

桑叶综合利用的研究进展

李来成, 张士凯, 许方舟, 马航宇, 嵇悦, 乔玉双, 吴澎

Research Progress of Mulberry Leaf Comprehensive Utilization

LI Laicheng, ZHANG Shikai, XU Fangzhou, MA Hangyu, ZHUO Yue, QIAO Yushuang, and WU Peng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100105>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

枸杞的药理作用及其加工现状

Pharmacological Action of Chinese wolfberry and Its Comprehensive Processing Utilization

食品工业科技. 2018, 39(14): 330-334

发芽糙米及其在糖尿病功能性食品中的应用进展

Research Development of Germinated Brown Rice as a Functional Food for Diabetes

食品工业科技. 2021, 42(10): 378-384

刺梨主要活性成分及药理作用研究进展

Research Progress on Main Active Components and Pharmacological Effects of *Rosa roxburghii* Tratt

食品工业科技. 2020, 41(13): 328-335,342

以多糖和蛋白质为基质利用静电纺丝技术构建生物活性物质递送体系的研究进展

Research Progress of Bioactive Compounds Delivery System Based on Polysaccharide and Protein by Electrospinning

食品工业科技. 2019, 40(7): 313-321

丝瓜不同部位药理作用研究进展

Research Progress on Pharmacological Action of Different Parts of *Luffa cylindrica*(L.) Roem.

食品工业科技. 2021, 42(10): 355-361

小球藻在食品中的应用研究进展

Applications of Chlorella in food industry

食品工业科技. 2017(17): 341-346



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李来成, 张士凯, 许方舟, 等. 桑叶综合利用的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 397–404. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100105

LI Laicheng, ZHANG Shikai, XU Fangzhou, et al. Research Progress of Mulberry Leaf Comprehensive Utilization[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 397–404. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100105

桑叶综合利用的研究进展

李来成¹, 张士凯¹, 许方舟¹, 马航宇¹, 嵇悦¹, 乔玉双², 吴澎^{1,*}

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东省高校食品加工技术与

质量控制重点实验室, 山东泰安 271018;

2. 泰安技师学院餐饮旅游教研室, 山东泰安 271000)

摘要: 桑叶 (MLs) 传统上用于养蚕以及用作草药和草药饮料。本文总结了桑叶对人体具有的降血糖、降血压、防癌以及通便利尿等药理作用, 就桑叶在食品以及动物生产中的应用进行了归纳, 针对当前桑叶研究存在的问题进行了分析, 对桑叶的进一步综合利用进行了展望, 旨在为桑叶精深加工技术创新和资源高效综合利用、开展资源高值化加工共性关键技术创新与产品开发提供理论参考。

关键词: 桑叶, 药理作用, 功能性食品, 动物生产

中图分类号: TS209

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)02-0397-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100105

本文网刊:



Research Progress of Mulberry Leaf Comprehensive Utilization

LI Laicheng¹, ZHANG Shikai¹, XU Fangzhou¹, MA Hangyu¹, ZHUO Yue¹, QIAO Yushuang², WU Peng^{1,*}

(1. Key Laboratory of Food Processing Technology and Quality Control in Shandong Province, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China;

2. Food and Tourism Teaching and Research Section of Tai'an Technician College, Taian 271000, China)

Abstract: Mulberry leaves (MLs) have been used traditionally to raise silkworms and as herbs and herbal drinks. This article summarizes the pharmacological effects of mulberry leaves on the human body such as lowering blood sugar, lowering blood pressure, preventing cancer and urinating. The application of mulberry leaves in food and animal production are summarized, and the current problems in mulberry leaves research are carried out. The analysis and prospects for the further comprehensive utilization of mulberry leaves are aimed at providing theoretical references for mulberry leaf deep-processing technology innovation, high-efficiency comprehensive utilization of resources, and common key technology innovation and product development for high-value processing of resources.

Key words: mulberry leaf; pharmacological action; functional food; animal production

桑树为桑科 (Moraceae) 桑属 (*Morus*) 的多年生木本植物, 在我国各地分布广泛, 是我国一种重要的经济作物, 桑叶为桑树的干燥叶, 又名家桑、荆桑、黄桑叶, 是蚕的主要食物来源, 同时也是我国重要的传统中药之一^[1-2]。桑叶中含有丰富的营养物质及多种活性成分, 如维生素、黄酮、多酚、类生物碱、萜类化合物、类固醇等, 且蛋白质和氨基酸组成较平衡, 具有降血糖、降血压、降胆固醇、抗动脉粥样硬化及提高肉品质等多种作用^[3-4]。

近年来国内外有关桑叶的研究逐渐增多, Wu^[5]通过连续八周对小鼠注射桑叶多糖 (MLP-1), 得出

了 MLP-1 可以有效抑制肾纤维化并潜在地治疗糖尿病的结论。Wen 等^[6]在研究中发现桑叶中的烯丙基酚具有良好的抗氧化性, 可及时清除体内产生的自由基, 延缓衰老。同时, 吴美音等^[7]也指出桑叶中的黄酮类物质具有调节糖脂代谢, 减轻炎症, 抑制尿酸代谢中黄嘌呤氧化酶的作用。因此, 可将桑叶中的活性成分应用到实际产品中, 产生经济效益。研究者发现桑叶不仅具有药理作用, 还可将桑叶运用到食品中, 开发功能性食品, 如桑叶茶、桑叶饮料、桑叶挂面, 对比传统的茶、饮料、挂面, 添加桑叶的食品具有更高的营养价值以及更好的色泽和口感, 比传统食品

收稿日期: 2020-10-15

作者简介: 李来成 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: 3118467841@qq.com。

* 通信作者: 吴澎 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学, E-mail: sdndwp@163.com。

