

油菜蜂花粉破壁技术研究进展

Research progress on wall-breaking technology of rape bee pollen

郑 慧^{1,2} 杨思琪¹ 孙 艳¹ 李顺祥^{1,2}

ZHENG Hui^{1,2} YANG Si-qi¹ SUN Yan¹ LI Shun-xiang^{1,2}

(1. 湖南中医药大学药学院食品药品工程系, 湖南 长沙 410208;

2. 湖南省中药活性物质筛选工程技术研究中心, 湖南 长沙 410208)

(1. Department of Food and Drug Engineering, College of Pharmacy, Hunan University of Traditional Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 2. Hunan Province Engineering Research Center of Bioactive Substance Discovery of Traditional Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China)

摘要:文章综述了油菜蜂花粉的细胞结构、破壁形态及其破壁方法,分析对比了各种破壁方法的优劣,总结了破壁油菜蜂花粉的应用开发现状,并对后期油菜蜂花粉破壁技术的研究进行了展望。

关键词:油菜;蜂花粉;破壁形态;破壁方法;应用开发

Abstract: This paper summarized the cell structure, wall breaking morphology and wall-breaking methods of rape bee pollen, analyzed and compared the advantages and disadvantages of various wall-breaking methods, summarized the application and development status of wall breaking rape bee pollen, and prospected the research on wall-breaking technology of rape bee pollen in the later stage.

Keywords: rape; bee pollen; wall-breaking morphology; wall-breaking method; application development

中国是世界上认识和应用花粉最早的国家,在《神农本草经》《本草纲目》《唐本草》等古籍中就有花粉的应用记载。大多数的天然花粉人工采集较为困难,从花粉的资源量和品种数量上考虑,虫媒花粉是可开发性最好的花粉种类。

蜂花粉是蜜蜂从蜜粉源植物花蕊内采集的花粉粒与其自身腺体分泌物加工而成的一种混合物,富含蛋白质、维生素、酶、黄酮等活性成分,具有增强免疫力^[1]、抗氧化^[2-3]、抗炎症、抗肿瘤、降血糖等功效,在食用、药用、化妆品等方面具有独特的研究价值和广阔的应用前景^[4-5]。将蜜蜂采集的不同蜜粉源植物的花粉加工成不

同品种的蜂花粉,其活性成分有显著差异,作用功效也有所不同,如油菜蜂花粉在前列腺疾病的治疗方面具有独特的疗效^[6];茶花蜂花粉有较好的美容效果^[7];荞麦蜂花粉具有预防心脑血管疾病的功效等^[8]。但蜂花粉的细胞壁致密、坚硬,在一定程度上限制了蜂花粉的开发利用,是蜂花粉深加工产品研发中的一个技术壁垒^[9]。

目前蜂花粉的破壁方法主要有物理破壁、化学破壁、生物破壁^[10-12]以及复合破壁^[13]。因不同品种的蜂花粉在细胞结构方面有显著差异,故同一种破壁方法对不同品种蜂花粉的破壁效果不同^[14-15]。目前已有一些关于蜂花粉破壁技术相关的综述,但并没有针对单个品种的,忽略了不同品种蜂花粉之间破壁技术的差异性。中国是主要的蜜粉源作物品种,目前中国油菜种植面积居世界首位,油菜蜂花粉的产量占全国蜂花粉总产量的 60% 以上^[16]。同时油菜蜂花粉已被中国卫生部纳入了“作为普通食品管理的食品新资源名单”,有较好的开发基础,是中国开发利用最多的蜂花粉品种^[17]。文章拟对油菜蜂花粉破壁技术进行综述,以期为油菜蜂花粉的精深加工提供依据。

1 油菜蜂花粉的细胞结构及破壁形态

1.1 细胞结构

作为几种常见的蜜粉源植物代表,油菜、莲花、杏花、茶、五味子、荞麦蜂花粉细胞在形态结构方面具有明显的区别(图 1),就花粉粒的形状大小而言,莲花的花粉粒最大,为 $(50 \sim 70) \mu\text{m} \times (50 \sim 70) \mu\text{m}$,呈圆球形,而其他 5 种花粉均呈长椭球形;就花粉外壁表面纹饰而言,6 种花粉分别具有网状、脑纹状、细条纹状、皱波状—拟网状、条纹状、细网状的外壁纹饰;就萌发沟数量而言,大多蜜粉源植物花粉具有 3 个萌发沟,但也有少数花粉不同,如芝麻花粉粒具有 12 条萌发沟等^[18]。

基金项目:湖南省自然科学基金青年项目(编号:2020JJ5410)

作者简介:郑慧,女,湖南中医药大学讲师,硕士。

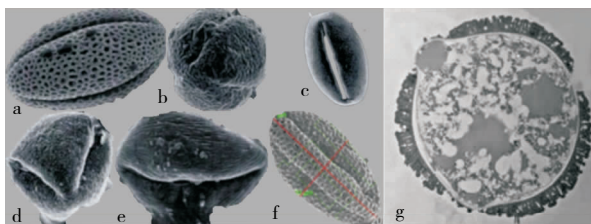
通信作者:李顺祥(1964—),男,湖南中医药大学教授,博士生导师,博士。E-mail:lishunxiang@hotmail.com

收稿日期:2021-03-30

油菜蜂花粉细胞自然状态下呈橄榄球状, 粉粒大小为 $(30 \sim 40) \mu\text{m} \times (20 \sim 25) \mu\text{m}$ [图 1(a)], 吸水后会变成圆球形状。油菜蜂花粉的细胞壁分内壁和外壁 [图 1(g)], 多由不易被消化的组分构成, 内壁主要为纤维素、果胶和蛋白; 外壁主要为孢粉素和纤维素。外壁的孢粉素是一种高分子氧化聚合物, 抗高温、高压和耐酸碱腐蚀, 使得蜂花粉外壁难以被分解, 成为阻碍蜂花粉营养成分溶出的主要结构。油菜蜂花粉的壁上等距离分布 3 个萌发孔, 萌发孔处只有内壁而缺少外壁, 内壁似一层弹性膜, 包裹着内容物^[21-22]。内壁的组成成分相比外壁较容易被破解, 故在某些条件下萌发孔可作为蜂花粉破壁的关键部位。

