

麦冬多糖的化学组成、分析方法和药理作用研究进展

张璐欣¹, 周学谦^{2,3}, 李德坤^{2,3}, 周大铮^{2,3}, 杨悦武^{2,3}, 余伯阳^{1*}, 鞠爱春^{2,3*}

1. 中国药科大学, 江苏 南京 211198
2. 天津市中药注射剂安全性评价企业重点实验室, 天津 300402
3. 天津天士力之骄药业有限公司, 天津 300402

摘要: 麦冬具有生津解渴、润肺止咳的功效, 其主要成分包括甾体皂苷、黄酮类、多糖类等, 但是对其多糖类研究相对较少。主要综述麦冬多糖的化学组成、分析方法、药理作用等研究进展。麦冬多糖主要有 MDG-1、Md-1、Md-2、OJP-1 等; 目前主要采用的分析方法有蒽酮-硫酸法、苯酚-硫酸法、3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法、近红外光谱结合偏最小二乘回归法等; 麦冬多糖可有效地改善心血管系统疾病, 具有耐缺氧、抗炎、抗肿瘤、抗氧化等多种药理作用。

关键词: 麦冬多糖; 药理作用; 分析方法; 耐缺氧; 抗炎; 抗肿瘤

中图分类号: R931.71 文献标志码: A 文章编号: 1674-6376 (2017) 02- 0279 -06

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2017.02.029

Research progress on chemical composition, analytical methods, and pharmacological effects of *Ophiopogon* polysaccharides

ZHANG Lu-xin¹, ZHOU xue-qian^{2,3}, LI De-kun^{2,3}, ZHOU Da-zheng^{2,3}, YANG Yue-wu^{2,3}, YU Bo-yang¹, JU Ai-chun^{2,3}

1. China Pharmaceutical University, Nanjin 211198, China
2. Tianjin Key Laboratory of Safety Evaluation Enterprise of TCM Injections, Tianjin 300402, China
3. Tianjin Tasly Pride Pharmaceutical Co.,Ltd., Tianjin 300402, China

Abstract: The main ingredients of *Ophiopogon japonicas* include steroidal saponins, flavonoids, polysaccharides, and so on, but the research on polysaccharides is relatively less. This particle will mainly review the chemical composition, analytical methods, and pharmacological effects of *Ophiopogon* polysaccharides. The *Ophiopogon* polysaccharides contain a variety of substances, such as MDG-1, Md-1, Md-2, OJP-1, etc; The main analysis methods were sulfuric acid method, phenol-sulfuric acid method, 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) colorimetric method, and near-infrared spectroscopy combined with partial least squares regression method. *Ophiopogon* polysaccharides can effectively improve the cardiovascular system diseases, with antihypoxia, anti-inflammatory, antitumor, anti-oxidation, and other pharmacological effects.

Key words: *Ophiopogon* polysaccharides; pharmacological effects; analysis methods; resistant hypoxia; anti-inflammation; antitumor

麦冬来源于百合科多年生草本植物, 药用具有生津解渴、润肺止咳的功效, 《中国药典》2015 版已将其来源植物细分为山麦冬 (*Liriope Radix*) 和麦冬 (*Ophiopogonis Radix*)。山麦冬来源于山麦冬属植物湖北麦冬 *Liriope spicata* (Thunb.) Lour. var. *Prolifera* Y. T. Ma 和短葶麦冬 *L. muscari* (Decne.) Baily 的块根; 麦冬来源于沿阶草属植物麦冬 *Ophiopogon japonicus* (L.f) Ker-Gawl. 的肉质块茎^[1-2]。麦冬常与其他中药配伍, 用于肺燥干咳、津伤口渴、

心烦失眠、内热消渴、肠燥便秘等的治疗。麦冬在很多中药复方里均有应用, 如金代李杲《内外伤辨惑论》中的生脉饮, 如今 3 采用现代制剂技术开发为参麦注射液^[3]、生脉注射液^[4]、生脉饮口服液^[5]、益气复脉胶囊^[6]、益气复脉注射液^[7]等, 用于养阴生津、益气固脱。麦冬在该方里能促进儿茶酚胺释放, 对心肌功能改善有明显效果, 能延缓心肌功能的恶化^[7]。麦冬的有效成分包括甾体皂苷、多糖、异黄酮类、氨基酸等, 其中麦冬多糖的药理作用主