更能吸引消费者。尤其是桑叶茶的研制,雷诗涵等^[8]通过盐渍-醋蒸-发酵法制备的功能性桑叶茶有较好的风味且草酸含量低,硬度和脱氧野尻霉素(1-DNJ)含量均在合理范围内,感官评价优于同类产品,具有广阔的市场前景。除此之外,桑叶在动物生产中的应用也被不断阐明,Zhu 等^[9]的实验有力证明了桑叶可改变肌纤维特性,从而增强抗氧化能力和增加肌肉脂肪来改善肥育猪的肉质。Pothinuch 等^[10]研究发现桑叶提取物对猪的基底动脉的血管有舒张作用,但要探究其具体的作用机制,还需进行更深层次的动物实验。

随着人们生活水平的提高,人们越来越关注自身健康和功能性食品,而桑叶作为既是食品又是药品的物质之一^[11]。本文对近几年国内外研究人员对其具有的药理作用、在功能性食品中的应用及发酵后的应用进行总结,为后人继续对桑叶的开发利用提供理论参考,以期能研发出更好的功能性食品以及在动物生产中发挥更大的作用。

1 桑叶的药理作用

1.1 降血糖

糖尿病是 21 世纪全球主要的公共卫生事件,根据 2015 年国际糖尿病联盟(IDF)发布的第 7 版糖尿病概览统计数据,全球成年人中糖尿病患病人数高达 4.15 亿,预计到 2040 年将会增至 6.42 亿^[12]。越来越多的证据表明,许多植物都含有生理健康益处的生物活性成分,且副作用较少,因此,用专门针对糖尿病的植物提取物预防糖尿病的是较为经济有效的方法。桑叶含有多种降血糖成分,如黄酮类、生物碱和多糖等^[13],体外实验和动物研究均表明^[14],桑叶提取物可能具有降低人体餐后血糖的潜力。现代研究表明^[15],桑叶经发酵处理后,也可抑制餐后小鼠血糖升高,原因可能是桑叶水提物可抑制麦芽糖酶和乳糖酶活性,降低小鼠对两种糖的吸收。同时季涛等^[16]也认为桑叶可促进胰岛素释放、抑制 α -糖苷酶的活性。目前有关桑叶降血糖的研究虽已初步证实其具有降血糖的功效,但目前的实验对象还仅局限在动物范围内,尚需临床试验进一步明确桑叶降血糖的作用机理。

1.2 降胆固醇

心脑血管疾病是严重威胁老年人身体健康的一类疾病,主要是体内胆固醇含量过高导致。胆固醇主要在肝脏中合成,受到多种酶的调控,如 3-羟基-3-甲基戊二酸单酰辅酶 A 还原酶(HMG-CoA 还原酶)是体内合成胆固醇的限速酶,当其活性较高时可促进胆固醇的合成,反之降低胆固醇的合成^[17-19]。文晋等^[20]将桑叶生物碱粗提液添加到胆固醇含量较高的小鼠饲料中,发现小鼠体内胆固醇含量明显降低,原因可能是桑叶生物碱粗提液抑制了 HMG-CoA 还原酶的活性,从而降低了胆固醇的合成速率,同时施秀等^[21]在用桑叶生物碱粗提液灌胃高脂饮食金黄地鼠

的实验中也得出类似结论。在目前研究中,桑叶降胆固醇的作用机理已基本明确,但要转化到实际应用中,还需将桑叶开发成易于老年人消化的食品,从而产生真正的经济效益。

1.3 抗衰老

衰老是一种复杂的生理过程,是机体随着年龄的增长而出现的各种生理器官和功能的退行性变化。衰老的原因一直是各方争论的焦点,随着现代医学和生物学的迅速发展,自由基学说成为最具可能性的机制之一:随着年龄的增大,生物体中清除自由基的抗氧化酶活性下降,自由基逐渐堆积从而加速衰老。因此,如何清除生物体内过量的自由基是抗氧化研究的切入点。黄酮类化合物能清除人体中超氧离子自由基,消除自由基毒性,是一类天然抗氧化剂^[22],而桑叶中所含的黄酮类化合物在所有植物茎叶中较高,占桑叶干物质质量的 3% 左右,是一种潜在的抗衰老成分。王灿等^[23]认为桑叶可有效减缓人的神经细胞萎缩死亡,维持正常的思维能力和记忆力,原因可能是桑叶中的黄酮类物质能有效的阻碍超氧自由基的连锁反应,维持体内自由基含量的动态平衡,从而具有抗衰老的功效。同时,Wang 等^[24]也在研究中发现桑叶是具有保护神经的有益物质。目前桑叶抗衰老的报道较少,还存在巨大的研究潜力,因此,揭示桑叶抗衰老的具体作用机制将是今后的重点研究方向之一。

1.4 预防癌症

当前,越来越多的证据表明,肥胖会增加患癌症的风险^[25]。脂肪组织具有内分泌作用,可以释放出多种生物活性物质例如 PI3K/Akt/mTOR,这些物质可能参与了复杂的癌变过程,增加了患肝癌的概率。研究表明桑叶可通过调节肝脏脂质代谢,进而提高人体的抗氧化能力,降低肝癌的发生概率^[26]。此外,有文献报道从桑叶黄酮中提取出的桑色素也具有防癌的作用,张齐^[27]发现桑叶中的提取物桑色素能影响肿瘤细胞周期以及抑制 DNA 合成,进而抑制肝癌、宫颈癌、食管癌和胃癌等多种癌细胞的生长,降低癌症发生的概率。这与王春莉等^[28]的研究结果有相似之处,王春莉等将桑叶制成桑叶银纳米粒后进行抗癌活性实验,结果发现桑叶银纳米粒对宫颈癌、肝癌细胞及乳腺癌细胞具有良好的增殖抑制作用,尤其是对乳腺癌细胞抑制效果显著。当前抑制癌细胞繁殖的方式还主要是通过服用药物,将桑叶提取物加工成功能性食品来抑制癌症的增殖、降低癌症的发生概率或许可为科研人员提供一种新思路。

1.5 通便利尿

现在生活节奏越来越快,极易产生便秘、排尿困难等症状,研究发现桑叶中含有不易被小肠吸收利用的糖类物质,当其进入大肠后,可使肠道含水量增大,致使粪便软化,进而加速粪便排出。同样有文献报道桑叶中未被吸收的糖类进入大肠后,可与大肠内

