

一种薤白中性多糖的结构鉴定 及体外抗氧化活性研究

张占军^{1,3}, 王富花², 葛洪¹, 张军¹, 李海凤¹

(1.扬州市职业大学工程研究中心, 江苏扬州 225009;

2.扬州工业职业技术学院, 江苏扬州 225127;

3.南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095)

摘要:采用分步醇沉和柱层析的方法,从薤白中分离纯化得到一种中性多糖 AMP60N,其重均分子量为 11200 u,由阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖构成。经红外光谱分析,同时结合高碘酸氧化、Smith 降解及 GC 分析等手段,通过甲基化以及核磁共振波谱分析,初步确定了 AMP60N 主要由 Glc(1→2) 和 Ara(1→5) 构成,以 Gal(1→6) 和 Glc(1→6) 为支链的分子结构组成。对 AMP60N 清除各种自由基的研究表明其具有一定的体外抗氧化活性,呈现明显的量效关系,其抗氧化能力弱于 V_C。

关键词:薤白,多糖,结构鉴定,抗氧化活性

Structural characterization and *in vitro* antioxidant activities of a neutral polysaccharide from *Allium macrostemon* Bunge

ZHANG Zhan-jun^{1,3}, WANG Fu-hua², GE Hong¹, ZHANG Jun¹, LI Hai-feng¹

(1.Engineering Research Center, Yangzhou Vocational University, Yangzhou 225009, China;

2.Yangzhou Polytechnology Institute, Yangzhou 225127, China;

3.College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: By using the method of stepwise ethanol precipitation and column chromatography, a neutral polysaccharide named AMP60N was isolated from *Allium macrostemon* Bunge. The molecular weight of AMP60N was estimated to be 11200 u, which was composed of arabinose, glucose and galactose. AMP60N was characterized by using the periodic acid oxidation, Smith degradation, methylation, FT-IR, GC, GC-MS, NMR, etc. The *in vitro* antioxidant assay of AMP60N showed that it had certain antioxidant activities *in vitro*, which showed dose-effect relationship, oxidation resistance was weaker than V_C.

Key words: *Allium macrostemon* Bunge; polysaccharide; structural characterization; antioxidant activities

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)08-0077-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.08.007

薤白(*Allium macrostemon* Bunge),为百合科葱属多年生草本植物,又名小根蒜、野白头、山蒜、苦蒜、小么蒜、小根菜、野蒜、野葱等,属药食两用植物,我国大部分地区均有分布,其新鲜根茎叶均可作为蔬菜食用,中药中使用的薤白为将其茎叶及须根除去后,经沸水煮透,晒干或烘干后的炮制品^[1]。已有研究发现,薤白中含有挥发油、甙体皂甙、含氮化合物及多糖等多种活性成分,具有抗氧化、抑菌、抑癌、抑制血小板聚集、调血脂、抗动脉粥样硬化、镇痛和耐缺氧等多种生理活性^[2]。

多糖是自然界中广泛存在的一类生物大分子,因其具有的稳定性、安全性、生物相容性和丰富的生物活性等优势,被广泛应用于食品、医药、饲料和化

妆品等领域,深受人们关注。抗氧化活性是多糖重要的生理活性之一,已从自然界中发现大量的具有明显抗氧化作用的多糖。前期已对薤白粗多糖体外抗氧化活性及其对小鼠急性肝损伤的保护作用进行了研究^[3],本研究拟对薤白多糖 60% 醇沉组分进行纯化、结构鉴定及抗氧化活性进行研究,以期对薤白多糖基础研究提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

薤白(野白头) 购于安徽慧隆中药饮片有限公司,产地江苏丹阳;氯化钠、盐酸、氢氧化钠、苯酚、硫酸、考马斯亮蓝 G-250、无水乙醇、三氟乙酸、碘酸钠、乙二醇、硫酸钠、溴化钾等试剂 均为国产分析

收稿日期: 2016-09-22

作者简介: 张占军(1977-) 男,博士,副教授,研究方向: 食品生物技术, E-mail: moutaide@163.com。

基金项目: 江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK20141269);江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人资助[苏教师(2016)15号];江苏省第五期“333 高层次人才培养工程”资助。

纯;吡啶、盐酸羟胺、醋酸酐、肌醇、碘甲烷等试剂均为国产色谱纯;DEAE-纤维素-52、Sephadex G-100、Pullulan、牛血清白蛋白、1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH)、氯化硝基四氢唑蓝(NBT)、吩嗪硫酸甲酯(PMS)、还原型辅酶 I (NADH)、鼠李糖、岩藻糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、果糖、葡萄糖、半乳糖等试剂购自美国 Sigma 公司。