1.2 油菜蜂花粉破壁形态

油菜蜂花粉破壁时, 多有以下 4 种情况 (图 2): ① 内、外壁均破裂; ② 只有内壁裂解, 内容物从萌发孔处溢出; ③ 只有外壁破裂, 内壁包裹的内容物团块暴露出来; ④ 内外壁均未破裂: 内壁包裹着内容物, 在萌发孔处外突或外吐; 内容物以分子状态通过萌发孔发生外渗, 引起花粉细胞缩小。目前, 一般采用光学显微镜、扫描电镜及透射电镜通过肉眼观察油菜蜂花粉的破壁情况, 并通过观察计数计算蜂花粉的破壁率。



a. 油菜蜂花粉 b. 莲花蜂花粉 c. 杏花蜂花粉 d. 茶花粉花粉
e. 五味子蜂花粉 f. 荞麦蜂花粉 g. 油菜蜂花粉

图 1 蜂花粉细胞结构图^[15,19-20]

Figure 1 Cell structure of bee pollen

2 油菜蜂花粉的破壁方法

2.1 物理破壁法

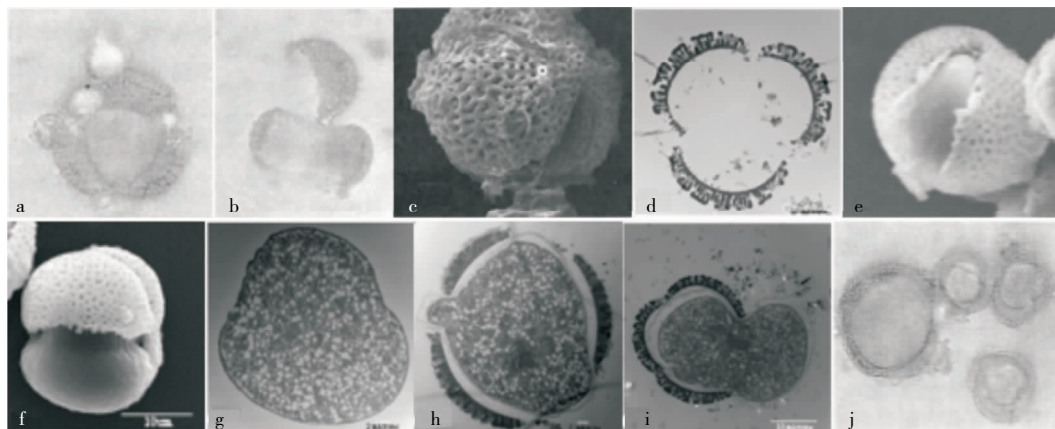
2.1.1 机械破壁 机械破壁是利用设备产生的各种物理作用力, 使得蜂花粉粒径减小而实现破壁的方法, 根据作用力的不同, 又分为气流式、磨介式和剪切式超微粉碎。

气流式粉碎是借助高速气流, 使蜂花粉颗粒间或者颗粒与固定板间相互碰撞而达到超细粉碎目的。延莎等^[26]研究表明气流超微粉碎对油菜蜂花粉的破壁效果极好, 电镜下几乎无完整花粉粒存在, 且经该法破壁后, 蜂花粉的抗氧化活性功能显著增强。

磨介式粉碎是利用蜂花粉颗粒与研磨介质之间相对运动产生的挤压力和剪切力而实现粉碎。球磨机、振动磨和搅拌磨是磨介式粉碎的典型设备。其中, 球磨机主要靠筒体旋转以及磨介的自重来实现对物料的粉碎。曲成^[27]研究了球磨工艺中的钢珠类型、研磨时间和固液比对油菜蜂花粉破壁的影响, 在最佳条件下其破壁率可达 92.5%。王林等^[28]研究表明在油菜、茶花、荷花和玫瑰 4 种蜂花粉中, 球磨破壁的油菜蜂花粉游离氨基酸含量最高。振动磨主要借助磨介的高频振动来粉碎物料, 与球磨机相比其粉碎粒径更低, 破壁率更高。

剪切式粉碎如高剪切乳化技术, 是使蜂花粉细胞壁在来回多次受剪切机定子、转子狭窄的间隙中的强烈剪切力、挤压力、摩擦力和撞击力等作用而破裂。李丽等^[29-30]研究并确定了高剪切乳化技术破壁油菜蜂花粉的最佳工艺条件: 破壁时间 3 min、高剪机转速 22 000 r/min、液料比 3:1 (mL/g), 该条件下花粉破壁率达到 99% 以上, 且油菜蜂花粉黄酮的提取量与破壁率呈正相关, 破壁有利于油菜蜂花粉中黄酮的溶出。

2.1.2 温差破壁 温差破壁是利用低温下蜂花粉细胞外壁发生脆化, 且胞内水分形成的冰晶刺破花粉壁而实现破壁。对蜂花粉进行反复的低温冷冻与高温解冻, 以提



a、b、j 为 OM 图^[23] c、e、f 为 SEM 图^[20,24-25] d、g、h、i 为 TEM 图^[24]

图 2 油菜蜂花粉破壁形态图

Figure 2 Wall-breaking morphology of rape bee pollen

高破壁效果。依据冷冻与解冻方式的不同,分为常规温差法、液氮淬冷法和微波法。

常规温差法是指用冰箱冷冻与热水解冻处理蜂花粉的破壁方法。刘威^[31]研究发现冷冻温度、冷冻时间、解冻温度和加热时间对不同蜂花粉的影响不同,其中解冻温度对油菜蜂花粉破壁率的影响最为显著。阮征等^[32]比较了油菜蜂花粉的超声法、酶法、温差破壁法及复合法的破壁率,在试验条件下温差法破壁率超过 76%,破壁效果优于超声法和酶解法。同时,油菜蜂花粉经温差破壁后,蛋白质、脂肪等主要营养素均略有提高^[33]。

液氮淬冷法是利用液氮对油菜蜂花粉进行超低温快速冷冻、解冻以达到破壁的效果。周顺华等^[34]研究了外包材料、解冻温度和反复冻结解冻次数对液氮法破壁油菜蜂花粉的影响,在最佳破壁工艺下破壁率可达 94.97%。