菌丛发生反应,产生二氧化碳和氢气,并生成丁酸、丙酸、乙酸等有机酸,能促进粪便的软化和利尿,进而可排出体内过多的水分并缓解浮肿,同时有机酸的生成使肠内环境呈现酸性,肠道内容物的酸度增大,能抑制有害细菌的增殖,起到调整肠道的作用^[29]。林森等^[30]将含有桑叶的饲料投喂给小鼠,发现小鼠排泄量明显增加,充分表明现桑叶在通便利尿方面有着重要作用。

1.6 抗炎

通常当细菌和真菌这些具有传染性的微生物以及病毒侵入人体,停留在特定组织中或在血液中循环时,就会发生炎症。炎症可能发生在诸如组织损伤、细胞死亡、肿瘤、局部缺血和变性等过程中^[31]。自古以来,人们善于用植物或植物来源的制剂治疗炎症性及相关疾病,随着现代医药学的快速发展,桑叶的抗炎功效也逐渐被发现^[32]。王祖文等^[33]通过给小鼠灌胃桑叶生物碱后发现小鼠机体内的 IL-6、TNF- α 、COX-2 炎症因子水平降低,胶原蛋白含量减少,病理切片同样观察到肝组织胶原纤维含量减少,推测桑叶生物碱可在小鼠体内发挥作用从而降低炎症水平。同样,黄思雨^[34]通过体内评价和体外评价相结合的方法对桑叶的抗炎能力进行研究,结果显示,桑叶细粉可以降低溃疡性结肠炎小鼠促炎细胞因子和肿瘤坏死因子的含量,同时降低 MPO 的活性,提高抑炎因子的含量,从而提升小鼠的抗炎能力。目前现有的报道中对桑叶的抗炎功效的研究还较少,成果不多,需加大对桑叶抗炎功效的理论研究并应用到实际生活中。

2 桑叶在功能性食品中的应用

2.1 桑叶茶

经过采收、杀青、揉捻、干燥、包装、贮藏等流程制成的桑叶茶含有多种营养成分,主要有脂肪酸、有机酸、水溶性碳水化合物等,同时还含有 20 余种微量的挥发性成分,具有降血糖、降低人体胆固醇、降血压、抗氧化等防病保健的功效。桑叶茶又可细分为桑叶绿茶、桑叶红茶、桑叶乌龙茶等类型^[35],也可与其他茶叶复合。吴劲轩等^[36]将桑叶与普洱复合后加工成桑叶普洱茶,这种复合茶在口感上结合了桑叶茶和普洱茶的风味,形成了桑叶普洱茶特有的爽口清新的味道,由于这种复合茶中含有多种活性物质,其降血压、降血脂、延缓衰老等功效也逐渐被研究人员阐明。同样,这种由新鲜桑叶采用现代工艺制作而成的桑叶袋泡茶可使桑叶原本寒凉的本性得到较大改善,使鲜叶内的酶类催化基质发生生化转变,从而使得桑叶茶茶汤色正、口感醇厚,达到理想的桑叶茶口味。近几年,桑叶凭借其特有的清香气味以及本身具有的天然活性物质,在茶的研制和开发方面展现出了广阔的发展前景。

2.2 桑叶饮料

目前,桑叶与其他成分的混合使用是制备桑叶

饮料的主要趋势,王蔚新等^[37]将桑叶与金银花结合,制备出的新型饮料具有凉血、明目、清热解毒、利咽喉等功效,并且饮料中加入金银花,可以清除桑叶汁的苦味和生青味。刘万顺等^[38]以桑叶、竹叶、石膏为原料制备出的新型饮料具有抗炎消毒、清热解毒的功效,并可辅助治疗牙痛、口臭、心烦等症。虽然桑叶饮料目前已有较大发展,但还停留在初级阶段,要使桑叶饮料保持较强的稳定性,应在加工时从避光、排氧、杀菌消毒等方面采取更为严格的工艺条件,这些工艺还需进一步的探索,以达到桑叶饮料最好的饮用效果。

2.3 桑叶挂面

挂面作为我国城镇居民尤其是北方人群的主要面食之一,具有需求量大、多样化、方便即食等特点。但目前市场上单纯用面粉进行加工,在口感、外观与营养上都无法满足现代人对生活品质的要求。当前,开发桑叶挂面已成为当今的研究热点之一。研究发现,桑叶具有多种矿物质元素、维生素、食物纤维、氨基酸等多种对人体有益的成分,是天然的绿色保健食品^[39],将桑叶用作挂面原料,可以使得挂面具有桑叶特殊清香味和特殊的颜色,并有增强免疫力、降血糖、降胆固醇等功效,有益于人体健康。陶思洁^[40]以桑叶为原料,以面粉、西兰花、圣女果、品质改良剂为辅料研制出的桑叶挂面呈现出漂亮的绿色、口感清爽滑口。杨海霞等^[41]以桑叶为原料,以食盐、纯碱、海藻酸钠为辅料,研制出的桑叶挂面具有天然桑叶的清香味,无异味。现在桑叶挂面已成为其功能性食品的代表之一,适合大众消费,与传统工艺相比更受市场的欢迎。

3 桑叶的发酵及应用

3.1 桑叶发酵后营养成分的变化

桑叶发酵是指通过桑叶经微生物生命活动后桑叶中的营养成分组成及含量改变的过程,经发酵后,大分子蛋白质被降解成小肽、可溶性蛋白质和游离氨基酸,其中非蛋白氮经微生物作用可转化为菌体蛋白,提高真蛋白含量,桑叶发酵后营养成分含量变化见表 1。研究表明^[42],枯草芽孢杆菌、植物乳酸杆菌和乳酸菌等生长过程中会产生淀粉酶、纤维素酶等酶类,对桑叶中的粗纤维以及抗营养因子进行降解,可以大量的消除抗营养因子,有利于动物对营养物质的吸收与利用。