H8453 紫外可见分光光度计 美国惠普公司;BRUKER-VECTOR22 型傅立叶变换红外光谱仪 德国布鲁克光谱仪器;HP 1100 高效液相色谱系统(配有示差折光检测器和数据处理系统) 美国惠普公司;GC-16 型气相色谱仪 日本岛津公司;722S 型可见分光光度计 上海菁华科技仪器有限公司;HL-2B 恒流泵与 DBS-100A 型自动部份收集器 上海沪西分析仪器厂;Alpha 1-2 型冷冻干燥机 英国 LABCONCO 公司;Bruker DRX-600 型核磁共振仪 瑞士 Bruker 公司;MS Varian Saturn 2200 型气相-质谱联用仪 美国 Varian 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理 薤白烘干后粉碎,取过 60 目筛后粉末加石油醚回流脱脂 3 h,固液分离后烘干,90% 乙醇回流 1 h,残渣经干燥粉碎,得薤白预处理样品,保存备用。

1.2.2 薤白多糖的分步醇沉 取薤白预处理样品置圆底烧瓶中,按质量体积比 1:12 (g/mL) 加入去离子水 87 °C 温度下搅拌提取 100 min,提取结束后离心(5000 r/min,10 min),收集上清液,残渣重复提取 2 次。上清液合并后减压浓缩至一定体积,加乙醇至最终体积分数为 40%,5000 r/min 离心 10 min,取上清液,上清液浓缩至无醇后,加乙醇至终浓度为 60%,离心取沉淀物,冻干得薤白 60% 醇沉组分为粗多糖(AMP60)。

1.2.3 薤白粗多糖 AMP60 的分离纯化 薤白粗多糖经 DEAE-纤维素-52 交换柱色谱进行初步分离纯化,再用葡聚糖凝胶 Sephadex G-100 色谱柱进行进一步纯化^[4],得到中性多糖 AMP60N。

1.2.4 薤白多糖的基本理化性质分析 多糖样品采用苯酚-硫酸法^[5]测定总糖含量,采用考马斯亮蓝法测定糖醛酸含量,采用氯化钡-明胶比色法测定硫酸基含量。

1.2.5 薤白多糖结构分析

1.2.5.1 单糖组成分析 薤白多糖样品的单糖组成分析采用糖腈乙酸酯衍生物的气相色谱法^[6]。色谱柱:HP-5(0.25 μm×0.32 mm×30 m);程序升温:120 °C 保持 3 min,以 3 °C/min 升至 210 °C,保持 4 min;进样口温度 250 °C 检测器温度 280 °C 进样量 1.0 μL。

1.2.5.2 分子质量测定 采用高效液相凝胶渗透色谱法^[4]进行薤白多糖的纯度鉴定及相对分子质量测定。色谱柱:TSK-Gel G3000 SW_{xl}(7.8 mm×300 mm,5 μm);柱温 25 °C 示差检测器 流动相为含 0.1 mol/L Na₂SO₄ 的 0.01 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH6.8),流速 0.7 mL/min 进样量 20 μL。

1.2.5.3 红外光谱分析 采用 KBr 压片法进行薤白

多糖样品的红外光谱分析^[7]。取薤白多糖样品,按 1:100 比例与 KBr 研磨后压成薄片,以 KBr 为参照物,在 4000~500 cm⁻¹ 范围内进行红外光谱测定。

1.2.5.4 高碘酸氧化、Smith 降解及 GC 分析 高碘酸氧化、Smith 降解反应参照文献 [8] 报道的方法经适当修改进行。即取 25 mg 薤白多糖,溶于 NaIO₄ 溶液 4 °C 暗处反应,间歇振荡,至吸光值基本稳定,计算 NaIO₄ 消耗量。加乙二醇还原过量的高碘酸,取反应液用 NaOH 溶液进行滴定,计算甲酸的生成量。反应液加硼氢化钠,静置反应,反应完全后加少量乙酸分解多余的硼氢化钠,然后自来水流水透析 24 h,去离子水透析 24 h。收集透析液,50 °C 减压蒸发至干,加入三氟乙酸水解,制备糖腈乙酸酯衍生物,最后用气相色谱法进行检测。