收稿日期: 2016-11-16

作者简介: 张璐欣, 硕士在读, 研究方向为中药质量控制。Tel: (022)84498151 E-mail: 3145571886@qq.com

*通信作者 余伯阳 (1959—), 男, 教授, 博导, 研究方向为中药和天然药物。Tel: (025)86185287 E-mail: boyangyu@yahoo.com.cn

鞠爱春 (1973—), 男, 高级工程师, 研究方向为中药注射剂工艺及质量控制。Tel: (022)86342096 E-mail: juach@tasly.com

要表现为抗心肌缺血和降低血小板聚集作用、免疫调节、降低血糖、抗炎、耐缺氧等^[8-10]。有研究发现麦冬多糖注射给药,有良好的抗心肌缺血作用^[11]。近年来对麦冬的化学成分和药理作用的研究报道很多,但是对麦冬多糖的综述研究还比较少。本文对麦冬多糖的化学组成、分析方法、药理作用做一比较全面的综述,旨在有利于该植物药资源的综合利用,以期对麦冬多糖的深度开发以及新药研发提供参考。

1 麦冬多糖的种类及组成

麦冬中含有大量的多糖,马军守等^[12]测定了川麦冬及其须根中的多糖的量均在15%以上。麦冬多糖具有多种药理活性,目前对于麦冬多糖的研究也从多糖的提取分离、药效等方面深入到多糖的结构分析、结构修饰等方面^[13]。因此,近年来对麦冬多糖立体结构、单糖组成等方面的研究受到了广泛的重视,其研究报道也很多。

1.1 麦冬多糖的种类

因麦冬的产地不同,各课题组对于提取麦冬多糖采用的提取分离方法不同,所获得的麦冬多糖在一级结构上有差异。目前的文献研究中报道的麦冬多糖共有12种,现对其简要介绍。

徐德生等^[14]通过水提醇沉法得到了麦冬总多糖,再先后通过超滤、DEAE Sepharose FF柱和Sephadex G-25柱分离,得到MDG-1。林晓等^[15]也通过此方法得到麦冬多糖POJ。用GPC软件计算得其数均相对分子质量为3400,重均相对分子质量为4800。折改梅等^[16]通过水提醇沉法得到麦冬粗多糖,依次经Sephadex G-100柱层析和0.1 mol/L氯化钠溶液洗脱,得灰白色的麦冬多糖Md-1和Md-2。根据标准曲线测得Md-1和Md-2的相对分子质量为27064和48651。张娅芳^[17]采用季铵盐沉淀法得到AP-1、AP-2、AP-3 3种麦冬多糖,相对分子质量分别为6753、12984、9419;采用热水提取麦冬粗多糖醇沉后,经过DEAE-52离子交换纤维素柱层析分离纯化得到麦冬多糖POJ-1,相对分子质量为12858。Chen等^[18]采用热水提取粗多糖,95%乙醇沉淀后,经DEAE-52、阴离子交换柱和Sephadex G-100柱层析得到麦冬多糖OJP-1,其平均相对分子质量为35.2 kDa。胡坪等^[19]、徐兢博等^[20]分别采用不同的方法得到了不同的麦冬多糖。韩凤梅等^[21]还对山麦冬中的多糖进行分离纯化,得到褐色山麦冬多糖。

1.2 麦冬多糖的单糖组成

麦冬多糖主要由单糖和低聚糖类物质组成,文献报道主要有果糖和葡萄糖^[22]。但因果糖为酮糖,其性质不如醛糖活泼,且难以通过衍生化测定,成为分析麦冬多糖中单糖组成的难点^[23]。