微波法在温差破壁中主要应用在低温处理后的微波解冻,蜂花粉颗粒吸收微波能使胞内温度迅速升高而达到破壁的方法。党云刚^[35]探究了解冻时间、次数、温度及微波功率对油菜蜂花粉微波破壁的影响,确定了在解冻温度 60℃,解冻时间 8 min、微波功率 540 W、微波处理 4 次下的破壁率为 85.53%。

2.1.3 压差破壁 压差破壁是借助液体低压汽化原理,蜂花粉经高压处理再突然降压,细胞间隙流体迅速汽化产生的巨大压差,而使蜂花粉细胞破裂。包括超临界 CO₂破壁法和蒸汽爆破破壁法。

超临界 CO₂破壁是利用临界流体的高渗透能力和对压力的敏感性,使其在高压条件下渗入蜂花粉细胞,再降压后汽化,细胞内外产生较大压差而胀破花粉细胞。因超临界流体较好的溶解能力,在蜂花粉中超临界 CO₂主要用于脂类物质的萃取^[36]。研究^[37-38]表明,压力越高,破壁效果越好,45 MPa 下蜂花粉细胞已被完全破坏,且破壁前后脂肪酸组成差异显著。

蒸汽爆破法是将蜂花粉用蒸汽加热并维持一定时间高压,当高压瞬间解除时,细胞孔隙中的过热液体被迅速汽化,体积膨胀而破裂。倪辉等^[39]研究表明蒸汽爆破技术在工艺放大试验中蜂花粉的破壁率保持在 41%左右。

2.1.4 脉冲电场破壁 脉冲电场破壁主要靠两种作用使蜂花粉细胞发生破裂:① 通过脉冲放电在膜内外产生大的电势差而引发电穿孔现象;② 高频变化的电场在膜表面产生的振荡效应。熊夏宇等^[25]通过观察脉冲电场处理后的油菜蜂花粉细胞形态变化,表明脉冲电场的破壁效果显著。王满生等^[40]研究报道了经脉冲电场处理后油菜蜂花粉醇提物中槲皮素和山奈酚的含量有所提高。

2.1.5 超声破壁 超声破壁是利用超声波空化作用产生的气泡的强烈振荡和气泡崩溃产生的冲击力,使花粉壁破裂、脱落。王林^[28]采用超声波对茶花、荷花、油菜花和玫瑰 4 种蜂花粉进行破壁处理,结果表明处理后油菜蜂

花粉的粒径最小,达 8.39 μm,电镜下其外壁完全被破碎打开;且与其他 3 种蜂花粉相比,油菜蜂花粉经破壁处理后总黄酮含量及增加率最高。Dong 等^[24]在超声功率 1 000 W、频率 80 kHz、48℃下对油菜蜂花粉进行破壁处理,电镜观察表明超声波可将外壁破碎,对内壁作用效果不明显。阮征等^[32]研究对比了超声处理与酶法、温差法及复合破壁方法,发现单独的超声处理破壁效果不佳,破壁率不足 53%。

2.2 化学破壁法

2.2.1 酸法破壁 酸法破壁是利用酸性溶剂调节蜂花粉水溶液的 pH,改变蛋白质电荷性使其易于分解;同时,通过浸泡使花粉吸收足够的水而发生内膜囊外突乃至外吐,从而实现花粉破壁。刘春纁^[41]根据人体胃液成分及其 pH 模拟胃液的酸性环境进行了油菜蜂花粉破壁探究,研究不同的混合试剂在不同温度、pH 值、花粉固液比和时间下的破壁情况,在最佳的理论条件下破壁率可达 95%。

2.2.2 碱法破壁 碱法破壁与酸法破壁原理相似,一方面通过使花粉吸收水而膨胀,出现外吐;另一方面是碱与细胞壁的某些成分发生水解与皂化反应,使细胞壁溶解而实现破壁。曲成^[27]研究发现水浸泡预处理在碱法破壁工艺中至关重要,且碱溶液的碱性和使用量均与蜂花粉的破壁率呈正相关。

2.3 生物破壁法

2.3.1 发酵破壁 发酵破壁法是以蜂花粉为氮源制作培养基,利用微生物发酵过程产生的酶来水解蜂花粉的细胞壁,从而达到破壁的目的。有学者^[42-43]通过测定破壁率及发酵过程中的酶活性,探究了酵母、灵芝、杏鲍菇和羊肚菌对油菜蜂花粉发酵破壁的机理,表明发酵破壁主要是果胶酶、蛋白酶和羧甲基纤维素酶作用的结果。Yan 等^[44]研究显示相比于乳酸菌及两菌种混合,酵母菌在改善蜂花粉营养特性方面更具优势。冯慧等^[45-46]证明了酵母发酵为油菜蜂花粉发酵法中最佳的破壁法,并确定最佳的发酵破壁条件为:干性酵母添加量 1%、固液比 1:1 (g/mL)、发酵时间 3 d、发酵温度 32℃。党云刚^[36]对油菜蜂花粉酵母发酵破壁工艺进行了优化,其破壁率达 77.63%。同时,酸辅助催化发酵破壁可极大缩短发酵破壁时间^[47]。

2.3.2 酶法破壁 酶法破壁通过向蜂花粉溶液中加入蛋白酶、纤维素酶以及果胶酶等一种或多种酶,酶解蜂花粉的外壁和内壁从而实现花粉破壁。Dong 等^[24]研究发现蛋白水解酶可降解油菜蜂花粉萌发孔处的内壁。王凯等^[48]通过对蛋白分散指数、可溶性糖含量的测定及镜检、粒径分析研究确定了果胶酶破壁的最佳条件:pH 3.5、温度 50℃。另有研究^[49-50]以破壁率、总黄酮得率和多糖提取率为指标,表明纤维素酶对油菜蜂花粉破壁有较好的作用。

受酶的专一性影响,单种酶的破壁效果有一定限度。为了提高酶法破壁率,较多学者^[51-53]研究了复合酶制剂对油菜蜂花粉的破壁影响,表明复合酶法破壁效果佳并且可有效保留蜂花粉的营养成分。研究^[54-55]发现,固液比、温度及 pH 值是油菜蜂花粉酶法破壁效率的主要影响因素。杨晓萍等^[56]研究对比了复合酶法与发酵法、温差法和机械法破壁,发现复合酶法的破壁率最高,达 92.86%。

