU B, SURYAKANTHAM V, LAKSHMI S B, et al. Effect of mulberry therapy on plasma and erythrocyte membrane lipids in patients with type 2 diabetes[J]. Clinica Chimica Acta, 2001, 31(4):47-53.
- [32] 周峰. 桑白皮总黄酮的提取及其对糖尿病动物作用的初步研究[D]. 重庆:重庆医科大学,2010.
- [33] 王磊. 黑桑化学成分及生物活性研究[D]. 北京:中国协和医科大学,2008.

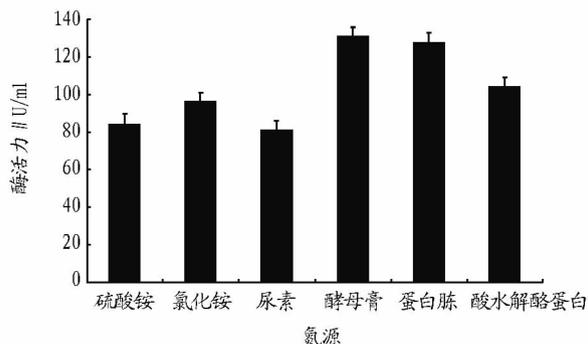


图7 不同氮源对产淀粉酶的影响

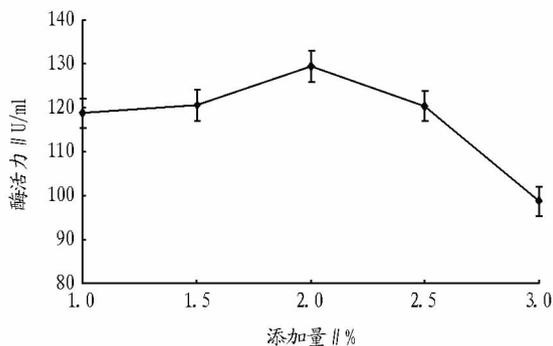


图8 氮源添加量对产淀粉酶的影响

### 3 结论

结合单因素和四因素三水平正交试验,在装液量 100 ml/250 ml 条件下,得到产淀粉酶最佳条件为玉米粉 1%,酵母膏 2%,初始 pH 8.0,NaCl 浓度 3%,37.5 °C,160 r/min 振荡培养 72 h。该研究结果为今后中度嗜盐菌菌种的生产应用提供了理论基础。

(上接第 9663 页)

- [34] 吴志平,周巧霞,顾振纶,等.桑树不同药用部位的降血糖作用比较研究[J].蚕业科学,2005,31(2):215-217.
- [35] 李向荣,陈菁菁,刘晓光.桑叶总黄酮对高血脂动物的降血脂效应[J].中国医药学杂志,2009,44(21):1630-1633.
- [36] 朱玉霞,邹德平,刘学鹏,等.桑叶黄酮对 2 型糖尿病大鼠胰岛抵抗影响的研究[J].四川医学,2008,29(9):1114-1116.
- [37] AJAY M, GILANI A U, MUSTAFA M R. Effects of flavonoids on vascular smooth muscle of the isolated rat thoracic aorta[J]. Life Science, 2003, 74(5):603-612.
- [38] KATSUBE T, IMAWAKA N, KAWANO Y, et al. Antioxidant flavonoid glycosides in mulberry leaves isolated based on LDL antioxidant activity[J]. Food Chemistry, 2006, 97(8):25-31.
- [39] 刘建文,贾伟主.生物资源中活性物质的开发与利用[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [40] 王海燕.槲皮素诱导肿瘤细胞凋亡的相关基因调控[J].中药药理与临床,2005,21(6):89-91.
- [41] 罗士德,宁冰梅.桑白皮中抗人爱滋病毒(HIV)成分研究[J].云南植物研究,1995,17(1):88-89.
- [42] KIM S Y, GAO J J, KANG H K. Two flavonoids from the leaves of *Morus alba* induce differentiation of the human promyelocytic leukemia cell line[J]. Biol Pharm Bull, 2000, 23(4):451-455.
- [43] 谢棒祥,张敏红.生物黄酮类化合物的生理功能及其应用研究进展[J].动物营养学报,2003,15(2):11-15.
- [44] 买买提依明,刘念,印玉萍,等.新疆药桑果酒营养成分分析与保健作用探讨[J].酿酒科技,2007(8):40-41.
- [45] 刘成梅,游海.天然产物有效成分分离与应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [46] 戚本明.大豆黄酮药理学研究新进展[J].国外医学中医中药分册,