徐德生等^[14]、林晓等^[15]都将分离得到的麦冬多糖采用柱后荧光衍生化法确定其单糖种类,结果发现其水解产物中可检测到果糖和葡萄糖,物质的量比为35:1,可见此麦冬多糖为果聚糖。折改梅等^[16]测得麦冬多糖Md-1和Md-2的组成单糖均为吡喃单体,有 α -糖苷键的存在,且含有硫酸基,两个多糖的基本结构相似,具体的单糖有待进一步探究。

张娅芳^[17]采用气象色谱法测得麦冬多糖AP-1、AP-2、AP-3、POJ-1的单糖组成。其中,AP-1是由甘露糖、葡萄糖、阿拉伯糖、果糖组成;AP-2由甘露糖、葡萄糖、果糖组成;AP-3由甘露糖、葡萄糖、果糖组成;AP-4则是由甘露糖、葡萄糖、果糖组成。

Chen等^[18]采用气相色谱法测得OJP-1的单糖组成为阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖,其物质的量比为1:16:8。胡坪等^[19]、徐兢博等^[20]对得到的麦冬多糖分别进行研究,发现其均由果糖和葡萄糖组成,物质的量比分别为15:1和12:1。

近年来也有发现麦冬多糖由单一糖组成的,如韩凤梅等^[21]对得到的精制山麦冬多糖进行水解,发现其是由单一葡萄糖组成的多糖。

2 麦冬多糖的分析方法

对于麦冬中多糖含量的测定,应用较多的为蒽酮-硫酸法和苯酚-硫酸法,除此以外,近年还出现了高效凝胶色谱法、近红外光谱法等,这几种方法各有优缺点。

2.1 蒽酮-硫酸法

唐丽琴等^[24]采用蒽酮-硫酸比色法建立了麦冬多糖的含量测定方法,并确定最大吸收波长为626 nm,麦冬多糖精制品的量为60%以上。冯怡等^[25]针对蒽酮-硫酸法,考察了温度对葡萄糖、果糖、麦冬多糖吸收值得影响,发现果糖与麦冬多糖的吸收值变化趋势一致,因此选用果糖作为标准品,于625 nm处测定吸收值计算麦冬多糖的含量,该方法简便、准确。

2.2 苯酚-硫酸法

张萍等^[26]利用苯酚-硫酸法测定了短葶山麦冬药材中多糖的量,确定吸收波长为490 nm,并利用所建立的方法对14批药材进行定性与定量分析,含

量测定结果以无水葡萄糖计为 6.34%~13.69%，该方法操作简便，重复性好，适用于短葶山麦冬中多糖的含量测定。王晓华等^[27]同样采用苯酚-硫酸法测定了湖北麦冬中多糖的量，并确定最大吸收波长为 489.4 nm。

紫外可见分光光度法在测定麦冬多糖含量时对对照品称量、移液枪、供试品溶液等均可能引入一定的不确定度，针对此问题，郭永辉等^[28]对实验过程中可能出现的不确定度进行了评价，结果发现标准曲线拟合和紫外分光光度计的不确定度分量对评定结果的总不确定度影响较大。林颖等^[29]认为蒽酮-硫酸法和苯酚-硫酸法在测定复杂的糖类化合物时，以组成多糖的各单糖比配成标准溶液，无论采用哪一种方法，都可得到准确的数据，提高了天然产物中多糖含量测定的准确性。

2.3 高效凝胶色谱法

卢智玲等^[30]以 0.1 mol/L 的 $\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{-Na}_2\text{HPO}_4$ 缓冲液为流动相，Shodex Sugarks-802 色谱柱，体积流量 0.5 mL/min，柱温 25 °C，采用荧光检测器，激发波长 495 nm，发射波长 515 nm，测定了大鼠血浆中麦冬多糖 MDG-1 的量。该方法经方法学验证，准确灵敏，操作简单。

2.4 3,5-二硝基水杨酸比色法

王红英等^[31]采用 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 比色法测定了麦冬多糖的含量。该方法计算麦冬多糖含量时，把单糖含量从总糖中减去，因此应用 DNS 法得到的多糖含量数据，更准确地表达了麦冬中多糖的含量。

2.5 近红外光谱法

王远等^[32]利用近红外光谱对麦冬多糖的定量分析初步选择了建模波段，结合偏最小二乘回归法进行定标建模分析，结果表明实验中建立的定标模型效果较好，分析结果精度较高。