1.2.5.5 甲基化分析 薤白多糖样品的甲基化及 GC/MS 分析,参照文献 [9] 报道的方法稍作修改。具体如下:取 20 mg 干燥的薤白多糖样品于带塞离心管中,加入 1.0 mL 的二甲基亚砷,超声波并漩涡振荡,加入制备好的 NaOH-DMSO 混悬液及碘甲烷,加盖密封,反应完全后加去离子水终止甲基化反应。反应液转入透析袋,去离子水透析 48 h,冷冻干燥得甲基化多糖产物。产物经红外光谱检测,应在 3400 cm⁻¹ 附近无羟基的特征吸收峰,否则,重复上述操作。将甲基化完全的薤白多糖制备成糖腈乙酸酯衍生物,进 GC-MS 分析。色谱条件:DB-5MS 石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);程序升温,初温 80 °C,保温 1 min,以 8 °C/min 升至 210 °C,保温 1 min,再以 20 °C/min 升至 260 °C,保温 1 min。载气为氦气,进样口温度 250 °C,分流比 1:50,柱流速 1.0 mL/min,质荷比(m/z) 扫描范围 30~450,扫描速率 2.5 scan/s。

1.2.5.6 核磁共振波谱分析 称取 30 mg 薤白多糖样品,溶于 D₂O,经核磁共振波谱仪进行¹H-NMR 和¹³C-NMR 光谱分析,以四甲基硅烷(TMS)为内标。

1.2.6 体外抗氧化活性研究 以 V_c 作为对照品,对薤白多糖 AMP60N 清除 DPPH 自由基、羟基自由基和超氧阴离子自由基进行清除能力测定,所有数据均测定 3 次,以平均值±标准差方式表示。

1.2.6.1 DPPH 自由基清除能力测定 清除 DPPH 自由基能力的测定参照 Xu 等^[10]报道的方法稍作修改。即取 0.4 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液 0.5 mL,加入 3.0 mL 不同浓度(0.5~6.0 mg/mL) AMP60N 溶液,混匀后于 25 °C 温度下避光反应 30 min,然后在 517 nm 波长下测定其吸光度。

$$\text{DPPH 清除率}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100$$

式中:A₀ 为去离子水代替多糖样品的吸光值,A₁ 为多糖样品测定吸光值,A₂ 为无水乙醇代替 DPPH 溶液的吸光值。

1.2.6.2 羟基自由基(OH·)清除能力的测定 清除羟基自由基(OH·)能力的测定按照文献报道的方法^[11]并稍作修改。具体为 1.0 mL 不同浓度(0.5~6.0 mg/mL)的 AMP60N 样品,与 1.0 mL 硫酸亚铁溶液(9 mmol/L),1.0 mL 水杨酸乙醇溶液(9.0 mmol/L),

表1 AMP60N 的基本理化性质

Table 1 Preliminary characterization of AMP60N

	总糖(%)	蛋白质(%)	糖醛酸(%)	硫酸基(%)
AMP60	95.26 ± 2.75	-	5.35 ± 0.42	0.70 ± 0.02
AMP60N	95.59 ± 3.83	-	1.84 ± 0.95	0.20 ± 0.03

注: -: 未检出。

混匀后加入 1.0 mL H₂O₂ 溶液(0.025% ,w/v) ,在 25 °C 温度下反应 60 min ,用分光光度计在波长 510 nm 下测定吸光值。

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100$$

式中 A₀ 为去离子水代替多糖样品的吸光值 A₁ 为多糖样品测定吸光值 A₂ 为去离子水替代 H₂O₂ 溶液的吸光值。

1.2.6.3 超氧阴离子自由基(O₂^{-·}) 清除能力测定 清除超氧阴离子自由基能力的测定按照 Ye 等^[12] 报道的方法略有修改。即取不同浓度(0.5 ~ 6.0 mg) 的 AMP60N 样品溶液 1.0 mL 加入 156 μmol/L NBT 溶液和 312 μmol/L NADH 溶液各 1.0 mL 混匀后加入 50 μmol/L PMS 溶液 1.0 mL。在温度 25 °C 下反应 5 min 后于波长 560 nm 处测吸光值。NBT、NADH 和 PMS 溶液均用 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液(pH = 7.4) 配制。

$$\text{超氧阴离子自由基清除率}(\%) = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100$$

式中 A₀ 为去离子水代替多糖样品的吸光值 A₁ 为多糖样品测定吸光值 A₂ 为磷酸缓冲液替代 NBT 溶液的吸光值。

1.3 数据处理

实验数据以平均值 ± 标准差方式表示 ,采用 Origin Pro 9.0 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 AMP60 的分离纯化

2.1.1 AMP60 的 DEAE-纤维素-52 色谱法分离 将薤白多糖 60% 醇沉组分 AMP60 溶于适量去离子水中 ,进行 DEAE-52 纤维素柱层析 ,依次用去离子水、0.1、0.3、0.5 mol/L NaCl 溶液梯度洗脱 ,自动收集器 10 mL/管分部收集 ,苯酚硫酸法检测各管糖含量 ,绘制洗脱曲线 ,如图 1 所示。