2.3.3 仿生破壁 仿生法是以成熟蜂粮作为引子发酵剂,配以适当比例的水和蜂蜜制得酶化剂,向蜂花粉中加入酶化剂,利用其中的微生物体系对蜂花粉进行发酵破壁^[57]。阿依努尔·热西提等^[58]探究了发酵时间、发酵温度和蜂蜜加入量对蜂粮种子发酵液破壁能力的影响,得出最佳制备条件为:发酵时间 15 h、发酵温度 35 ℃、蜂蜜加入量 3.0%,此条件下油菜蜂花粉完全破壁率为 53.53%。

2.4 复合破壁法

单一使用上述几种方法存在破壁率低、耗时、营养损失等缺点,为了实现油菜蜂花粉相对高效的破壁,可采用复合破壁方法。党云刚^[35]探究了油菜蜂花粉的温差—超声破壁工艺,最佳条件下的破壁率达 88%以上,高于试验条件下的其他方法。Dong 等^[24]通过扫描电镜,发现蛋白酶—超声复合法可降解油菜蜂花粉的外壁和内壁,外壁沿 3 个萌发孔裂解为 3 块。任向楠^[59]从粒度、镜检及可溶性糖含量等 6 个方面探究了超声波辅助纤维素酶、蛋白酶破壁油菜蜂花粉,并对两种复合破壁法进行了工艺优化。Wu 等^[20]证明了超声波—高剪切破壁法可将油菜蜂花粉内、外壁彻底破碎,获得较高的营养物提取率。有学者^[15,60]采用超声—高剪切法对莲花、油菜、杏花、五味子及茶花 5 种蜂花粉进行破壁处理,并对比了破壁前后各种蜂花粉的营养及活性成分的变化,结果表明对比不同品种蜂花粉,同种营养因子的增加率不同,如甲硫氨酸、酪氨酸等的增加率最高的是油菜蜂花粉,总酚含量增加最高的是五味子蜂花粉,在油菜蜂花粉中的增加则相对较少。张红成等^[61]研究发现蛋白酶—超声波—高剪切复合破壁方法具有简单、稳定又高效的优势。

3 油菜蜂花粉的营养和活性成分研究

研究^[62]表明,油菜蜂花粉中的黄酮和酚酸具有强的自由基清除能力,是主要的抗氧化活性成分。多糖是油菜蜂花粉的抗肿瘤成分,主要通过提高白细胞介素 2 和肿瘤坏死因子 mRNA 的表达而发挥作用。脂肪酸在抗前列腺增生方面发挥主要作用^[63]。氨基酸可作为皮肤角质层中的湿润因子,可补充所需的胶原蛋白,从而起到美肤的效果^[64]。因此,对油菜蜂花粉的主要营养成分分析集中在蛋白质、糖和脂肪,功能成分主要集中在黄酮、酚酸、游离脂肪酸以及氨基酸。

对营养和活性成分的研究是实现油菜蜂花粉价值最大化的关键,同时也是促进油菜蜂花粉精深加工的推动力。因此在衡量蜂花粉破壁效果时,除了破壁率外,通常还要考虑破壁处理对营养及活性成分的影响。活性成分尽可能多地被保存,将有利于蜂花粉精深加工产品更好地发挥其功能作用,也大大节约了用于工业化生产的花粉资源。此外,油菜蜂花粉作为一种食品,破壁处理对其感官品质方面的影响也不容忽视。

4 破壁油菜蜂花粉的开发应用

研究表明,多种破壁方法可促进蜂花粉部分内含物的溶出,从而提高活性成分的作用效果^[65-67];此外,天然的花粉壁及壁外覆盖物对花粉内容物有一定的保护作用,人为破壁后可能使得内容物暴露而不利于蜂花粉的保质和贮藏^[68]。

目前破壁油菜蜂花粉已被广泛应用于药品有效成分提取、饮料制备、化妆品生产以及饲料加工中。油菜蜂花粉多被用于治疗前列腺增生,在提取其有效成分如总甾醇和油菜花碱时,均对油菜蜂花粉进行了破壁处理^[69-70]。冯瑛等^[71]发明了一款油菜蜂花粉酒,采用了蜂花粉的破壁工艺对原料进行处理。还有学者^[72]通过破壁获得油菜蜂花粉提取物,并将其应用于抗衰老护肤品。油菜蜂花粉近年来在畜牧业中也被广泛应用,将破壁的油菜蜂花粉添加至牲畜的饲料中,可有效提高牲畜的免疫力^[73]。

5 总结与展望

近年来油菜蜂花粉的破壁相关研究很多,越来越多的新型技术也被运用于蜂花粉的破壁研究中。其中,物理破壁法是目前应用最多的一类破壁方法,大多操作简便、耗时短,部分方法对设备有一定的要求;化学破壁法操作简单,但化学试剂可能对产品造成污染,且酸、碱度过高也会影响产品的感官品质;相对而言,生物破壁法条件温和,在某些条件下还能起到改善油菜蜂花粉特有的口感、提高感官品质,但一般耗时较长;复合破壁法一定程度上能综合上述各种方法的优点,可以在最大限度保持油菜蜂花粉营养及活性成分的基础上,获得最高的破壁率。从加工角度看,破壁处理可有效提高油菜蜂花粉中活性成分的溶出率,利于油菜蜂花粉的深度开发利用。

油菜蜂花粉开发利用中的另一个技术壁垒是蜂花粉的致敏性。有研究^[74]发现部分风媒花粉敏感者同样表现出对蜂花粉及其提取物的敏感性。这主要与其中的酶、附着在花粉壁上的杂菌等有关,且蜂花粉外壁也可能存在致敏原^[75]。因此,蜂花粉破壁的同时,也能破坏蜂花粉外壁的致敏源,降低蜂花粉的致敏性,将极大地推进蜂花粉产品的发展,这也将是油菜蜂花粉破壁技术的一个重要研究方向。