3.2 发酵桑叶在食品中的应用

目前发酵桑叶在食品中的应用主要是发酵桑叶茶的研制,陈永丽等^[49]对比了米曲霉、毛霉等不同菌种对桑叶进行发酵后研制成的发酵桑叶茶,结果发现由米曲霉研制成的发酵桑叶茶的水浸出物含量、感官评分和游离氨基酸含量均为最佳,究其原因可能是米曲霉分泌蛋白酶、纤维素酶等的能力更强,有利于可溶性物质的生成和美拉德反应,从而改善茶汤的滋味和色泽。同时,肖洪等^[50]探究了不同的发酵条件

表 1 桑叶发酵后营养成分含量变化

Table 1 Changes of nutrient content of mulberry leaves after fermentation

菌种	接种量 (%)	接种比	营养成分含量的变化	参考文献
枯草芽孢杆菌、植物乳酸杆菌 <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i>	7	1:1	粗蛋白质含量增加了 23.26%, 单宁含量下降了 28.33%	[43]
枯草芽孢杆菌、米曲霉、酿酒酵母、植物乳杆菌 <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i>	5	1:1:1:1	可溶性蛋白质含量提高了 176.52%	[44]
枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i>	5	1:4	粗纤维下降 12.69%, 粗蛋白含量增加 7.24%	[45]
康宁木霉、产月元假丝酵母 <i>Trichoderma koningii</i> , <i>Candida utilis</i>	5	1:1	粗蛋白质含量增加了 31.27%, 粗脂肪含量增加了 5.71%, 粗纤维含量降低了 12.71%	[46]
蜡状芽孢杆菌、植物乳杆菌、产月元假丝酵母、康宁木霉 <i>Bacillus cereus</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Candida utilis</i> , <i>Trichoderma koningii</i>	5	2:1	粗蛋白质含量增加了 4.95%, 粗纤维含量降低了 2.29%	[47]
乳酸菌 <i>Lactobacillus</i>	5	1:1	粗蛋白质含量增加了 8.82%, 中性洗涤纤维含量降低了 13.91%	[48]

对发酵桑叶茶生物活性成分含量的影响, 得出了最有利发酵桑叶茶功能性质的发酵条件, 但在该实验中接入菌种时是在自然状态下进行的, 不能完全排除细菌等条件对发酵桑叶茶的影响, 这是本实验的一个不足。从现有的文献中可以看出发酵桑叶在食品领域中的应用还较少, 因此, 如何将发酵桑叶更为广泛的应用到食品中应当是今后的一个热点问题。

3.3 发酵桑叶在动物生产中的应用

3.3.1 发酵桑叶在养猪生产中的应用 由于桑叶中含有丰富的营养物质以及黄酮类等多种活性成分, 因而在动物饲料中添加适量的桑叶, 有利于动物机体健康。张振祥等^[51]发现, 在 20 日龄断奶仔猪的日粮中添加发酵桑叶, 可加强仔猪在生长初期对疾病的抵抗力。这与林标声等^[52]的研究结果相似, 林标声实验发现在仔猪日粮中添加桑叶发酵制剂可有效治疗仔猪腹泻问题, 此外, 杨刚^[53]和李婉涛等^[54]均证实了在饲料中添加适量桑叶可提高猪的肌内脂肪含量并改善其嫩度, 但肌内脂肪含量与桑叶的添加量是否成正比还有待研究^[55]。

3.3.2 发酵桑叶在肉鸡生产上的应用 桑叶中含有的多酚、多糖和生物碱等活性物质在提高肉鸡的生长性能和免疫力等方面发挥着重要作用。黄静等^[56]将发酵桑叶添加到肉鸡饲料中后, 发现肉鸡的生长性能明显得到改善。但也有研究表明, 桑叶作为一种植物蛋白饲料在家禽饲料中的添加比例不宜超过 4%, 添加 5% 以上的桑叶粉明显降低肉鸡的生长性能^[57-60]。此外, 发酵桑叶粉可促进肉鸡肠道发育, 张金龙等^[61]发现基础饲料中添加的发酵桑叶粉能够显著提高罗斯 308 肉鸡母雏肉鸡采食量及体增重, 但对料重比无显著影响, 并且饲喂肉鸡 42 d 后发现十二指肠长度及空肠、回肠绒毛高, 证明了发酵桑叶粉对肉鸡肠道的发育有积极作用。

3.3.3 发酵桑叶在水产养殖上的应用 鱼粉因具有高蛋白质、丰富氨基酸含量的特点, 被广泛应用在水

产饲料中。近年来随着养殖规模的不断扩大, 鱼粉的价格不断上涨, 寻找新的饲料蛋白质来源已经成为国内外研究热点。由于发酵桑叶粉粗蛋白质消化吸收率高、氨基酸组成丰富、价格较低等特点^[62], 所以在水产养殖中的应用潜力巨大。陈文燕等^[63]研究了不同比例发酵桑叶粉替代鱼粉在罗非鱼生产上的应用, 试验表明, 在饲料(5% 鱼粉)中, 发酵桑叶替代 40% 鱼粉对罗非鱼的生长性能无显著差异, 当替代量高于 40% 时, 不利于罗非鱼的生长。徐韬等^[64]的实验表明添加高剂量发酵桑叶粉会显著降低大口黑鲶终末体重和特定生长率, 此外, 饲喂添加高剂量发酵桑叶粉可以改善大口黑鲶脂质代谢和增强机体的抗氧化能力, 但发酵桑叶能否完全替代鱼粉, 还需在实际生产应用中进行探索^[65-66]。与此同时, 近年来随着杂交鲤养殖技术的逐渐进步, 人们也越来越重视杂交鲤的生长性能。李法见等^[67]通过试验证明了桑叶可有效调节鱼体的脂质代谢。高胜男等^[68]的研究发现饲料添加低水平发酵桑叶显著增加杂交鳊末重, 并且适宜水平的发酵桑叶能够促进鱼体增重。桑叶发酵后, 可以改善适口性, 提高蛋白质的利用率, 这就是低水平发酵桑叶能够提高鱼体增重的原因。同时, 在试验中还发现随着发酵桑叶水平的提高, 杂交鳊血清总胆固醇、甘油三酯及血液葡萄糖含量呈下降趋势, 但发酵桑叶的最适添加量还有待进一步研究。