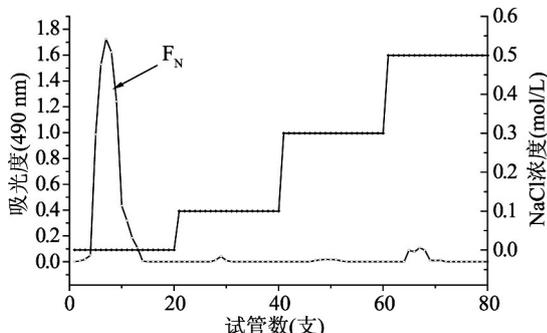


图1 AMP60 的纤维素色谱洗脱曲线

Fig.1 Elution profile of AMP60 on DEAE cellulose-52 column

从图 1 可以看出 ,薤白多糖 60% 醇沉组分 AMP60 经 DEAE-52 纤维素柱层析后 ,多糖主要集中在去离子水洗脱部分 ,为中性多糖组分 F_N ,其占 AMP60 的比例为 53.74% 。

2.1.2 F_N 的 Sephadex G-100 凝胶柱纯化 经 DEAE-52 纤维素色谱柱初步纯化的组分 F_N 经 Sephadex G-100 凝胶柱色谱进一步纯化 ,得到 1 个纯化组分 ,命名为 AMP60N ,纯化得率为 62.63% 。

2.2 AMP60 及 AMP60N 的基本理化性质

薤白多糖 60% 醇沉组分 AMP60 及其纯化组分 AMP60N 的总糖、蛋白质、糖醛酸及硫酸基含量如表 1 所示。

2.3 单糖组成分析

将 AMP60N 制备成糖腭乙酰酯衍生物后进行 GC 分析 ,保留时间与标准单糖的气相色谱图对照 ,从图 2 可以看出 薤白多糖 AMP60N 由阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖构成 3 种单糖的摩尔比为 9.73: 1.10: 1.00。

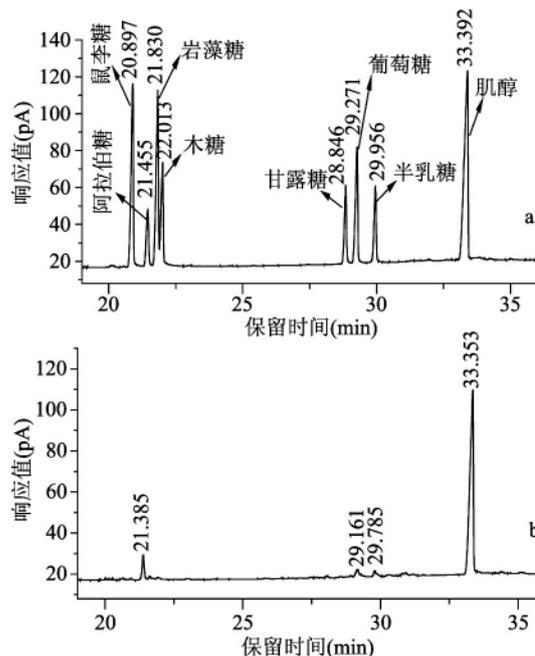


图2 标准单糖(a)、AMP60N(b)糖腭乙酰酯衍生物的气相色谱图

Fig.2 GC chromatograms of derivatives of standard monosaccharide(a) and AMP60N(b)

2.4 纯度鉴定及相对分子质量测定

通过高效液相凝胶渗透色谱法 ,对 AMP60N 进行纯度鉴定及相对分子质量测定。

从图 3 可以看出 ,在 HPGPC 谱图上显示峰形为一对称单峰 ,说明 AMP60N 为均一多糖。其保留时间 14.487 min ,通过以普鲁兰多糖绘制的分子量标准曲线 ,计算得到 AMP60N 重均分子量为 11200 u。

表2 AMP60N 甲基化糖残基的 GC/MS 数据
Table 2 GC/MS data of methylated sugar residues of AMP60N

实验号	甲基化糖残基	保留时间 (min)	主要质谱碎片 (m/z)	摩尔百分比 (%)	连接键型
1	2,3,5-三甲基阿拉伯糖	9.510	43, 80, 103, 159, 217	22.9	Terminal
2	2-β-二甲基阿拉伯糖	10.244	43, 73, 105, 149, 191, 221, 251, 281, 327, 383	12.2	→5)-Ara-(1→
3	3,4,6-三甲基葡萄糖	16.950	43, 87, 129, 161, 189, 221, 249, 291	22.4	→2)-Glc-(1→
4	3,4-二甲基葡萄糖	18.699	43, 87, 129, 149, 189, 209, 281, 319, 355, 429	15.1	→2,6)-Glc-(1→
5	3,4-二甲基半乳糖	20.883	43, 83, 101, 159, 189, 221, 247, 281, 355, 429	27.4	→2,6)-Gal-(1→

