

# 小麦制粉产物中阿糖基木聚糖的制备及其分子特性研究

王晓曦<sup>1,2</sup>, 郑学玲<sup>2</sup>, 马森<sup>2</sup>, 程永强<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100086) (2. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)

**摘要:** 以小麦为原料, 研究了小麦麸皮、小麦次粉和小麦粉中阿糖基木聚糖的得率、单糖组成、阿拉伯糖与木糖质量比、分子量和分子量分布等性质。结果表明: 小麦麸皮、小麦次粉和小麦粉的阿糖基木聚糖得率分别为 8.99%、7.28%和 1.12%, 其单糖组成主要为阿拉伯糖和木糖。小麦麸皮中的阿糖基木聚糖具有较低的阿拉伯糖与木糖比, 表明其直链较少。HPSEC 分析结果表明小麦粉阿糖基木聚糖分子量最高, 而麸皮阿糖基木聚糖分子量最低。动态光散射分析得出三种阿糖基木聚糖水溶液的粒度大于其碱性溶液粒度, 表明阿糖基木聚糖在不同的溶液中具有不同的聚合度。对三种阿糖基木聚糖进行回收率分析显示, 1.0 M NaOH 溶液可作为阿糖基木聚糖的良好溶剂, 而水作为溶剂效果较差。综上所述, 小麦麸皮、小麦次粉可作为阿糖基木聚糖的有效资源。

**关键词:** 阿糖基木聚糖; 小麦麸皮; 小麦粉; 次粉; 制备; 分子量

文章编号: 1673-9078(2014)3-126-129

## Preparation and Molecular Characteristics of Arabinoxylans from Different Wheat Milling Fractions

WANG Xiao-xi<sup>1,2</sup>, ZHENG Xue-ling<sup>2</sup>, MA Sen<sup>2</sup>, CHENG Yong-qiang<sup>1</sup>

(1. College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100086, China)

(2. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** Arabinoxylans prepared from wheat bran, shorts and flour were characterized by monosaccharide composition, weight ratio of arabinose and xylose, molecular weight and molecular weight distribution. The yields of arabinoxylans from bran (WBAX), shorts (WSAX) and flour (WFAX) were 8.99%, 7.28% and 1.12%, respectively. Arabinose and xylose were the main monosaccharide. WBAX had the lowest Ara/Xyl ratio compared with WSAX and WFAX, indicating it had less linear chain. HPSEC analysis showed that WFAX possessed the highest molecular weight, while WBAX had the lowest molecular weight. Dynamic light scattering (DLS) studies found that the particle size of the three arabinoxylans in water was larger than in alkaline solution, suggesting the degree of aggregation of arabinoxylans varied in different solvents. Based on the recovery of WBAX, WSAX and WFAX from different solvents by DLS analysis, 1.0 M NaOH solution exhibited good solvent property for wheat arabinoxylans. In contrast, water appeared to be a poor solvent. All results showed that wheat bran and shorts could be used as effective resources for arabinoxylans.

**Key words:** arabinoxylan; wheat bran; wheat shorts; wheat flour; preparation, molecular weight

小麦阿糖基木聚糖 (AX) 是小麦籽粒中最重要的非淀粉多糖之一, 主要存在于细胞壁多糖中, 其含量为小麦籽粒的 4~8%<sup>[1]</sup>。它具有高粘度、强水结合力、氧化交联形成凝胶等特点, 对面团形成、面团流变特性、淀粉凝胶化、淀粉老化、面制品营养特性等

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31271815、31271816、31101243); 河南省高校科技创新团队资助项目 (13IRTSTHN008); “十二五” 国家科技支撑计划课题 (2012BAD34B01)

作者简介: 王晓曦 (1963-), 男, 教授, 研究方向: 谷物品质与应用

通讯作者: 郑学玲 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 谷物品质与应用

方面具有重要的影响<sup>[2-3]</sup>。此外, AX 具有防癌、抗肿瘤、预防心血管疾病、增强免疫力等生理功能<sup>[4-5]</sup>, 在食品、药品和化妆品等领域有良好的应用前景。