4 展望

中国是桑的故乡, 目前桑树的种植面积约为 66.7 万 hm^2 , 每年生产超过 1500 万 t 桑叶, 资源十分丰富^[61]。近年来, 随着科研人员对桑叶研究的不断深入, 其降血糖、降胆固醇、通便利尿等功效的作用机理逐渐被阐明, 同时, 桑叶茶、桑叶饮料、桑叶挂面等产品的研制为桑叶的综合利用提供了新思路。当前, 桑叶发酵后得到的物质引起了研究人员的关注, 并已在养猪、肉鸡生产、水产养殖中得到了应用, 但发酵桑叶在食品中的应用还较少, 同时其在动物体内的具体作用机理还未明确, 今后应加大对发酵桑叶的研

究,使其在食品领域得到更为广泛的应用并能开发出能改善动物身体性能的饲料。除此之外,桑叶的抗衰老及防癌的功效应得到研究人员足够的重视,开发适合老年人饮食的保健食品应是今后科研人员的另一个研究方向。综上所述,实现桑叶的资源高效利用产业化,开展其资源高值化加工共性关键技术创新与产品开发以增加其利用价值和经济效益,是实现桑叶综合利用的必由之路。

参考文献

- [1] 张震,许永进,张善.海南桑叶资源营养指标及危害因子分析[J].食品工业科技,2020,41(13):227-233,240. [ZHANG Zhen, XU Yongjin, ZHANG Shan. Analysis of nutritional indexes and harmful factors of Mulberry leaf resources in hainan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(13): 227-233, 240.]
- [2] 詹力,王星敏,唐付杰.复合酶催化强化浸提桑叶黄酮类物质研究[J].食品工业科技,2020,41(17):141-145,152. [ZHAN Li, WANG Xingmin, TANG Fujie. Study on the enhanced extraction of flavonoids from Mulberry leaves catalyzed by complex enzymes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(17): 141-145, 152.]
- [3] 曾桥,韦承伯,韩国锋,等.桑叶茯砖茶多糖的响应面提取工艺优化及其体外抗氧化降血脂作用[J].食品工业科技,2018,39(18):193-200. [ZENG Qiao, WEI Chengbo, HAN GuoFeng, et al. Optimization of the response surface extraction process of polysaccharides from Mulberry leaf and Fuzhuan tea and its *in vitro* anti-oxidation and hypolipidemic effects[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(18): 193-200.]
- [4] 李佳伟,张宇聪,张素葵,等.桑叶粉中钙的含量测定及生物利用[J].食品工业科技,2018,39(7):25-29. [LI Jiawei, ZHANG Yucong, ZHANG Sukui, et al. Determination of calcium in Mulberry leaf powder and its biological utilization[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 25-29.]
- [5] WU Shengjun. Mulberry leaf polysaccharides suppress renal fibrosis[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 3(124): 1090-1093.
- [6] WEN Lingrong, SHI Dingding, ZHOU Ting, et al. Identification of two novel prenylated flavonoids in mulberry leaf and their bioactivities[J]. Food Chemistry, 2020: 126236.
- [7] 吴美音,陈淑宁,高洁,等.菊苣、葛根、桑叶配方对高尿酸合并关节炎小鼠的降尿酸和痛风性关节炎的干预效果[J].食品工业科技,2020,41(16):308-313. [WU Meiyin, CHEN Shuning, GAO Jie, et al. Intervention effects of chicory, kudzu root and Mulberry leaf formula on reducing uric acid and gouty arthritis in mice with hyperuric acid combined with arthritis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 308-313.]
- [8] 雷诗涵,屈廷啟,胡艳玲,等.盐渍-醋蒸-发酵法制备功能性桑叶茶及其性质研究[J].食品工业科技,2020,41(11):177-180. [LEI Shihan, QU Tingqi, HU Yanling, et al. Preparation of functional Mulberry leaf tea by salting-vinegar steaming-fermentation method and its properties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(11): 177-180.]
- [9] ZHU Zeng, JIANG JunJie, Yu Jie, et al. Effect of dietary supplementation with mulberry (*Morus alba* L.) leaves on the growth performance, meat quality and antioxidative capacity of finishing pigs[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18(1): 143-151.
- [10] POTHINUCH P, MIYAMOTO A, NGUYEN H T T, et al. Vasodilatory effects of mulberry (*Morus* spp.) leaf extract on porcine cerebral arteries *in vitro*: Possible underlying mechanisms[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 11(38): 151-159.
- [11] 韦芳媚,陈春,李超,等.桑叶提取物、茶多酚及其复配物的抗氧化和降血糖活性[J].食品工业科技,2018,39(21):299-305. [WEI Fangmei, CHEN Chun, LI Chao, et al. Antioxidant and hypoglycemic activity of mulberry leaf extract, tea polyphenols and their combinations[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 299-305.]
- [12] 韩利民,张吉,赵海龙.糖尿病肾病的发病机制、诊断及治疗研究进展[J].现代医药卫生,2021,37(3):404-407. [HAN Jimin, ZHANG Ji, ZHAO Hailong. Research progress in the pathogenesis, diagnosis and treatment of diabetic nephropathy[J]. Modern Medicine and Health, 2021, 37(3): 404-407.]
- [13] ASANO N, TOMIOKA E, KIZU H, et al. Sugars with nitrogen in the ring isolated from the leaves of *Morus bombycis*[J]. Carbohydr Res, 1992, 237(1): 235-245.
- [14] ZHANG Linwei, SU Shulan, ZHU Yue, et al. Mulberry leaf active components alleviate type 2 diabetes and its liver and kidney injury in db/db mice through insulin receptor and TGF- β /Smads signaling pathway[J]. Biomedicine & Pharmacotherapie, 2019, 4(112): 108675.
- [15] 黄思莹,黄春萍,刘旭,等.桑叶槲皮素对D-半乳糖致衰老小鼠抗氧化能力及肠道菌群的影响[J].四川师范大学学报(自然科学版),2020,43(3):373-377. [HUANG Siying, HUANG Chunping, LIU Xu, et al. Effects of Mulberry leaf quercetin on antioxidant capacity and intestinal microflora in D-galactose-induced aging mice[J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science Edition), 2020, 43(3): 373-377.]
- [16] 季涛,宿树兰,郭盛,等.桑叶防治糖尿病的效应成分群及其作用机制研究进展[J].中草药,2015,46(5):778-784. [JI Tao, SU Shulan, GUO Sheng, et al. Research progress in the effect of Mulberry leaf on the prevention and treatment of diabetes and its mechanism of action[J]. Chinese Traditional and Herbal Medicine, 2015, 46(5): 778-784.]
- [17] 蒋小碟,谢谦,宋泽和,等.发酵桑叶的营养价值及其在动物生产上的应用[J].动物营养学报,2020,32(1):54-61. [JIANG Xiaodie, XIE Qian, SONG Zehe, et al. Nutritional value of fermented mulberry leaves and its application in animal production[J]. Acta Animal Nutrition, 2020, 32(1): 54-61.]
- [18] 杨海霞,朱祥瑞.1-脱氧野尻霉素(DNJ)的研究进展[J].蚕桑通报,2002,34(1):6-10. [YANG Haixia, ZHU Xiangrui. Research progress of 1-deoxynojirimycin (DNJ)[J]. Silkworm Bulletin, 2002, 34(1): 6-10.]
- [19] LU Quanyou, YANG Lei, HUANG Jinshan, et al. Identification and subcellular location of an RNA silencing suppressor encoded by mulberry crinkle leaf virus[J]. Virology, 2019, 1(526): 45-51.
- [20] 文晋,邹莉芳,王玲,等.桑叶生物碱粗提液对高脂饮食小