2.6 麦冬多糖单糖组成的分析方法

对于麦冬多糖中单糖组成的分析方法研究，胡坪等^[19]采用高效液相色谱-蒸发光散射检测器 (HPLC-ELSD)，乙腈-水-三乙胺为流动相，Waters XBridge™ Amide 氨基柱，体积流量 0.8 mL/min，柱温 35 °C，ELSD 气流速度 2.2 L/min，漂移管温度 65 °C，测定三氟乙酸水解的麦冬多糖单糖组成，发现麦冬多糖由果糖、葡萄糖组成，物质的量比为 15:1。

3 药理作用

3.1 对心血管系统的作用

3.1.1 抗心肌缺血 Wang 等^[33-34]研究发现，麦冬

多糖 MDG-1 浓度在 10 mmol/L 处理 12 h 后能明显提高因结扎动脉所致的心肌缺血的雄性 SD 大鼠的心肌细胞中 1-磷酸鞘氨醇 (SIP) 的生成和释放；MDG-1 在 0.2、2、20 nmol/L 处理 16 h 能明显促进鸡胚新生血管的生成；由此可见，MDG-1 具有抗心肌缺血的功效，且 MDG-1 是通过抗心肌细胞损伤和促进血管新生两个途径发挥抗心肌缺血作用。

Zheng 等^[35]发现，麦冬多糖 FOJ-5 能使离体的大鼠心脏缺血再灌注后的心脏收缩幅度和冠脉流量较快恢复，抑制心率加快。此外，从短葶山麦冬分离得到的皂苷类成分 DT-13 也具有抗心肌缺血作用，这与降低心脏的钙电流密度有关^[36]。另有研究发现 0.1 $\mu\text{mol/L}$ 的 DT-13 作用 10 min 后，可使 Langendorff 灌流大鼠心脏的钙电流密度降低，且其失活曲线左移^[32]。

针对麦冬的抗心肌缺血作用，马艳春等^[37]初步筛选了麦冬水提取物中抗心肌缺血的活性部位，结果表明，相对分子质量 1 万以下的组分是其主要活性部位。周跃华等^[38]考察了麦冬不同提取物对小鼠 Rb86 心肌营养血流量的影响，结果总多糖可增加小鼠心肌营养血流量，表明麦冬总多糖可能是麦冬抗心肌缺血的主要有效成分。

3.1.2 降低血小板聚集率 黄厚才等^[39]考察了麦冬的石油醚提取液、乙醇提取液、水提液 3 种提取液分别对 SD 大鼠的血小板聚集率，结果表明 3 种提取液均可显著降低大鼠血小板的聚集率，证明其活血化瘀功效。同时，黄厚才等^[40]还研究了这 3 种提取液对 KM 小鼠耳廓微循环的影响，结果发现 3 种提取液均能显著改变小鼠微动、静脉的管径，改善血流状态，加快血流速度。

3.1.3 降低血液黏度 郭晶等^[41]研究了麦冬水提取物（多糖是水溶性的，所以麦冬水提取物里均含有麦冬多糖）对 D-半乳糖衰老模型大鼠血液流变学的影响，以筛选预防中风药物，结果发现麦冬治疗组相比模型组血液黏度升高不明显，表明麦冬多糖具有降低 D-半乳糖衰老大鼠血液黏度的作用。

3.2 耐缺氧

许燕萍等^[42]通过大鼠实验性脑缺血模型检测脑内乳酸含量，研究麦冬多糖对脑缺血损伤的抗氧化作用，结果表明 400、200 mg/kg 麦冬多糖对模型大鼠脑内乳酸含量均有显著降低作用，表明麦冬多糖对实验性脑缺血有耐缺氧保护作用。

3.3 降血糖

刘易慧^[43]通过 DEAE-纤维素层析柱得到了湖北麦冬总多糖 (TLSP), 再通过 AB-8 树脂柱洗脱后分别得到了均一的麦冬多糖 LSP1 和 LSP2, 药理实验发现 TLSP、LSP1、LSP2 的高、中剂量组都能显著降低 2 型糖尿病 KKAy 小鼠的空腹血糖水平及血脂水平, 能改善糖尿病小鼠的葡萄糖耐受程度, 且 TLSP、LSP1、LSP2 在体内外实验中均具有良好的抗糖尿病活性。