小麦制粉过程中会形成的副产物麸皮和次粉均含有一定量的 AX。其中, 麸皮占小麦籽粒质量的 20%, 含有丰富的膳食纤维, 同时还具有极好的膨化能力。次粉由制粉过程中的尾磨部位得到, 含量为小麦籽粒质量的 5%。胚乳是小麦制粉过程中的另一种副产物, 其 AX 含量较少, 仅为 2~3%, 主要用于油脂的制备。因此, 本文选择小麦麸皮和次粉制备 AX, 从而增加其在食品和制药工业应用价值。近年来, 许多学者对

小麦粉和麸皮中的 AX 的提取进行了大量的研究, 通常采用热水、一定浓度的碱溶液(氢氧化钠、氢氧化钙、氢氧化钾等)来制备 AX。并且, 不同的制备方法得到的 AX 具有不同的物理化学特性。例如, 热水提取得到的 AX 比碱作为提取剂时得到的 AX 具有较高的阿拉伯糖/木聚糖比, 但其分子量较低<sup>[6-7]</sup>。然而, 关于次粉中 AX 的研究未见报道, 并且也未发现对这三种来源 AX 的性质进行比较。本文主要研究小麦制粉产物中 AX 的得率, 并用常规分析和高效阴离子交换色谱(HPAEC)、排阻色谱(HPSEC)、动态激光散射仪(DLS)等方法测定麸皮 AX 其分子特性和化学组成, 为综合利用小麦 AX 资源提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

小麦: 豫麦 34; 小麦粉、麸皮、次粉由郑州海嘉食品有限公司提供。

### 1.2 主要仪器与设备

ICS3000 离子色谱仪, 美国 Dionex 公司; Waters 600 高效液相色谱仪, 美国 Waters 公司; BI-200SM 型多角激光光散射仪, 美国 Brookhaven 公司; UV-2051PC 分光光度计, 日本岛津公司; 全自动凯式定氮仪, 丹麦 FOSS 公司。

### 1.3 试验方法

AX 的制备: 小麦麸皮和次粉 AX 的制备采用 Cui 的方法<sup>[8]</sup>; 小麦粉 AX 制备采用 Hoffman 的方法<sup>[9]</sup>。

用 AACC 44-15A 和 08-01 方法测定水分和灰分含量; 用自动定氮仪分析粗蛋白含量; AACC 76-13 测定淀粉含量; 比色法测定 AX 含量<sup>[10]</sup>; 酶法测定  $\beta$ -葡聚糖含量<sup>[11]</sup>。用 HPAEC 测定 AX 的单糖组成; 用 HPSEC 测定 AX 的分子量、回转半径、特征粘度; 用 DLS 测定 AX 的粒度特性。所有实验重复三次, 得到的数值用 Originlab 8.5 作图和分析, 其实验结果用平均值 $\pm$ 绝对偏差形式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦粉、次粉和麸皮的成分分析

小麦粉、次粉和麸皮的化学成分和单糖组成由表 1 和表 2 所示。由表 1 可以看出, 麸皮主要由非纤维质糖(45.92%)、蛋白质(7.32%)和灰分(5.77%)组成, 其非纤维质单糖组成主要为葡萄糖(23.66%)、

木糖(16.55%)和阿拉伯糖(9.83%), 还含有少量的  $\beta$ -葡聚糖(2.75%)。次粉的蛋白质、灰分和  $\beta$ -葡聚糖含量分别为 14.75%、6.23%和 3.44%, 它的非纤维质糖明显高于麸皮, 其非纤维质糖主要由葡萄糖(40.08%)、木糖(9.13%)和阿拉伯糖(5.95%)组成。基于以上分析得出, AX 作为主要的非淀粉多糖, 主要存在于小麦籽粒的外层和糊粉层, 是小麦麸皮和次粉中主要的非淀粉和非纤维质多糖。

表 1 小麦粉、次粉和麸皮的化学成分

Table 1 Compositions of wheat bran, shorts and flour

化学成分	麸皮/%	次粉/%	小麦粉/%
灰分	5.77 $\pm$ 0.07	6.23 $\pm$ 0.08	0.49 $\pm$ 0.03
粗蛋白	7.32 $\pm$ 0.16	14.75 $\pm$ 0.32	11.4 $\pm$ 0.22
淀粉	20.62 $\pm$ 0.46	42.62 $\pm$ 0.64	69.12 $\pm$ 1.02
阿糖基木聚糖	25.3 $\pm$ 1.06	15.4 $\pm$ 0.78	3.32 $\pm$ 0.08
$\beta$ -葡聚糖	2.75 $\pm$ 0.05	3.44 $\pm$ 0.06	0.43 $\pm$ 0.04