- 鼠胆固醇合成代谢的影响[J]. 蚕业科学, 2019, 45(3): 377-385.
- [WEN Jin, ZOU Lifang, WANG Ling, et al. Effects of crude extract of mulberry leaf alkaloids on cholesterol anabolism in high-fat diet mice[J]. Sericulture Science, 2019, 45(3): 377-385.]
- [21] 施秀. 桑叶提取物对腹腔蛋黄致高血脂小鼠模型的影响研究[J]. 海峡药学, 2011, 23(1): 27-29. [SHI Xiu. Study on the effect of Mulberry leaf extract on mouse model of hyperlipidemia induced by abdominal egg yolk[J]. Strait Pharmacy, 2011, 23(1): 27-29.]
- [22] ZHU Gaoming, QI Cui, WANG Litao, et al. A green and integrated strategy for enhanced phenolic compounds extraction from mulberry (*Morus alba* L.) leaves by deep eutectic solvent[J]. Microchemical Journal, 2020, 5(154): 104598.
- [23] 王灿, 左艇, 王琳琳. 桑叶黄酮抗皮肤衰老实验研究[J]. 中国医药导报, 2011, 8(3): 30-32. [WANG Can, ZUO Ting, WANG Linlin. Experimental study on the anti-aging effect of Mulberry leaf flavonoids[J]. China Medical Herald, 2011, 8(3): 30-32.]
- [24] WANG B, YANG C T, DIAO Q Y, et al. The influence of mulberry leaf flavonoids and *Candida tropicalis* on antioxidant function and gastrointestinal development of preweaning calves challenged with *Escherichia coli* O141: K99[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 7(101): 6098-6018.
- [25] 罗丹, 林娅. 饮食疗法对癌症病人血液中微量元素水平的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(3): 756-760. [LUO Dan, LIN Ya. Effects of diet therapy on the levels of trace elements in the blood of cancer patients[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2019, 10(3): 756-760.]
- [26] ARIF B, DIAH L A, FERRY F S, et al. The formulation of lozenge using black mulberries (*Morus nigra* L.) leaf extract as an α -glucosidase inhibitor[J]. Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 2020, 12(2): 171-176.
- [27] 张齐. 桑叶黄酮的提取及黄酮类成分桑色素的抗癌活性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018. [Zhang Qi. Extraction of mulberry leaf flavonoids and study on the anticancer activity of flavonoids Morin [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.]
- [28] 王春莉, 陈忠琴, 徐蕾蕾, 等. 绿色合成桑叶银纳米粒及其抗菌抗癌活性[J]. 精细化工, 2021, 38(1): 130-137. [WANG Chunli, CHEN Zhongqin, XU Leilei, et al. Green synthetic Mulberry leaf silver nanoparticles and their antibacterial and anticancer activities[J]. Fine Chemical Industry, 2021, 38(1): 130-137.]
- [29] LI Zhanfu, Chen Xiaochun, Chen Yongjun, et al. Effects of dietary mulberry leaf extract on the growth, gastrointestinal, hepatic functions of Chinese giant salamander (*Andrias davidianus*) [J]. Aquaculture Research, 2020, 6(51): 2613-2623.
- [30] 林森, 罗国庆, 王振江, 等. 桑叶对动物健康的作用及在动物生产中的应用[J]. 广东农业科学, 2020, 47(2): 125-132. [LIN Sen, LUO Guoqing, WANG Zhenjiang, et al. The effects of mulberry leaves on animal health and its application in animal production[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(2): 125-132.]
- [31] MANTOVANI A. Wandering pathways in the regulation of innate immunity and inflammation[J]. Journal of Autoimmunity, 2017, 12(85): 1-5.
- [32] RAMADAN E M, ABOU-TALEB K A, GALAL G F, et al. Antibacterial, antibiofilm and antitumor activities of grape and mulberry leaves ethanolic extracts towards bacterial clinical strains[J]. Annals of Agricultural Sciences, 2017, 2(62): 151-159.
- [33] 王祖文, 秦樱瑞, 黄先智, 等. 桑叶-苦瓜混合粉对正常小鼠血糖血脂和抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 166-172. [WANG Zuwen, QIN Yingrui, HUANG Xianzhi, et al. Effects of Mulberry leaf-bitter melon mixed powder on blood sugar, blood lipid and antioxidant capacity of normal mice[J]. Food Science, 2019, 40(9): 166-172.]
- [34] 黄思雨. 绿茶、桑叶和臭黄荆叶细粉抗氧化、抗炎及肠道益生性探究[D]. 重庆: 西南大学, 2020. [HUANG Siyu. Research on the antioxidant, anti-inflammatory and intestinal probiotic properties of green tea, Mulberry leaf and stinky yellow wattle leaf powder [D]. Chongqing: Southwest University, 2020.]
- [35] 陈梅楠, 谭亚国, 刘腾飞, 等. 桑叶复合袋泡茶茶的研制[J]. 落叶果树, 2020, 52(1): 14-16. [CHEN Meinan, TAN Yaguo, LIU Tengfei, et al. Development of Mulberry leaf compound teabag[J]. 落叶果树, 2020, 52(1): 14-16.]
- [36] 吴劲轩, 殷浩, 王香君, 等. 桑叶乌龙茶加工工艺初探[J]. 四川蚕业, 2019, 47(2): 49-50, 48. [WU Jinxuan, YIN Hao, WANG Xiangjun, et al. Preliminary study on the processing technology of Mulberry leaf oolong tea[J]. Sichuan Sericulture, 2019, 47(2): 49-50, 48.]
- [37] 王蔚新, 祝艳梅. 桑叶金银花复合保健饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(7): 65-68. [WANG Weixin, ZHU Yanmei. Development of Mulberry leaf honeysuckle compound health drink[J]. Food Research and Development, 2013, 34(7): 65-68.]
- [38] 刘万顺, 马雪侠, 刘晓林, 等. 一种桑叶保健饮料的研制及发展前景[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(16): 115-118. [LIU Wanshun, MA Xuexia, LIU Xiaolin, et al. Research and development prospects of a Mulberry leaf health beverage[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2014, 20(16): 115-118.]
- [39] ZHANG Huihui, LI Xin, XU Zisong, et al. Toxic effects of heavy metals Pb and Cd on mulberry (*Morus alba* L.) seedling leaves: Photosynthetic function and reactive oxygen species (ROS) metabolism responses[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 6(195): 110469.
- [40] 陶思洁. 桑叶面的制备及其功能成分测定[C]// 中国蚕学会、国家蚕桑产业技术体系. 第十二届家(柞)蚕遗传育种暨良种繁育学术研讨会论文集(摘要汇编). 中国蚕学会、国家蚕桑产业技术体系: 中国蚕学会, 2016: 218. [TAO Sijie. Preparation of mulberry leaf surface and determination of its functional components[C]// China Sericulture Society, National Sericulture Industry Technology System. The Twelfth Domestic Silkworm Genetic Breeding and Fine Breeding Symposium Collection (Abstracts). China Sericulture Society, National Sericulture Industry Technology System: China Sericulture Society, 2016: 218.]
- [41] 杨海霞, 朱祥瑞, 陆洪省. 桑叶保健制品开发利用研究进展[J]. 科技通报, 2003(1): 72-76. [YANG Haixia, ZHU Xiangrui,