同时, 肖作奇^[44]在高脂高糖饲料+小剂量链脲佐菌素 (SZT) 诱导的糖尿病大鼠模型中发现总多糖 TLSP 有降低大鼠血糖、血脂的作用。陈祥洪^[45]也发现 TLSP、LSP1、LSP2 具有抗 2 型糖尿病的作用, 并能够显著降低胰岛素抵抗指数, 改善糖耐量。

王源等^[46]发现麦冬多糖 MDG-1 在 300 mg/kg 时对于 SZT 诱导的糖尿病小鼠模型有一定的降糖作用, 对改善其胰岛素抵抗有一定作用, 但对正常小鼠的血糖没有降低作用, 且一定剂量的 MDG-1 对糖尿病小鼠空腹血糖具有较好的降低和维持作用。

宁萌等^[47]以麦冬多糖 OPSR 为研究对象, 以 3T3-L1 诱导的脂肪细胞建立葡萄糖消耗模型, Western blotting 法检测其对脂肪细胞瘦素、脂联素、抵抗素蛋白表达的影响, 最终应用 2 型糖尿病模型大鼠 (高脂高糖饲料+小剂量 SZT 诱导的糖尿病大鼠模型) 进一步验证其治疗效果, 结果发现, OPSR 对 2 型糖尿病大鼠具有降低空腹血糖、三酰甘油和改善胰岛素抵抗的作用, 其机制与胰岛素抵抗脂肪细胞分泌的脂肪因子有关。

3.4 抗炎

Kou 等^[48]发现麦冬水提物 50 mg/kg 灌胃给药, 能明显抑制二甲苯诱导的小鼠耳肿胀, 角叉菜胶诱导的小鼠趾肿胀和大鼠胸腔白细胞游走, 也能明显抑制酵母多糖 A 诱导的小鼠腹腔总白细胞和中性粒细胞游走, 证明麦冬水提物具有良好的抗炎作用。

3.5 免疫活性

汤军等^[49]将 30 只小鼠均分为 3 组, 分别考察麦冬多糖、香菇多糖对小鼠的免疫活性, 分别给药 7 d, 通过测定小鼠的胸腺、脾脏质量, 碳粒廓清作用及血清溶血素抗体水平来衡量两种多糖的免疫活性。结果发现麦冬多糖可显著增加幼鼠的胸腺、脾脏质量, 也可增加小鼠网状内皮系统的吞噬能力, 提高小鼠血清中溶血素含量。

3.6 抗氧化

张娅芳^[17]将麦冬多糖进行 SephadexG-200 凝胶柱层析, 得到了 AP-1、AP-2、AP-3、POJ-SS 和 POJ-SJ 6 种多糖, 并对除 POJ-SJ 外的 5 种多糖和麦冬多糖 POJ 的体外抗氧化活性进行了研究。分别通过对麦冬多糖还原能力的测定、邻苯三酚自氧化等方法综合评价 6 种麦冬多糖的体外抗氧化活性, 结果表明 6 种多糖均具有体外抗氧化活性, 且呈剂量相关, 其活性由大到小依次为 POJ-SS > AP-1 > POJ-1 > AP-3 > POJ > AP-2^[17]。

张力妮^[50]采用热水浸提和超声提取法得到了麦冬多糖 WPOJ 和 UPOJ, 并通过硫酸化修饰、磷酸化修饰及羧甲基化修饰得到了 S-WPOJ、S-UPOJ、P-WPOJ、P-UPOJ、C-WPOJ、C-UPOJ 6 种多糖, 且最终对这 8 种多糖进行了抗氧化活性的测定。通过对总还原力的测定、体外清除羟基自由基的能力、体外清除 DPPH 自由基的能力和体外清除超氧阴离子的能力 4 种测定结果综合评价其抗氧化活性。结果显示, 8 种多糖都具有一定程度的抗氧化活性, 有较强的清除 DPPH 自由基的能力。