参考文献

- [1] 何佳洁, 汪燕, 马振刚. 综述蜂花粉的广泛应用[J]. 蜜蜂杂志, 2020, 40(1): 13-17.
HE Jia-jie, WANG Yan, MA Zhen-gang. Review on the wide application of bee pollen[J]. Journal of Bee, 2020, 40(1): 13-17.
- [2] SUN Li-ping, GUO Yan, ZHANG Yan-xin, et al. Antioxidant and anti-tyrosinase activities of phenolic extracts from rape bee pollen and inhibitory melanogenesis by cAMP/MITF/TYR pathway in B16 mouse melanoma cells[J]. Frontiers in Pharmacology, 2017(8): 1-9.
- [3] DENISOW B, DENISOW-PIETRZYK M. Biological and therapeutic properties of bee pollen: A review[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(13): 4 303-4 309.
- [4] 梁惠花, 刘晓河, 王志宝. 坝上油菜蜂花粉中脂肪油的提取及稳定性研究[J]. 中成药, 2004(9): 82-83.
LIANG Hui-hua, LIU Xiao-he, WANG Zhi-bao. Study on extraction and stability of fatty oil from Bashang rape bee pollen[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2004(9): 82-83.
- [5] WANG Rui-dan, SU Guan-hua, WANG Lin, et al. Identification and mechanism of effective components from rape (*Brassica napus* L.) bee pollen on serum uric acid level and xanthine oxidase activity[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 47: 241-251.
- [6] 胡东辉. 油菜花粉对前列腺增生的临床治疗[J]. 中国医药导报, 2009(13): 251.
HU Dong-hui. Clinical treatment of rape pollen on benign prostatic hyperplasia[J]. China Medical Herald, 2009(13): 251.
- [7] 陈世忠, 冀学芳. 一种具有美白养颜、抗辐射、改善亚健康作用的茶花粉组合物: CN1850213[P]. 2006-10-25.
CHEN Shi-zhong, JI Xue-fang. A tea pollen composition with whitening and beauty, anti-radiation, and improved sub-health effects: CN1850213[P]. 2006-10-25.
- [8] 王开发. 我国常见八种花粉的功效探讨[J]. 蜜蜂杂志, 2010, 30(12): 5-9.
WANG Kai-fa. Discussion on the efficacy of eight kinds of Pollen in China[J]. Journal of Bee, 2010, 30(12): 5-9.
- [9] ROULSTON T H, CANE J H. Pollen nutritional content and digestibility for animals[J]. Plant Systematics and Evolution, 2000, 222(1/2/3/4): 187-209.
- [10] 刘功良, 唐汉良, 谢锐均, 等. 蜂花粉破壁技术的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2014, 25(12): 102-104.
LIU Gong-liang, TANG Han-liang, XIE Rui-jun, et al. Research progress on wall-breaking technology of bee pollen[J]. Food Research and Development, 2014, 25(12): 102-104.
- [11] 唐维, 张星海. 花粉破壁方法的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2003(2): 86-92.
TANG Wei, ZHANG Xing-hai. Research progress on wall-breaking methods of pollen[J]. Food and Fermentation Industries, 2003(2): 86-92.
- [12] 褚珊珊, 左绍远. 蜂花粉破壁技术研究进展[J]. 蜜蜂杂志, 2018, 38(9): 12-14.
CHU Shan-shan, ZUO Shao-yuan. Research progress of bee pollen wall breaking technology[J]. Journal of Bee, 2018, 38(9): 12-14.
- [13] 任向楠, 张红城, 董捷. 蜂花粉破壁的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 380-383.
REN Xiang-nan, ZHANG Hong-cheng, DONG Jie. Research progress on wall-breaking of bee pollen[J]. Food Science, 2009, 30(21): 380-383.
- [14] THAKUR M, S NANDA V. Composition and functionality of bee pollen: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 98: 82-106.
- [15] 王凯. 五种蜂花粉超声—高剪切联用破壁效果及营养成分变化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016: 11-20.
WANG Kai. Study on wall-breaking effect and nutritional composition of five kinds of bee pollen by Ultrasonic-high shear[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2016: 11-20.
- [16] 章振东. 蜂花粉篇[J]. 中国蜂业, 2019, 70(5): 19.
ZHANG Zhen-dong. Bee pollen[J]. Apiculture of China, 2019, 70(5): 19.
- [17] 郑慧, 梁倩倩, 陈希平, 等. 蜂花粉保健功能及产品开发研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 230-236.
ZHENG Hui, LIANG Qian-qian, CHEN Xi-ping, et al. Research progress on health function and product development of bee pollen[J]. Food & Machinery, 2019, 35(4): 230-236.
- [18] 刘红艳, 赵应忠. 芝麻花粉附着、萌发与花粉管伸长过程研究[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 130-134.
LIU Hong-yan, ZHAO Ying-zhong. Study on the process of pollen attachment, germination and pollen tube elongation in sesame[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(2): 130-134.
- [19] 沈志燕, 高云涛, 张海芬, 等. 荞麦蜂花粉破壁扫描电子显微镜分析及黄酮模拟消化释放[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 1-6.
SHEN Zhi-yan, GAO Yun-tao, ZHANG Hai-fen, et al. Analysis of buckwheat bee pollen broken wall by scanning electron microscopy and simulated digestion and release of flavonoids[J]. Food Science, 2020, 41(12): 1-6.
- [20] WU Wei, WANG Kai, QIAO Jiang-tao, et al. Improving nutrient release of wall-disrupted bee pollen with a combination of ultrasonication and high shear technique[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(2): 564-575.
- [21] 高鲲, 张红城, 董捷. 复合蛋白酶酶解油菜蜂花粉及其表征[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 99-103.
GAO Kun, ZHANG Hong-cheng, DONG Jie. Enzymatic hydrolysis of rape bee pollen by complex protease and its characterization[J]. Food Science, 2011, 32(20): 99-103.
- [22] 高鲲. 油菜蜂花粉破壁及其表征评定[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011: 16-17.
GAO Kun. Wall breaking and characterization of rape bee pollen[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011: 16-17.
- [23] 王芙蓉. 油菜花粉的破壁方法及其多糖、黄酮提取纯化工艺研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 11-13.
WANG Fu-rong. Study on the wall-breaking method of rape pollen and the extraction and purification of polysaccharides and flavonoids[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007: 11-13.