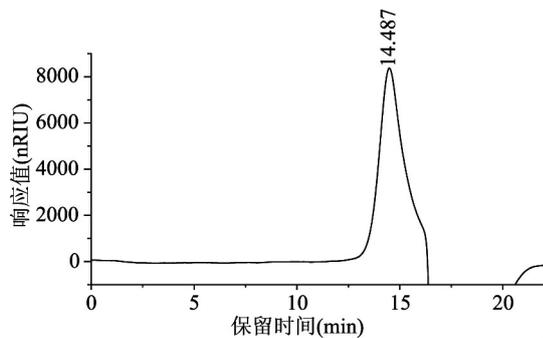


图3 AMP60N 的高效液相凝胶渗透色谱图
Fig.3 HPGPC spectrum of AMP60N

2.5 红外光谱分析

将 AMP60N 采用 KBr 压片法进行红外光谱分析,结果如图 4 所示。

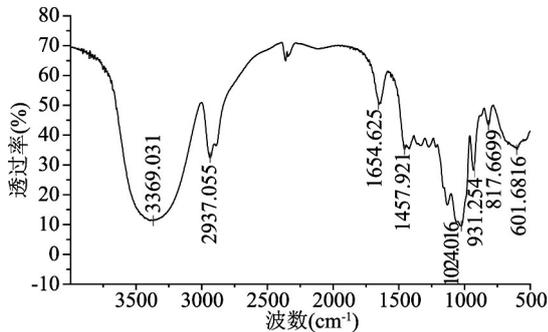


图4 AMP60N 的红外光谱图
Fig.4 Infrared spectra of AMP60N

从图 4 可以看出,3369 cm^{-1} 处的强吸收峰为 O-H 键的伸缩振动吸收,2937 cm^{-1} 处出现多糖的 C-H 强伸缩振动峰,这两组吸收峰为糖类化合物的特征吸收峰。1024 cm^{-1} 处出现吸收峰是由吡喃糖环的 C=O 伸缩振动造成的,931 cm^{-1} 处和 601 cm^{-1} 处分别是由吡喃环的非对称环伸缩振动和对称伸缩振动产生的吸收峰^[13],表明 AMP60N 主要为吡喃环糖苷连接。

2.6 高碘酸氧化、Smith 降解及 GC 分析

AMP60N 在高碘酸氧化过程中,每摩尔糖基消耗高碘酸钠量为 1.6176 mol,产生甲酸 0.1197 mol,说明 AMP60N 可能含有 1→6 位键合的糖基或非还原末端糖基,由于高碘酸消耗量大于 2 倍的甲酸生成量,说明还可能只消耗高碘酸而不生成甲酸的 1→2、1→2,6、1→4 或 1→4,6 等连接键型。进一步对 AMP60N 的 Smith 降解产物进行气相色谱发现,产物

中有甘油生成,说明可能存在产生甘油的键型或 1→5 连接的戊糖,产物中无赤藓醇,说明不含有 1→4 和 1→4,6 键型的己糖。产物中未检测到阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖,说明这三种单糖都是以可被高碘酸氧化的键型存在。

2.7 甲基化分析

AMP60N 的甲基化产物经红外光谱分析,羟基吸收峰基本消失,甲基吸收峰有所增强,说明甲基化完全。甲基化样品再通过酸水解、硼氢化钠还原以及乙酰化,得到部分甲基化糖醇乙酸酯(PMAA)产物,对其进行 GC-MS 分析,根据质谱图和单糖组成,AMP60N 的甲基化糖残基、主要质谱碎片(m/z)、保留时间、摩尔比以及连接键型列于表 2。

从表 2 可以看出,薤白中性多糖 AMP60N 中吡喃葡萄糖以 1,2 位连接吡喃葡萄糖和 1,2,6 位连接吡喃葡萄糖方式存在,阿拉伯糖以末端残基和 1,5 位连接阿拉伯糖的方式存在,而半乳糖 1,2,6 位连接的半乳糖方式存在。

2.8 核磁共振波谱分析

多糖的 $^1\text{H-NMR}$ 主要用来确定多糖结构中糖苷键的构型。但由于糖环碳上大部分质子受羟基的屏蔽作用,使得化学位移集中大部分在 3~4 ppm 范围内,造成严重的信号重叠交叉,解析困难^[14]。图 5 为 AMP60N 的 $^{13}\text{C-NMR}$ 谱,可以明显看出,在 δ 103~104 ppm 范围内出现的 4 个碳信号,均为 β 型糖苷异头碳的共振信号;在 δ 78~85 ppm 范围内出现了两个碳信号,表明 C-2、C-3 或 C-4 中有碳发生取代。