此外, 黄妮等^[51]从绵麦冬中提取出了一种中性糖 NP 和 3 种酸性糖 AP1、AP2、AP3, 并对其抗氧化活性进行了研究。结果发现, 只有 3 种酸性糖具有清除 DPPH 和羟自由基的能力, 其中 AP3 具有极高的羟自由基清除能力。

3.7 其他药理活性

李晓霞等^[52]采用微量量热仪测定了不同浓度麦冬对大肠杆菌的热功率-时间曲线, 结果表明浓度较低时麦冬对大肠杆菌生长代谢有促进作用, 反之则有抑制作用。

汤军等^[54]分别通过氨雾引起小鼠咳嗽、组胺和乙酰胆碱混合液引起豚鼠支气管收缩和小鼠耳异种被动皮肤过敏、卵白蛋白诱发致敏豚鼠支气管收缩, 研究麦冬多糖 (POT) 的平喘和抗过敏作用, 结果显示麦冬多糖能抑制支气管平滑肌收缩, 抑制哮喘发生, 且有较显著的抗小鼠耳异种被动皮肤过敏的作用。

4 结语

通过对麦冬多糖化学分析及药理作用相关文献的查阅和总结, 可整体了解近年来关于麦冬多糖检测及药理作用的研究状况。在查阅文献过程中, 发现关于麦冬中多糖的研究较单糖和低聚糖丰富, 因此, 笔者认为可针对麦冬单糖及低聚糖类成分进行

深入研究,因为多糖在煎药过程或者进入人体内会分解为单糖或低聚糖而起作用;尤其是对麦冬单糖和低聚糖种类、结构及作用机制的探索,有利于深入研究麦冬的构效关系和药理作用靶点。本文关于麦冬多糖分析方法及药理作用的研究综述,亦可为低聚糖的研究提供必要的方法和背景,甚至可通过麦冬中低聚糖的研究探索麦冬提取工艺的优化,以指导生产,提高效益。