表 2 小麦粉、次粉和麸皮的单糖组成

Table 2 Monosaccharide compositions of wheat bran, shorts and flour

单糖组成	麸皮/%	次粉/%	小麦粉/%
非纤维质糖	45.78 $\pm$ 1.95	50.69 $\pm$ 2.20	70.06 $\pm$ 1.80
阿拉伯糖	9.83 $\pm$ 0.42	5.95 $\pm$ 0.33	2.72 $\pm$ 0.12
半乳糖	1.42 $\pm$ 0.05	1.50 $\pm$ 0.04	0.56 $\pm$ 0.02
葡萄糖	23.66 $\pm$ 1.00	40.08 $\pm$ 1.46	69.92 $\pm$ 1.52
木糖	16.55 $\pm$ 0.48	9.13 $\pm$ 0.37	3.68 $\pm$ 0.16
阿拉伯糖/木糖	0.59 $\pm$ 0.03	0.65 $\pm$ 0.02	0.74 $\pm$ 0.02

### 2.2 AX 的制备和成分分析

表 3 麸皮、小麦粉和次粉 AX 的成分分析

Table 3 Chemical compositions of AX from wheat bran, shorts and flour

成分	麸皮	次粉	小麦粉
得率/%	8.99 $\pm$ 0.40	7.28 $\pm$ 0.32	1.12 $\pm$ 0.04
成分/%			
灰分	2.09 $\pm$ 0.08	2.33 $\pm$ 0.06	2.12 $\pm$ 0.05
粗蛋白	4.14 $\pm$ 0.12	5.32 $\pm$ 0.15	5.76 $\pm$ 0.20
水解单糖/%			
阿拉伯糖	32.82 $\pm$ 0.80	32.73 $\pm$ 0.78	35.13 $\pm$ 0.62
半乳糖	1.81 $\pm$ 0.05	1.19 $\pm$ 0.03	1.37 $\pm$ 0.06
葡萄糖	2.11 $\pm$ 0.10	3.21 $\pm$ 0.08	1.04 $\pm$ 0.11
木糖	59.19 $\pm$ 0.84	54.82 $\pm$ 0.72	48.27 $\pm$ 0.64
阿糖基木聚糖	80.89 $\pm$ 1.54	77.04 $\pm$ 1.61	73.39 $\pm$ 1.06
阿拉伯糖和木糖质量比	0.55 $\pm$ 0.02	0.60 $\pm$ 0.03	0.73 $\pm$ 0.01
阿魏酸/(mg/g)	0.73 $\pm$ 0.02	1.22 $\pm$ 0.03	1.82 $\pm$ 0.06

在本研究中采用 0.5 mol/L NaOH 溶液在常温下提取 AX, 其得率和组成如表 3 所示。由表 3 可以看出麸皮 AX 得率最高, 而小麦粉 AX 得率最低。麸皮、次粉和小麦粉的 AX 回收率分别为 40%、50%和 20%, 表明同种提取条件下不同部位 AX 回收率有很大差异。从表 3 可以看出, 麸皮 AX 含量为 80.89%, 主要由阿拉伯糖 (32.82%) 和木糖 (59.19%) 组成。次粉 AX 含量为 77.04%, 其主要成分与麸皮 AX 相同, 同样也由阿拉伯糖 (32.73%) 和木糖 (54.82%) 组成。小麦粉 AX 含量最低, 其阿拉伯糖和木糖含量分别为 35.13%和 48.27%。阿拉伯糖和木糖比值从小到大依次为麸皮 AX<次粉 AX<小麦粉 AX, 表明小麦粉 AX 分子具有较高的交联结构。

### 2.3 AX 分子特征分析

表 4 不同溶剂中 AX 的物化特性

Table 4 Physicochemical properties of AX dissolving in different solvents

溶剂	分子量 / (g/mol)	回转半径 / nm	特征粘度 / (dl/g)	回收值 / %	水力半径 / nm
<b>麸皮 AX</b>					
水	399,000	38	4.33	79	211
0.5 M NaOH	328,700	33	3.37	81	172
1.0 M NaOH	256,300	30	3.27	94	158
<b>次粉 AX</b>					
水	494,100	40	4.35	82	204
0.5 M NaOH	447,000	39	4.13	88	164
1.0 M NaOH	415,300	31	3.22	91	147
<b>小麦粉 AX</b>					
水	867,100	60	7.12	64	202
0.5 M NaOH	759,300	55	6.09	72	188
1.0 M NaOH	624,000	48	5.62	87	183