- [24] DONG Jie, GAO Kun, WANG Kai, et al. Cell wall disruption of rape bee pollen treated with combination of protamex hydrolysis and ultrasonication [J]. Food Research International, 2015, 75: 123-130.
- [25] 熊夏宇, 杨晶, 戴求仲, 等. 破壁油菜蜂花粉的制备及其形态表征[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 137-143.
XIONG Xia-yu, YANG Jing, DAI Qiu-zhong, et al. Preparation and morphological characterization of wall-broken rape bee pollen[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(10): 137-143.
- [26] 延莎, 贺晋云, 杨蕙茹, 等. 气流超微粉碎破壁法对蜂花粉营养及抗氧化特性的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 94-98.
YAN Sha, HE Jin-yun, YANG Hui-ru, et al. Effects of air flow superfine pulverization wall breaking method on nutrition and antioxidant properties of bee pollen [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 94-98.
- [27] 曲成. 油菜蜂花粉的碱处理破壁研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2017: 28-47.
QU Cheng. Study on wall-breaking of rape bee pollen by alkali treatment[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2017: 28-47.
- [28] 王林. 不同品种蜂花粉破壁效果及体内外抗氧化活性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 16-23.
WANG Lin. Study on wall-breaking effect and antioxidant activity of different varieties of bee pollen in vivo and in vitro[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018: 16-23.
- [29] 李丽. 基于高速剪切技术的油菜蜂花粉黄酮提取工艺研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2012: 40-41.
LI Li. Study on extraction technology of flavonoids from rape bee pollen based on high speed shearing technology [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012: 40-41.
- [30] 李丽, 刘晔玮, 赵剑喜, 等. 高速剪切技术破碎油菜蜂花粉细胞壁工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 97-101.
LI Li, LIU Ye-wei, ZHAO Jian-xi, et al. Technology of breaking rape bee pollen cell wall by high-speed shearing[J]. Food Science, 2012, 33(12): 97-101.
- [31] 刘威. 四种蜂花粉的温差破壁方法研究[C]// 2014 年全国蜂产品市场信息交流会暨中国(哈尔滨)蜂业博览会论文集. 北京: 中国养蜂学会, 2014: 195-204.
LIU Wei. Study on the wall-breaking method of four kinds of bee pollen temperature difference[C]// Proceedings of 2014 National Bee Products Market Information Exchange Conference and China (Harbin) Bee Industry Expo. Beijing: Apicultural Science Association of China, 2014: 195-204.
- [32] 阮征, 邓泽元, 吴龙耀, 等. HPLC 法测定油菜蜂花粉中黄酮含量及六种破壁方法对黄酮提取的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 455-458.
RUAN Zheng, DENG Ze-yuan, WU Long-yao, et al. Determination of flavonoids in rape bee pollen by HPLC and effects of six wall-breaking methods on flavonoids extraction[J]. Food Science, 2008, 29(10): 455-458.
- [33] 胡筱波, 徐明刚, 吴谋成, 等. 温差破壁法对油菜蜂花粉中主要营养成分含量的影响[J]. 食品科学, 2005, 26(10): 120-124.
HU Xiao-bo, XU Ming-gang, WU Mou-cheng, et al. Effect of temperature difference wall-breaking method on the content of main nutrients in rape bee pollen [J]. Food Science, 2005, 26(10): 120-124.
- [34] 周顺华, 陶乐仁, 徐斐, 等. 用液氮淬冷法进行花粉破壁的实验研究[J]. 上海理工大学学报, 2002(3): 233-237.
ZHOU Shun-hua, TAO Le-ren, XU Fei, et al. Experimental study on pollen wall-breaking by liquid nitrogen quenching[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2002(3): 233-237.
- [35] 党云刚. 蜂花粉中黄酮类物质的提取及纯化工艺研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2010: 16-20.
DANG Yun-gang. Study on extraction and purification of flavonoids from bee pollen[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2010: 16-20.
- [36] 徐水荣. 超临界流体技术在花粉中的应用进展[C]// 第十一届全国花粉资源开发与利用研讨会论文集. 哈尔滨: 中国林业经济学会, 2010: 104-106.
XU Shui-rong. Application progress of supercritical fluid technology in pollen[C]// Proceedings of the 11th National Symposium on the Development and Utilization of Pollen Resources. Harbin: China Forestry Economic Society, 2010: 104-106.
- [37] 孙丽萍, 徐响. 超临界二氧化碳处理对油菜蜂花粉破壁的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 56-58.
SUN Li-ping, XU Xiang. Effect of supercritical carbon dioxide treatment on wall-breaking of rape bee pollen[J]. Food Science, 2008, 29(6): 56-58.
- [38] XU Xiang, SUN Li-ping, DONG Jie, et al. Breaking the cells of rape bee pollen and consecutive extraction of functional oil with supercritical carbon dioxide[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 10(1): 42-46.
- [39] 倪辉, 蔡慧农, 吴黎明, 等. 利用蒸汽爆破法破壁花粉的技术[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 367-372.
NI Hui, CAI Hui-nong, WU Li-ming, et al. Technology of breaking pollen wall by steam explosion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(5): 367-372.
- [40] 王满生, 曾新安, 熊夏宇, 等. 油菜蜂花粉中粗黄酮提取物成分分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 144-148.
WANG Man-sheng, ZENG Xin-an, XIONG Xia-yu, et al. Analysis of crude flavonoids in rape bee pollen[J]. Food & Machinery, 2016, 32(9): 144-148.
- [41] 刘春纁. 油菜蜂花粉在酸性环境中的破壁技术研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2013: 15-23.
LIU Chun-ying. Study on wall-breaking technology of rape bee pollen in acidic environment[D]. Xining: Qinghai Normal University, 2013: 15-23.
- [42] ZHANG Zheng, CAO Hong-gang, CHEN Chao, et al. Effects of fermentation by Ganoderma lucidum and Saccharomyces