表2 正交试验  $L_9(3^4)$  结果

序号	水平				结果
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	119.8
2	1	2	2	2	134.6
3	1	3	3	3	96.5
4	2	1	2	3	126.4
5	2	2	3	1	100.3
6	2	3	1	2	140.5
7	3	1	3	2	104.8
8	3	2	1	3	138.9
9	3	3	2	1	112.7
$k_1$	116.97	117.00	129.73	110.90	
$k_2$	122.40	121.27	124.57	126.64	
$k_3$	115.45	116.56	100.53	117.27	
R	6.93	4.70	29.20	15.70	

### 参考文献

- [1] 詹谷宇,党永.嗜盐菌碱性淀粉酶特性研究[J].西安交通大学学报,1996,30(2):94-98.
- [2] 张萌,张晓梅,窦文芳.嗜盐脂肪酶产生菌的筛选及其粗酶性质[J].微生物学通报,2009,36(1):14-19.
- [3] 许晨.嗜盐菌 *Haloferax mediterranei* R4 胞外淀粉酶的研究[J].氨基酸和生物资源,2004,26(4):32-33.
- [4] 田新玉,周培瑾,王大珍.嗜盐碱性淀粉酶产生条件和性质的初步研究[J].微生物学报,1994,34(5):355-359.
- [5] 韩萍.低温淀粉酶的分离、纯化及其酶学性质研究[D].云南:昆明理工大学,2007:35-36.
- [6] 韩剑.新疆罗布泊嗜盐菌的多样性及产酶特性研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2008:40-45.
- [7] 刘阳,谭明,潘宝平,等.一株地衣芽孢杆菌的性质研究及发酵培养基优化[J].安徽农业科学,2012,40(3):1348-1351.
- [8] 张健,汪桐,徐争辉,等.一株降解木聚糖真菌的筛选及其发酵条件优化[J].安徽农业科学,2012,40(26):12773-12777.
- [9] 康壮丽,郝凤霞,胡文革,等.中度嗜盐菌产  $\alpha$ -淀粉酶发酵条件优化和酶活性质研究[J].中国酿造,2009,205(4):80-83.
- [10] 2001,23(4):206.
- [47] 张国刚,黎琼红,叶英子博,等.桑白皮抗病毒有效成分的提取分离及体外抗病毒活性研究[J].沈阳药科大学学报,2005,22(3):207-209.
- [48] 冯冰虹,赵宇红,黄建华.桑白皮的有效成分筛选及其药理学研究[J].中药材,2004,27(3):204-205.
- [49] 韦媛媛,徐峰,陈侠,等.桑白皮黄酮的镇咳祛痰作用[J].沈阳药科大学学报,2009,26(8):644-647.
- [50] 韦媛媛,徐峰,陈晓伟,等.桑白皮黄酮平喘作用实验研究[J].时珍国医国药,2009,20(11):2743-2745.
- [51] 徐玉娟,吴映明,张友胜,等.超微粉碎技术及其在桑树资源综合利用中的应用[J].中国粉体工业,2006(1):3-5.
- [52] 陈菁菁,李向荣.微波萃取法提取桑叶和桑白皮的黄酮成分[J].中药材,2006,29(10):1090-1092.
- [53] 高中松.桑叶黄酮的提取分离纯化研究[J].安徽农学通报,2005,11(6):48-50.
- [54] 李莉,刘成梅,田建文,等.现代提取分析技术在黄酮类化合物中的应用[J].江西食品工业,2007(4):42-44.
- [55] 李洪娟,孙居峰,代现平,等.桑白皮总黄酮超声波提法研究[J].安徽农业科学,2009,37(3):1188-1189.
- [56] 章华伟,陈星宇,凌春英.响应曲面优化醇法提取桑叶黄酮工艺研究[J].氨基酸和生物资源,2010,34(3):76-79.
- [57] 杨虎,马燮,陈虹,等.桑叶中黄酮类化合物的提取工艺研究[J].应用化学,2008,37(5):520-522.
- [58] 杨青珍,王锋,王帅.龙桑叶黄酮类物质的提取工艺及抗氧化性研究[J].江苏农业科学,2010(2):305-307.
- [59] 王昕宇,张帆,哈木拉提·吾甫尔,等.超临界  $CO_2$  萃取药桑黄酮的工艺研究[J].海峡药学,2010,22(6):72-74.
- [60] 李莉,颜杰,张承红.超声-微波协同萃取桑叶总黄酮的工艺研究[J].安徽农业科学,2010,38(17):9208-9210.