AX 的溶解特性对于 HPSEC 测量分子的性质是其重要的。为了比较不同溶剂对 AX 的溶解性质影响, 分别用蒸馏水, 0.5 mol/L NaOH 溶液, 1 mol/L NaOH 溶液溶解 AX。用 HPSEC 测定 AX 的分子特征, 如平均分子量、特性粘度、回转半径、水力半径等, 结果如表 4 所示。研究表明, 溶剂对 AX 分子性质测定有重要影响。水作为溶剂时 AX 的分子量与溶剂为 0.5 mol/L NaOH 的相似, 它们的分子量均比溶剂为 1.0 mol/L NaOH 时的高, 这说明 1.0 mol/L NaOH 溶液更容易降解 AX。无论采用哪种溶剂, 小麦粉 AX 的分子量最高, 其次是次粉 AX 和麸皮 AX, 这些差异表明小麦籽粒不同部位得到的 AX 具有不同的功能特性。重均分子量与数均分子量之比 (Pd) 可以表示聚

合物的多分散性, 三种 AX 的 Pd 范围在 1.05 到 2.14 之间, 表明三种阿拉伯木聚糖具有极广的分子量分布。小麦粉 AX 的回转半径和特征粘度均大于麸皮 AX 和次粉 AX。此外, 1.0 M NaOH 溶液最有利于 AX 溶解, 然而纯水作为溶剂, 即使在 70 °C 加热 2 h, 然后搅拌过夜, 仍不能达到很好的溶解效果。

### 2.4 AX 粒度分布的测定与分析

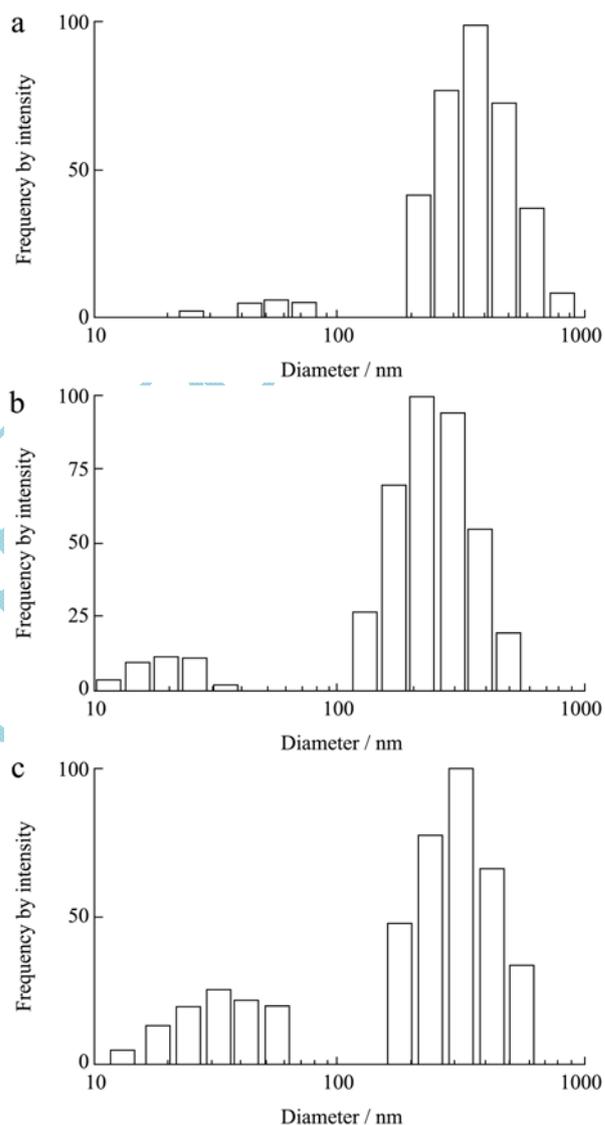


图 1 小麦麸皮 AX 在水 (a), 0.5 mol/L NaOH (b) 和 1.0 mol/L NaOH (c) 中的动力学直径分布

Fig.1 The apparent hydrodynamic diameter distribution of WBAX measured by dynamic light scattering in pure water (a), 0.5 mol/L NaOH (b), and 1.0 mol/L NaOH (c)