- cerevisiae on rape pollen morphology and its wall[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(12): 4 026-4 034.
- [43] 曹红刚, 张政, 木华芬, 等. 油菜蜂花粉的4种真菌发酵破壁酶活变化及营养分析[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 258-263.
- CAO Hong-gang, ZHANG Zheng, MU Hua-fen, et al. Changes of enzyme activity and nutrition analysis in wall-breaking fermentation of four kinds of fungi of rape bee pollen[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(1): 258-263.
- [44] YAN Sha, LI Qiang-qiang, XUE Xiao-feng, et al. Analysis of improved nutritional composition of bee pollen (*Brassica campestris* L.) after different fermentation treatments[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(6): 2 169-2 181.
- [45] 冯慧, 焦士蓉, 唐远谋, 等. 油菜蜂花粉酵母发酵破壁工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 90-92, 96.
- FENG Hui, JIAO Shi-rong, TANG Yuan-mou, et al. Study on wall-breaking technology of rape bee pollen yeast fermentation[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(8): 90-92, 96.
- [46] 冯慧, 焦士蓉, 唐远谋, 等. 不同发酵法对油菜蜂花粉破壁的影响[J]. 中国酿造, 2011(6): 78-80.
- FENG Hui, JIAO Shi-rong, TANG Yuan-mou, et al. Effects of different fermentation methods on wall-breaking of rape bee pollen[J]. China Brewing, 2011(6): 78-80.
- [47] 石玉平, 冯瑛, 张世满, 等. 油菜蜂花粉催化破壁的方法: CN103689309A[P]. 2014-04-02.
- SHI Yu-ping, FENG Ying, ZHANG Shi-man, et al. Methods of rape bee pollen catalytic wall breaking: CN103689309A[P]. 2014-04-02.
- [48] 王凯, 任向楠, 董捷, 等. 多指标评价果胶酶对油菜蜂花粉的破壁作用[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 164-168.
- WANG Kai, REN Xiang-nan, DONG Jie, et al. Multi-index evaluation of wall-breaking effect of Pectinase on rape bee pollen[J]. Food & Machinery, 2015, 31(6): 164-168.
- [49] 曹玉瑶, 董增, 曹稳根. 响应面优化纤维素酶法破壁提取油菜蜂花粉总黄酮的工艺[J]. 黄山学院学报, 2017, 19(3): 53-57.
- CAO Yu-yao, DONG Zeng, CAO Wen-gen. Optimization of Cellulase wall-breaking process for extraction of total flavonoids from rape bee pollen by response surface methodology[J]. Journal of Huangshan University, 2017, 19(3): 53-57.
- [50] 孟良玉, 蔡文倩, 兰桃芳, 等. 纤维素酶对油菜蜂花粉的破壁作用[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 72-75.
- MENG Liang-yu, CAI Wen-qian, LAN Tao-fang, et al. Wall-breaking effect of cellulase on rape bee pollen[J]. Food Science, 2012, 33(22): 72-75.
- [51] 卢挺. 青藏高原油菜蜂花粉酶解破壁研究[J]. 食品科学, 2002(8): 126-127.
- LU Ting. Study on enzymatic hydrolysis of rape bee pollen in Qinghai-Tibet Plateau[J]. Food Science, 2002(8): 126-127.
- [52] 杨月琴, 胡凤祖, 卢挺. 青海油菜蜂花粉酶解破壁前后营养成分的比较[J]. 西北农业学报, 2007(1): 100-102.
- YANG Yue-qin, HU Feng-zu, LU Ting. Comparison of nutrient composition of bee pollen of Qinghai rape before and after enzymolysis[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007(1): 100-102.
- [53] 王永宁, 卢挺, 石玉平. 油菜蜂花粉酶法破壁研究[J]. 天然产物研究与开发, 2004(3): 228-230.
- WANG Yong-ning, LU Ting, SHI Yu-ping. Study on enzymatic wall-breaking of rape bee pollen[J]. Natural Product Research and Development, 2004(3): 228-230.
- [54] 周小玲. 青海油菜蜂花粉酶解催化破壁动力学研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2010: 32-35.
- ZHOU Xiao-ling. Study on wall-breaking kinetics of enzymatic hydrolysis of rape bee pollen in Qinghai[D]. Xining: Qinghai Normal University, 2010: 32-35.
- [55] 周小玲, 王永宁. 青海油菜蜂花粉的破壁及黄酮的测定[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2009(4): 79-83.
- ZHOU Xiao-ling, WANG Yong-ning. Wall-breaking of rape bee pollen in Qinghai and determination of flavonoids[J]. Journal of Qinghai Normal University (Natural Science Edition), 2009(4): 79-83.
- [56] 杨晓萍, 余志勤. 油菜花粉破壁方法研究[J]. 华中农业大学学报, 2004(6): 671-672.
- YANG Xiao-ping, YU Zhi-qin. Study on the method of rape pollen wall breaking [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004(6): 671-672.
- [57] 张建国. 一种仿生酶化花粉破壁方法: CN103211137A[P]. 2013-07-24.
- ZHANG Jian-guo. A biomimetic enzymatic pollen wall-breaking method: CN103211137A[P]. 2013-07-24.
- [58] 阿依努尔·热西提, 努尔比亚·亚力坤, 阿不都拉·阿巴斯. 响应面法优化蜂粮引子发酵液的制备条件[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 136-139.
- AINUR Gerciiti, NURBIA Alekon, ABDULLAH Abbas. Optimization of preparation conditions of bee grain primer fermentation broth by response surface methodology [J]. The Food Industry, 2015, 36(2): 136-139.
- [59] 任向楠. 超声波辅助酶法破壁油菜花粉的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010: 50-75.
- REN Xiang-nan. Study on ultrasonic assisted enzymatic wall breaking of rape pollen[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010: 50-75.
- [60] 吴伟. 破壁对五种蜂花粉的营养素释放和消化的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019: 16-26.
- WU Wei. Effects of wall-breaking on nutrient release and digestion of five kinds of bee pollen [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019: 16-26.
- [61] 张红城, 孔令杰, 吴伟, 等. 一种蜂花粉的破壁方法: CN108208686A[P]. 2018-06-29.
- ZHANG Hong-cheng, KONG Ling-jie, WU Wei, et al. A Wall-breaking method of bee pollen: CN108208686A[P]. 2018-06-29.
- [62] 平舜, 张翠平, 郑火青, 等. 蜂花粉新鲜度指标的研究进展[J]. 中国蜂业, 2012, 63(23): 36-39.