- LU Hongsheng. Research progress in the development and utilization of Mulberry leaf health products[J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2003(1): 72-76.]
- [42] ANISHA G S, PREMA P. Production of α -galactosidase by a novel actinomycete *Streptomyces griseoloalbus* and its application in soymilk hydrolysis[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2007, 23(6): 859-864.
- [43] YU Yanfang, ZHANG Bing, XIA Yuhui, et al. Bioaccessibility and transformation pathways of phenolic compounds in processed mulberry (*Morus alba* L.) leaves after *in vitro* gastrointestinal digestion and faecal fermentation[J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 60(4): 103406.
- [44] 肖洪, 黄先智, 丁晓雯, 等. 不同菌种比例对发酵桑叶茶生物活性成分含量的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(24): 205-208, 224. [XIAO Hong, HUANG Xianzhi, DING Xiaowen, et al. The effect of different strain ratios on the content of bioactive components in fermented mulberry leaf tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(24): 205-208, 224.]
- [45] 朱佳文, 邱时秀, 李峪鹏, 等. 复合芽孢杆菌对桑叶发酵品质的影响[J]. *中国饲料*, 2021(3): 122-125. [ZHU Jiawen, QIU Shixiu, LI Yupeng, et al. The effect of compound *Bacillus* on the fermentation quality of mulberry leaves[J]. *China Feed*, 2021(3): 122-125.]
- [46] HOU Q R, ZHANG J, CHEN T, et al. Effects of dietary supplement of mulberry leaf (*Morus alba*) on growth and meat quality in rabbits[J]. 2020, 54(3): 317-321.
- [47] 邹凡华, 刘青松. 桑叶固态发酵前后槲皮素和山奈酚的含量测定[J]. *中医学报*, 2018, 33(9): 1733-1736. [ZOU Fanhua, LIU Songqing. Determination of the contents of saccharin and kaempferol before and after solid-state fermentation of Mulberry leaves[J]. *Journal of Chinese Medicine*, 2018, 33(9): 1733-1736.]
- [48] 董志浩, 原现军, 闻爱友, 等. 添加乳酸菌和发酵底物对桑叶青贮发酵品质的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(6): 8. [DONG Zhihao, YUAN Xianjun, WEN Aiyu, et al. Effects of adding lactic acid bacteria and fermentation substrates on the fermentation quality of Mulberry leaf silage[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(6): 8.]
- [49] 陈永丽, 高畅, 洛桑卓玛, 等. 米曲霉发酵桑叶茶的工艺优化[J]. *食品科技*, 2020, 45(1): 114-121. [CHEN Yongli, GAO Chang, LUOSANG Zhuoma, et al. Process optimization of *Aspergillus oryzae* fermentation of mulberry leaf tea[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(1): 114-121.]
- [50] 肖洪, 黄先智, 沈以红, 等. 不同发酵条件对发酵桑叶茶生物活性成分含量的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(23): 216-220. [XIAO Hong, HUANG Xianzhi, SHEN Yihong, et al. Effects of different fermentation conditions on the content of bioactive components in fermented mulberry leaf tea[J]. *Food Science*, 2013, 34(23): 216-220.]
- [51] 张振祥, 王树红. 桑叶多糖对断奶仔猪免疫机能的影响[J]. *今日畜牧兽医*, 2019, 35(2): 17-18. [ZHANG Zhenxiang, WANG Shuhong. Effects of Mulberry leaf polysaccharides on immune function of weaned piglets[J]. *Today Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019, 35(2): 17-18.]
- [52] 林标声, 吴江文, 戴爱玲, 等. 银杏叶-桑叶中药发酵制剂防治仔猪病毒性胃肠炎的应用效果研究[J]. *中国兽医杂志*, 2016, 52(9): 56-58. [LIN Biaosheng, WU Jiangwen, DAI Ailing, et al. Study on the application effect of ginkgo biloba-mulberry traditional Chinese medicine fermentation preparation on prevention and treatment of viral gastroenteritis in piglets[J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2016, 52(9): 56-58.]
- [53] 杨刚. 桑叶粉对育肥猪生产性能和肉质风味的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018. [YANG Gang. The effect of Mulberry leaf powder on the production performance and meat flavor of fattening pigs[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.]
- [54] 李婉涛, 王义翠, 徐秋良, 等. 杜仲和桑叶提取物对育肥猪生长性能及猪肉品质的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(10): 157-160. [LI Wantao, WANG Yicui, XU Qiuliang, et al. Effects of eucommia and Mulberry leaf extract on the growth performance of fattening pigs and pork quality[J]. *Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018(10): 157-160.]
- [55] ZHAO X J, LIN L, LUO Q L, et al. 桑叶多糖对早期断奶仔猪生长性能、腹泻、血液指标和肠道菌群的影响[J]. *饲料博览*, 2015(7): 6.
- [56] 黄静, 卞哲师, 廖森泰, 等. 桑叶粉和发酵桑叶粉对胡须鸡生长性能、血清生化指标及抗氧化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2016(6): 1877-1886. [HUANG Jing, KUANG Zhesi, LIAO Sentai, et al. Effects of Mulberry leaf powder and fermented Mulberry leaf powder on growth performance, serum biochemical indexes and antioxidant indexes of bearded chickens[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2016(6): 1877-1886.]
- [57] GE Qi, CHEN Liang, TANG Min, et al. Analysis of Mulberry leaf components in the treatment of diabetes using network pharmacology[J]. *European Journal of Pharmacology*, 2018, 8(833): 50-62.
- [58] PENG C H, LIN H T, CHUNG D J, et al. Mulberry leaf extracts prevent obesity-induced NAFLD with regulating adipocytokines, inflammation and oxidative stress[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2018, 26(2): 778-787.
- [59] TU Jiaming, SHI Dingding, WEN Lirong, et al. Identification of moracin N in mulberry leaf and evaluation of antioxidant activity[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2019, 10(132): 110730.
- [60] BYOUNG O C, DENIS N C, HONG H Y, et al. Gamma irradiation enhances biological activities of mulberry leaf extract[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2017, 4(133): 21-27.
- [61] 张金龙, 张宁, 杨雪, 等. 发酵桑叶粉对肉鸡生长性能、血清生化指标及肠道组织形态结构的影响[J]. *饲料工业*, 2017, 38(20): 38-42. [ZHANG Jinlong, ZHANG Ning, YANG Xue, et al. Effects of fermented Mulberry leaf powder on growth performance, serum biochemical indexes and intestinal tissue morphology and structure of broilers[J]. *Feed Industry*, 2017, 38(20): 38-42.]
- [62] 张倩, 张立华. 桑叶的化学成分及开发利用进展[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(15): 16-19. [ZHANG Qian, ZHANG Lihua. The chemical constituents of mulberry leaves and their development and utilization[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, 59(15): 16-19.]