采用动态激光散射仪 (DLS) 测定不同溶液中麸皮 AX 的粒度分布, 其结果如图 1 所示。由图 1 可以看出 AX 在不同溶剂中均呈双峰分布, 其平均水力半径 (Rh) 比相应的回转半径 (Rg) 高出 3~5 倍, 这些结果表明存在大分子的聚合结构。水作为溶剂时 Rh

值最大, 而 1.0 mol/L NaOH 作为溶剂时 Rh 值最小, 表明稀碱降低了聚合度, 但不会完全抑制聚合作用, 这与 HPSEC 得到的结果一致。HPSEC 得到的 Rg 值低于 DLS 得到的 Rh 值, 这可能是由于 HPSEC 测定时所用的 AX 浓度是 DLS 测定时的 10 倍, 而糖浓度越高越有利于多糖分子的聚集作用。其次, HPSEC 中的剪切流可能解离聚集体并防止 AX 分子重新形成聚集体。

### 3 结论

小麦经研磨制粉后得到 75% 的面粉, 5% 的次粉和 20% 的麸皮。AX 是小麦籽粒中主要非淀粉多糖, 具有极宽的分子量分布范围, 主要集中在外层和糊粉层。同时, AX 也是麦麸和次粉的主要组成部分。小麦麸皮和次粉中 AX 比小麦粉更容易用 0.5 mol/L NaOH 溶液提取。麸皮与次粉和小麦相比, 其 AX 中阿拉伯糖和木糖比值更高。小麦胚乳比籽粒外层中 AX 分子量高, 小麦 AX 在水溶液中更易形成聚合物。总之, 三种 AX 具有不同的结构特性, 这在一定程度上会影响其物化特性。麸皮、次粉作为小麦制粉中的主要副产物可作为 AX 的有效资源。

### 参考文献

- [1] Mares D J, Stone B A. Studies on wheat endo-sperm. II. Properties of the wall components and studies on their organization in the wall [J]. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1973, 26: 813-830
- [2] Izydorczyk M S, Biliaderis C G. Comparison of the structure and composition of water soluble pentosans from different wheat varieties [J]. *Cereal Chemistry*, 1991, 68: 139-144
- [3] Tomoko S, Kaoru K, Takeshi Y. Effect of water-soluble and insoluble non-starch polysaccharides isolated from wheat flour on the rheological properties of wheat starch gel [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2004, 57: 451-458
- [4] Izydorczyk M S, Biliaderis C G. Effect of molecular size on physical properties of wheat arabinoxylan [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40: 561-568
- [5] Courtin C M, Delcour J A. Arabinoxylans and Endoxylanases in Wheat Flour Bread-making [J]. *Journal of Cereal Science*, 2002, 35: 225-243
- [6] Maes C, Delcour J A. Structural Characterisation of Water-extractable and Water-unextractable Arabinoxylans in Wheat Bran [J]. *Journal of cereal science*, 2002, 35: 315-326
- [7] Petros Katapodis P, Vardakou M, Kalogeris E, et al. Enzymic production of a feruloylated oligosaccharide with antioxidant activity from wheat flour arabinoxylan [J]. *European Journal of Nutrition*, 2003, 42: 55-60
- [8] Cui S W, Wood P J, Weisz J, et al. Non-starch polysaccharides from pre-processed wheat bran: Chemical Composition and Novel Rheological Properties [J]. *Cereal Chemistry*, 2000, 76: 129-133
- [9] Hoffmann R A, Roza M, Maat B J, et al. Structural Characteristics of the Warm-water-soluble Arabinoxylans from the Tailings of the Soft Wheat Variety Kadet [J]. *Carbohydrate Polymers*, 1991, 16: 275-289
- [10] Douglas S G. A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour [J]. *Food Chemistry*, 1981, 7: 139-145
- [11] McCleary B V, Glennie M. Enzymic quantification of (1→3)(1→4)-β-D-glucan in barley and malt [J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1985, 91: 285-295