参考文献

- [1] Zhou Y F, Qi J, Zhu D N, et al. Homoisoflavonoids from *Ophiopogon japonicus* and its oxygen free radicals (OFRs) scavenging effects [J]. *Chin J Nat Med*, 2008, 6(3): 201-204.
- [2] Li N, Zhang J Y, Zeng K W, et al. Anti-inflammatory homoisoflavonoids from the tuberous roots of *Ophiopogon japonicus* [J]. *Fitoterapia*, 2012, 83(6): 1042-1045.
- [3] 余健, 辛艳飞, 宣尧仙. 参麦注射液药理作用的物质基础研究进展 [J]. *医学导报*, 2013, 32(4): 497-500.
- [4] 徐淑华, 刘生友. 生脉注射液的药理作用研究进展 [J]. *中国药事*, 2010, 24(4): 405-407.
- [5] 吕梅冰, 艮秀华, 伍丽秋. 生脉饮口服液制备工艺改进 [J]. *广东药学院学报*, 1996, 12(2): 82-84.
- [6] 乔博灵, 丁美海, 张登科. 益气复脉胶囊稳定性考察 [J]. *中成药*, 2000, 22(4): 305-306.
- [7] 赵东永. 益气复脉注射液的临床应用研究进展 [J]. *中国现代药物应用*, 2015, 9(14): 272-273.
- [8] 黄光辉, 孙连娜. 麦冬多糖的研究进展 [J]. *现代药物与临床*, 2012, 27(5): 523-529.
- [9] Liu Y, Liang Y, Zhou Y, et al. Experimental evidence for ion accumulation time affecting qualitative and quantitative analysis of *Ophiopogon* in *Ophiopogon* extract by hybrid ion trap time-of-flight mass spectrometry [J]. *Chromatographia*, 2013, 76(15/16): 949-958.
- [10] Xie T, Liang Y, Hao H, et al. Rapid identification of ophiopogonins and ophiopogonones in *Ophiopogon japonicus* extract with a practical technique of mass defect filtering based on high resolution mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2012, 1227(5): 234-244.
- [11] 时潇丽, 姚春霞, 林晓, 等. 多糖药物应用与研究进展 [J]. *中国新药杂志*, 2014, 23(9): 1057-1062.
- [12] 马军守, 别继明, 金虹. 川麦冬及其须根中多糖和黄酮类有效成分定量分析 [J]. *西南科技大学学报*, 2008, 23(1): 83-86.
- [13] 邱飞, 王晓, 刁勇. 麦冬多糖的结构研究进展 [J]. *海峡药学*, 2015, 27(5): 8-11.
- [14] 徐德生, 冯怡, 林晓, 等. 麦冬多糖 MDG-1 的分离纯化和结构分析 [J]. *药学学报*, 2005, 40(7): 636-639.
- [15] 林晓, 徐德生, 冯怡, 等. 麦冬多糖的单糖组成研究 [J]. *中草药*, 2005, 36(10): 1488-1490.
- [16] 折改梅, 石阶平. 麦冬多糖 Md-1、Md-2 化学结构的研究 [J]. *西北药学杂志*, 2003, 18(2): 58-60.
- [17] 张娅芳. 麦冬多糖的结构分析及其体外抗氧化活性研究 [D]. 西安: 陕西师范大学, 2007: 1-67.
- [18] Chen X M, Jin J, Tang J, et al. Extraction, purification, characterization and hypoglycemic activity of a polysaccharide isolated from the root of *Ophiopogon japonicus* [J]. *Carbohydr Poly*, 2011, 83: 749-754.
- [19] 胡坪, 乔晚芳, 沈骏文, 等. 麦冬多糖单糖组成的分析方法研究 [J]. *药物分析杂志*, 2013, 33(1): 50-56.
- [20] 徐兢博, 朱作林, 金凤变, 等. 麦冬多糖的分离纯化及其组分的初步分析 [J]. *大连工业大学学报*, 2010, 29(6): 418-420.
- [21] 韩凤梅, 程伶俐, 李路军, 等. 山麦冬多糖的分离纯化及单糖组成研究 [J]. *中草药*, 2007, 38(1): 30-31.
- [22] Lin X, Xu D S. The study of monosaccharide composition in *Ophiopogon japonicus* polysaccharides [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2005, 36(10): 1488.
- [23] 马海波. 麦冬化学成分的研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2010: 1-70.
- [24] 唐丽琴, 李矗, 刘圣, 等. 蒽酮-硫酸比色法测定麦冬多糖的含量 [J]. *安徽医药*, 2003, 7(1): 39-40.
- [25] 冯怡, 韩宁, 徐德生. 麦冬多糖含量测定方法的研究 [J]. *中成药*, 2006, 28(5): 705-707.
- [26] 张萍, 张南平, 汗克孜, 等. 短葶山麦冬药材定性与定量分析方法研究 [J]. *药物分析杂志*, 2009, 29(1): 35-38.
- [27] 王晓华, 陈家春. 湖北麦冬多糖含量的测定 [J]. *湖北中医杂志*, 2005, 27(3): 50-51.
- [28] 郭永辉, 吕丽娟. 紫外可见分光光度法测定麦冬多糖中总糖含量的不确定度评定 [J]. *中国药师*, 2015, 18(1): 169-171.
- [29] 林颖, 吴毓敏, 吴雯, 等. 天然产物中的糖含量测定方法正确性的研究 [J]. *天然产物研究与开发*, 1996, 8(3): 5-9.
- [30] 卢智玲, 林晓, 冯怡, 等. 高效凝胶色谱法测定大鼠血浆中麦冬多糖 MDG-1 的含量 [J]. *中国药师*, 2008, 11(7): 768-770.
- [31] 王红英, 钱斯日古楞, 赵前程, 等. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定麦冬多糖含量 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2005, 36(5): 628-630.