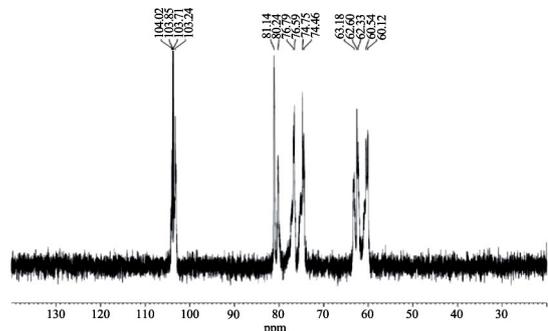


图5 AMP60N 的 $^{13}\text{C-NMR}$ 图谱
Fig.5 $^{13}\text{C-NMR}$ spectrum of AMP60N

结合上述各种方法可以推断,AMP60N 主要由 Glc(1→2) 和 Ara(1→5) 构成,以 Gal(1→6) 和 Glc(1→6) 为支链,分支点位于 Glc(1→2) 的 C-6 处,末端残基为 Ara,各糖苷主要以 β -吡喃糖形式存在。

2.9 抗氧化活性

2.9.1 DPPH 自由基清除活性 不同浓度的薤白多糖 AMP60N 清除 DPPH 自由基的活性测定结果如图 6 所示。结果表明,中性多糖 AMP60N 具有一定的 DPPH 自由基清除能力,且清除率随着浓度增加而升高,在测定范围内呈明显的量效关系。但与 V_c 的清除能力相比较而言,清除能力较弱。

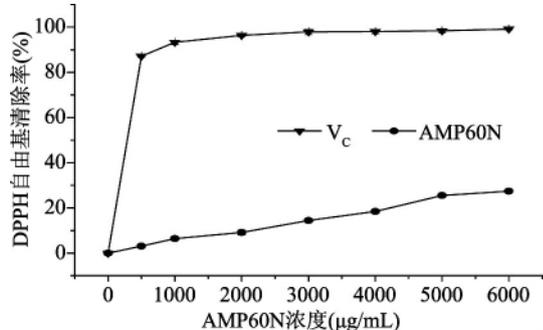


图 6 AMP60N 清除 DPPH 自由基的活性

Fig.6 Scavenging activity of AMP60N on DPPH·

2.9.2 羟基自由基清除活性 不同浓度的中性多糖 AMP60N 清除羟基自由基(OH·)的活性测定结果如图 7 所示。结果发现,AMP60N 对于羟基自由基的清除能力具有明显的量效依赖关系。在多糖浓度达 6000 µg/mL 时,羟基自由基清除率可达 38.53%。

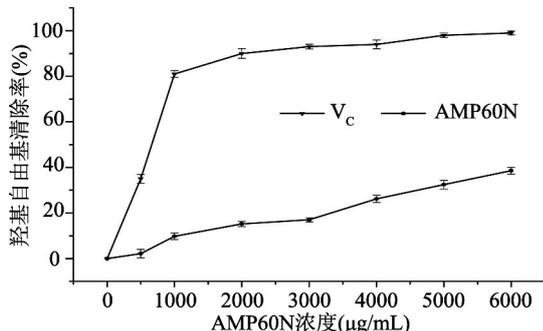


图 7 AMP60N 清除羟基自由基的活性

Fig.7 Scavenging activity of AMP60N on OH·

2.9.3 超氧阴离子自由基清除活性 不同浓度的 AMP60N 清除超氧阴离子自由基(O₂⁻·)的活性测定结果如图 8 所示。测定结果表明,AMP60N 对于超氧阴离子自由基具有一定的清除能力,清除率随着浓度的增大而升高,在测定范围内存在量效依赖关系。