- [63] 陈文燕, 陈拥军, 彭祥和, 等. 罗非鱼低鱼粉饲料中桑叶发酵蛋白替代鱼粉的研究[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(12): 3968–3974. [CHEN Wenyan, CHEN Yongjun, PENG Xianghe, et al. Research on Mulberry leaf fermented protein in low fish meal feed for tilapia instead of fish meal[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(12): 3968–3974.]
- [64] 徐韬, 彭祥和, 陈拥军, 等. 发酵桑叶替代鱼粉对大口黑鲈生长、脂质代谢与抗氧化能力的影响[J]. *水产学报*, 2016, 40(9): 1408–1415. [XU Tao, PENG Xianghe, CHEN Yongjun, et al. Effects of replacing fish meal with fermented Mulberry leaves on growth, lipid metabolism and antioxidant capacity of black bream[J]. *Journal of Fisheries*, 2016, 40(9): 1408–1415.]
- [65] 蔡清武. 杂交鳢人工养殖技术[J]. *农村新技术*, 2020(4): 29–30. [CAI Qingwu. Artificial breeding technology of hybrid snakehead snakehead[J]. *New Rural Technology*, 2020(4): 29–30.]
- [66] 陈建国, 步文磊, 来伟旗, 等. 桑叶多糖降血糖作用及其机制研究[J]. *中草药*, 2011, 42(3): 515–520. [CHEN Jianguo, BU Wenlei, LAI Weiqi, et al. Study on the hypoglycemic effect of Mulberry leaf polysaccharide and its mechanism[J]. *Chinese Traditional and Herbal Medicine*, 2011, 42(3): 515–520.]
- [67] 李法见, 杨阳, 陈文燕, 等. 桑叶对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3485–3493. [LI Fajian, YANG Yang, CHEN Wenyan, et al. Effects of Mulberry leaf on tilapia growth performance, lipid metabolism and muscle quality[J]. *Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(11): 3485–3493.]
- [68] 高胜男, 马卉佳, 徐韬, 等. 高脂饲料中添加发酵桑叶对杂交鳢生长性能、体组成及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(9): 3422–3428. [GAO Shengnan, MA Huijia, XU Tao, et al. Effects of adding fermented Mulberry leaves to high-fat feed on the growth performance, body composition and serum biochemical indexes of hybrid snakehead[J]. *Acta Animal Nutrition*, 2017, 29(9): 3422–3428.]