- [32] 王 远, 秦民坚, 戚 近, 等. 近红外漫反射光谱法测定麦冬的多糖含量 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(10): 2677-2680.
- [33] Wang S, Zhang Z, Lin X, et al. A polysaccharide, MDG-1, induces S1P1 and bFGF expression and augments survival and angiogenesis in the ischemic heart [J]. Glycobiology, 2010, 20(4): 473-484.
- [34] Wang S, Lin X, Wang L Y, et al. A polysaccharides MDG-1 augments survival in the ischemic heart by inducing S1P release and S1P1 expression [J]. Int J Biol Macromol, 2012, 50(3): 734-740.
- [35] Zheng Q, Feng Y, Xu D S, et al. Influence of sulfation on anti-myocardial ischemic activity of *Ophiopogon japonicas* polysaccharide [J]. J Asian Nat Prod Res, 2009, 11(4): 306-321.
- [36] Tao J, Wang H, Zhou H, et al. The saponin monomer of dwarf lilyturf tuber, DT-13, reduces L-type calcium currents during hypoxia in adult rat ventricular myocytes [J]. Life Sci, 2005, 77(24): 3021-3030.
- [37] 马艳春, 朱丹妮, 余伯阳. 麦冬水提物抗急性心肌缺血活性部位的初步筛选 [J]. 时珍国医国药, 2013, 24(3): 561-563.
- [38] 周跃华, 徐德生, 冯 怡, 等. 麦冬提取物对小鼠心肌营养血流量的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2003, 9(1): 22-24.
- [39] 黄厚才, 倪 正, 蔡雪珠. 麦冬对大鼠血小板聚集率的影响 [J]. 上海实验动物科学, 2001, 21(3): 167-168.
- [40] 黄厚才, 倪 正. 麦冬对小鼠耳廓微循环的影响 [J]. 上海实验动物科学, 2003, 23(1): 57-58.
- [41] 郭 晶, 陈 非, 李丽华, 等. 中药麦冬对 D-半乳糖衰老模型大鼠血液流变性的影响 [J]. 中国生化药物杂志, 2002, 6(4): 246-246.
- [42] 许燕萍, 陈 琪. 麦冬多糖对大鼠脑缺血损伤的抗缺氧作用 [J]. 镇江医学院学报, 1996, 6(3): 217-218.
- [43] 刘易慧. 湖北麦冬多糖对细胞和 KKAY 小鼠模型的抗糖尿病作用及机理研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007: 1-87.
- [44] 肖作奇. 湖北麦冬多糖质量控制与抗糖尿病活性研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2014: 1-113.
- [45] 陈祥洪. 湖北麦冬抗 II 型糖尿病活性与物质基础研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011: 1-172.
- [46] 王 源, 王 硕, 王令仪, 等. 麦冬多糖 MDG-1 对糖尿病小鼠模型的降糖作用 [J]. 上海中医药大学学报, 2011, 25(4): 66-70.
- [47] 宁 萌, 潘 亮, 谢文利, 等. 麦冬提取物的降糖作用及其抗胰岛素抵抗的机制研究 [J]. 解放军医学杂志, 2013, 38(1): 26-29.
- [48] Kou J P, Sun Y, Lin Y W, et al. Anti-inflammatory activities of aqueous extract from radix *Ophiopogon japonicas* and its two constituents [J]. Biol Pharm Bull, 2005, 28(7): 1234-1238.
- [49] 汤 军, 黄 琦, 徐志瑛, 等. 麦冬多糖的免疫活性研究 [J]. 中国中医基础医学杂志, 1998, 4(9): 44-46.
- [50] 张力妮. 麦冬多糖的修饰、抗氧化活性以及结构的研究 [J]. 西安: 陕西师范大学, 2014: 1-63.
- [51] 黄 妮, 熊双丽, 卢 飞. 绵麦冬多糖的分离纯化及自由基清除活性 [J]. 林产化学与工业, 2011, 31(1): 68-72.
- [52] 李晓霞, 潘晓茹, 吴莉莉, 等. 麦冬对大肠杆菌代谢作用的微量热法研究 [J]. 山东中医药大学学报, 2001, 25(4): 307-309.
- [53] 汤 军, 钱 华, 黄 琦, 等. 麦冬多糖平喘和抗过敏作用研究 [J]. 中国现代应用药学杂志, 1999, 16(2): 16-19.