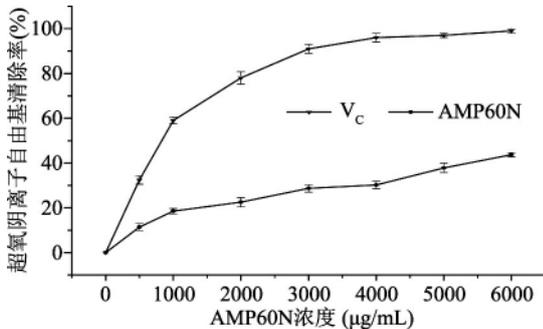


图 8 AMP60N 清除超氧阴离子自由基的活性

Fig.8 Scavenging activity of AMP60N on O₂⁻·

3 结论

通过分步醇沉的方法,从药食两用植物薤白的 60% 醇沉组分中分离纯化了一种中性多糖 AMP60N, AMP60N 重均分子量为 11200 u,由阿拉伯糖,葡萄糖和半乳糖构成 3 种单糖的摩尔比为 9.73: 1.10: 1.00,经红外光谱分析,同时结合高碘酸氧化、Smith 降解及 GC 分析等手段,通过甲基化分析,核磁共振波谱分析,初步确定 AMP60N 的分子结构中存在有以 1,2 位和 1,2,6 位连接的葡萄糖,以及 1,5 位连接的阿拉伯糖和阿拉伯糖末端残基,同时还存在以 1,2,6 位连接的半乳糖,各糖苷主要以 β-吡喃糖形式存在。通过对 AMP60N 清除 DPPH 自由基、羟基自由基和超氧阴离子自由基的活性实验测定表明,AMP60N 具有一定的体外抗氧化活性,且呈现明显的量效关系,但与 V_c 相比较,其抗氧化能力较弱。

参考文献

[1]张占军,王富花.药食两用植物薤白研究进展[J].食品研究与开发,2012,33(11):234-237.
 [2]盛华刚.薤白的化学成分和药理作用研究进展[J].药学研究,2013,32(1):42-44.
 [3]张占军,王富花,曾晓雄.薤白多糖体外抗氧化活性及其对小鼠急性肝损伤的保护作用研究[J].现代食品科技,2014(1):1-6.
 [4]Zhang Zhanjun, Wang Fuhua, Wang Mingchun, et al. A comparative study of the neutral and acidic polysaccharides from Allium macrostemon Bunge [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117: 980-987.
 [5]郑朋朋,李珊,张保,等.苯酚硫酸法测定萌发菌 HL-003 多糖方法的研究[J].食品工业科技,2016,37(6):74-77.
 [6]Tian Yuting, Zhao Yingting, Zeng Hongliang, et al. Structural characterization of a novel neutral polysaccharide from Lentinus giganteus and its antitumor activity through inducing apoptosis [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 154: 231-240.
 [7]Cui Chun, Lu Jianghong, Sun Dongxiao, et al. Polysaccharides from Laminaria japonica: Structural characteristics and antioxidant activity [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 73: 602-608.
 [8]Wu Mianbin, Zhang Feifei, Yu Zhangping, et al. Chemical characterization and *in vitro* antitumor activity of a single-component polysaccharide from Taxus chinensis var. mairei [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 133: 294-301.
 [9]Du Dongsheng, Lu Yan, Cheng Zhihong, et al. Structure characterization of two novel polysaccharides isolated from the spikes of Prunella vulgaris and their anticomplement activities [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 193: 345-353.
 [10]Xu Zhou, Wang Handong, Wang Bulei, et al. Characterization and antioxidant activities of polysaccharides from the leaves of Lilium lancifolium Thunb [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 92: 148-155.
 [11]Xie Xianfei, Zou Guolin, Li Chenghai. Purification, characterization and *in vitro* antioxidant activities of

(下转第 86 页)

稀释了面筋蛋白,对面筋网络的形成产生负面作用;二是竹笋膳食纤维良好的亲水持水性,影响了面筋蛋白的吸水和面团中淀粉的吸水和溶胀,进而影响面团的质构特性。竹笋膳食纤维添加量为3.0%时,其硬度、弹性、粘附性和咀嚼性达到最大值,分别增加了15.8%、8.2%、137.6%和33.6%,在此时面团的各项质构特性达到最大的状态。适量的竹笋膳食纤维添加量提高了面团的质构特性。

3 结论

近年来由于人们的饮食结构发生变化,膳食纤维摄入不足,开发富含膳食纤维含量的功能性食品,特别是主食产品越来越受到人们的关注。本文研究了不同竹笋膳食纤维添加量对面团的加工性能(粉质特性、拉伸和流变学特性以及质构特性)的影响。研究表明:添加适量的竹笋膳食纤维能构提高面团的稳定时间、粉质质量指数;添加竹笋膳食纤维后由于面团体系中高聚物增加,其弹性、黏性和咀嚼性均有不同程度的改善,但当添加量超过3.0%时,将对面团的流变特性起到弱化作用;同时添加少量的竹笋膳食纤维改善了面团的部分质构特性。本文的研究为面团品质的改善和膳食纤维在面团中的应用提供了一定的理论基础。