- PING Shun, ZHANG Cui-ping, ZHENG Huo-qing, et al. Research progress on freshness index of bee pollen[J]. *Apiculture of China*, 2012, 63(Z3): 36-39.
- [63] 孙毅, 杨义芳, 杨必成, 等. 油菜蜂花粉生理活性及作用机制研究进展[J]. *中国蜂业*, 2010, 61(9): 5-9.
- SUN Yi, YANG Yi-fang, YANG Bi-cheng, et al. Research progress on physiological activity and mechanism of rape bee pollen[J]. *Apiculture of China*, 2010, 61(9): 5-9.
- [64] 王开发, 张盛隆, 支崇远, 等. 花粉化妆品中的应用和前景[J]. *香料香精化妆品*, 2002(3): 42-43, 49.
- WANG Kai-fa, ZHANG Sheng-long, ZHI Chong-yuan, et al. Application and prospect of pollen cosmetics[J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2002(3): 42-43, 49.
- [65] 郑慧, 郑淘, 王睿捷, 等. 粉碎粒径对油菜蜂花粉在体外模拟消化中多酚含量及发酵产酸的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(7): 59-64.
- ZHENG Hui, ZHENG Tao, WANG Rui-jie, et al. Effects of crushing particle size on polyphenols content and fermentation acid production of rape bee pollen during simulated digestion in vitro[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(7): 59-64.
- [66] 刘文静, 张志旭, 秦丹. 破壁方式对蜂花粉抑制 α -葡萄糖苷酶活性的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(8): 159-162.
- LIU Wen-jing, ZHANG Zhi-xu, QIN Dan. Effect of wall-breaking method on bee pollen inhibition of α -glucosidase activity[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(8): 159-162.
- [67] 连文绮, 薛霖莉, 郑晓楠. 油菜蜂花粉破壁前后的品质分析[J]. *山西农业科学*, 2016, 44(10): 1 464-1 466.
- LIAN Wen-qi, XUE Lin-li, ZHENG Xiao-nan. Quality analysis of rape bee pollen before and after wall breaking[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2016, 44(10): 1 464-1 466.
- [68] 徐景耀. 蜂花粉人工破壁弊多利少[C]// 2005 年全国蜂产品市场信息交流会论文集. 北京: 中国养蜂学会, 2005: 31-33.
- XU Jing-yao. Artificial wall breaking of bee pollen has more disadvantages than advantages[C]// *Proceedings of the 2005 National Bee products Market Information Exchange Conference*. Beijing: Apicultural Science Association of China, 2005: 31-33.
- [69] 王如伟, 杨开, 何厚洪, 等. 一种治疗前列腺增生的油菜花粉总甾醇及其制备方法: CN107669728A[P]. 2018-02-09.
- WANG Ru-wei, YANG Kai, HE Hou-hong, et al. A kind of rape pollen total sterol for treating prostate hyperplasia and its preparation method: CN107669728A[P]. 2018-02-09.
- [70] 徐一达. 一种油菜花碱及其应用: CN106366014A[P]. 2017-02-01.
- XU Yi-da. A kind of rape alkali and its application: CN106366014A[P]. 2017-02-01.
- [71] 冯瑛, 王永宁, 石玉平, 等. 油菜蜂花粉酒及其制备方法: CN104087491A[P]. 2014-10-08.
- FENG Ying, WANG Yong-ning, SHI Yu-ping, et al. Rape bee pollen wine and its preparation method: CN104087491A[P]. 2014-10-08.
- [72] 徐志军, 尹永, 董湘辉, 等. 油菜蜂花粉提取物及其制备方法和在抗衰老护肤品中的应用: CN102188350A[P]. 2011-09-21.
- XU Zhi-jun, YIN Yong, DONG Xiang-hui, et al. Rape bee pollen extract and its preparation method and application in anti-aging skin care products: CN102188350A[P]. 2011-09-21.
- [73] 安徽鑫牛农业科技有限公司. 一种牦牛饲料配方、制备方法及其饲喂方法: CN201911302529.8[P]. 2020-05-01.
- Anhui Xinniu Agricultural Technology Co., Ltd. A calf feed formula, preparation method and feeding method: CN201911302529.8[P]. 2020-05-01.
- [74] PITSIOS C, CHLIVA C, MIKOS N, et al. Bee pollen sensitivity in airborne pollen allergic individuals[J]. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology: Official Publication of the American College of Allergy, Asthma & Immunology*, 2006, 97(5): 703-706.
- [75] 姚海春, 姚京辉, 陈云. 蜂花粉过敏反应与中毒机理临床研究[J]. *中国蜂业*, 2015, 66(6): 50-51.
- YAO Hai-chun, YAO Jing-hui, CHEN Yun. Clinical study on allergic reaction and poisoning mechanism of bee pollen[J]. *Apiculture of China*, 2015, 66(6): 50-51.

(上接第 230 页)

- [49] 耿雪莹, 郭藏, 米生权, 等. 单宁的血糖调节活性功能研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(7): 301-306.
- GENG Xue-ying, GUO Cang, MI Sheng-quan, et al. Plasma glucose regulating activity of tannin[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(7): 301-306.
- [50] 彭凯, 王国霞, 赵红霞, 等. 饲料单宁提高鱼类糖利用能力的作用机制研究进展[J]. *动物营养学报*, 2021, 33(3): 1 208-1 215.
- PENG Kai, WANG Guo-xia, ZHAO Hong-xia, et al. Advances in studies on mechanisms of dietary tannins improving sugar utilization of fish[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(3): 1 208-1 215.
- [51] PRADA A L, AMADO J, KEITA H, et al. Cassia grandis fruit extract reduces the blood glucose level in alloxan-induced diabetic rats[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2018, 103: 421-428.
- [52] EPASINGHE D J, YIU C, BURROW M F, et al. Effect of flavonoids on the mechanical properties of demineralised dentine[J]. *Journal of Dentistry*, 2014, 42(9): 1 178-1 184.
- [53] PALLARÈS V, CEDÓ L, CASTELL-AUVÍ A, et al. Effects of grape seed procyanidin extract over low-grade chronic inflammation of obese Zucker fa/fa rats[J]. *Food Research International*, 2013, 53(1): 319-324.
- [54] ENGSTRÖM M T, KARONEN M, AHERN J R, et al. Chemical structures of plant hydrolyzable tannins reveal their in vitro activity against egg hatching and motility of haemonchus contortus nematodes[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(4): 840-851.