参考文献

- [1] Anderson JW, Baird P, Davis JRH, et al. Health benefits of dietary fiber [J]. Nutrition Reviews 2009 67(4): 188-205.
- [2] Sangnark A, A Noomhorm. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw [J]. Food Research International 2004 37(1): 66-74.
- [3] 金晖 孟怡璠 陈萍 等. 不同颗粒度南瓜不溶性膳食纤维的功能性质研究 [J]. 中国食品学报 2013 13(9): 15-21.
- [4] 钱海峰 王杰琼 王立 等. 高膳食纤维面制主食的研究进展 [J]. 食品工业科技 2015 36(9): 385-389.
- [5] Aravind N, Sissons M, Egan, et al. Effect of insoluble dietary fiber addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti [J]. Food Chemistry, 2012, 132(2): 993-1002.
- [6] 李丹丹 周杰 张静 等. 菊糖对馒头品质的影响 [J]. 安徽农业科学 2011 39(32): 20047-20049.
- [7] 王岸娜 李秀玲 吴立根. 玉米种皮膳食纤维对面团流变学特性及饺子皮品质的影响 [J]. 河南工业大学学报: 自然科学版 2012 33(4): 5-10.
- [8] Sabanis D, Lebesi D, Tzia C, et al. Effect of dietary fiber enrichment on selected properties of gluten-free bread [J]. LWT-Food Science and Technology 2009 42(8): 1380-1389.
- [9] Nirmala C, Bisht MS, Laishram ML, et al. Bioactive compounds

in bamboo shoots: health benefits and prospects for developing functional foods [J]. International Journal of Food Science and Technology 2014 49(6): 1425-1431.

- [10] Chongtham N, Bisht MS, Haorongbam S, et al. Nutritional Properties of Bamboo Shoots: Potential and Prospects for Utilization as a Health Food [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2011 10(3): 153-168.
- [11] 林倩 王强 刘红芝. 竹笋深加工及其功能活性研究进展 [J]. 天然产物研究与开发 2012 24: 136-141.
- [12] 曹小敏. 雷竹笋膳食纤维的制取工艺及其特性研究 [D]. 四川: 四川农业大学 2005.
- [13] He M, Van DRM, Rimm E, et al. Whole-grain cereal fiber, bran, and germ intake and the risks of all-cause and cardiovascular disease-specific mortality among women with type 2 diabetes mellitus [J]. Circulation 2010 121(20): 2162-2168.
- [14] Burger KN, Beulens JW, Van DSYT, et al. Dietary fiber, carbohydrate quality and quantity, and mortality risk of individuals with diabetes mellitus [J]. PLoS One 2012 7(8): 127-143.
- [15] Deschasaux M, Pouchieu C, His M, et al. Dietary total and insoluble fiber intakes are inversely associated with prostate cancer risk [J]. The Journal of Nutrition 2014 144(4): 504-514.
- [16] Khatkar BS, Bell AE, Schofield JD, et al. The Dynamic Rheological Properties of Gluten and Gluten Sub-Fractions from Wheats of Good and Poor Bread Making Quality [J]. Journal of Cereal Science 1995 22(1): 29-44.
- [17] Kokini JL, Cocero AM, Madeka H, et al. The development of state diagrams for cereal proteins [J]. Trends in Food Science and Technology 1994 5(9): 281-288.
- [18] Weipert D. The benefits of basic rheometry in studying dough rheology [J]. Cereal Chemistry 1990 67: 311-317.
- [19] Nirmala C, Bisht M S, Laishram M, et al. Bioactive compounds in bamboo shoots: health benefits and prospects for developing functional foods [J]. International Journal of Food Science & Technology 2013 49(6): 1425-1431.
- [20] Sonar N R, Halami P M. Phenotypic identification and technological attributes of native lactic acid bacteria present in fermented bamboo shoot products from North-East India [J]. Journal of Food Science & Technology 2014 51(12): 4143-4148.
- [21] 李里特. 食品物性学 [M]. 北京: 中国农业出版社 2011.
- [22] Bourne MC. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement [M]. New York: academic press INC, 1982: 114-117.
- [23] 陈娟 徐学明. 软曲奇质地的 TPA 质构分析 [J]. 中国粮油学报 2008 23(1): 194-202.

(上接第81页)

- polysaccharide from *Chaenomeles speciosa* [J]. International Journal of Biological Macromolecules 2016 92: 702-707.
- [12] Ye Zipeng, Wang Wei, Yuan Qingxia, et al. Box-Behnken design for extraction optimization, characterization and *in vitro* antioxidant activity of *Cicer arietinum* L. hull polysaccharides [J].

Carbohydrate Polymers 2016 147: 354-364.

- [13] 伍乐芹 张静 孙润广 等. 白术多糖的分离纯化与结构表征 [J]. 高等学校化学学报 2011 32(12): 2812-2816.
- [14] 刘玉红 王凤山. 核磁共振波谱法在多糖结构分析中的应用 [J]. 食品与药品 2007 9(8): 39-43.