

# 乳熟期甜玉米芯纤维管微结构与成分的比较性研究

权晓琴<sup>1</sup>, 金邦荃<sup>1</sup>, 胡珏<sup>1</sup>, 周焙<sup>1</sup>, 周鑫<sup>1</sup>, 刘春泉<sup>2</sup>, 李大婧<sup>2</sup>, 刘琛<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学金陵女子学院, 江苏 南京 210097)

(2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014)

**[摘要]** 探究玉米芯作为膳食纤维补充剂来源的依据。以乳熟期甜玉米芯为原料, 采用化学和组织形态学手段, 尤其是扫描电镜法, 观察其2% NaOH处理前后维管微结构和纤维成分变化。碱处理后, 维管部分被消化并出现断裂, 维管壁结构模糊且透明, 部分物质被降解; 2% NaOH消化玉米芯后, 其总膳食纤维由25.3%增加至31.1%, 其中木质素比例显著增加, 而半纤维素减少, 玉米芯中膳食纤维含量显著增加。因此, 玉米芯是膳食纤维补充剂的理想新资源。

**[关键词]** 膳食纤维, 维管结构, NaOH, 扫描电镜, 甜玉米芯

**[中图分类号]** TS201.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)01-0086-07

## Comparison Study on the Change of Fiber Tube Structure and Components of Sweet Corn cob in Milk Stage

Quan Xiaoqin<sup>1</sup>, Jin Bangquan<sup>1</sup>, Hu Jue<sup>1</sup>, Zhou Bei<sup>1</sup>, Zhou Xin<sup>1</sup>, Liu Chunquan<sup>2</sup>, Li Dajing<sup>2</sup>, Liu Chen<sup>1</sup>

(1. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

2. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** The paper looks for some scientific support for corn cob as dietary fiber. Materials and Methods Sweet corn cob in milk stage is used to test the change of fiber tube structure and components by chemical and histological methods, especially scanning electronic microscopy (SEM). Results after 2% NaOH treatment, fiber tubes in corn cob are broken down and its wall is thinner and lighter significantly because some materials are degraded; and then, the total dietary fiber is raised from 25.3% to 31.1% with the increase of lignin and decrease of hemicelluloses. Conclusions Due to 2% NaOH treatment, the concentration of dietary fiber in corn cob can be increased, significantly. So Corn cob is a good material to make dietary fiber supplement.

**Key words:** dietary fiber, fiber tube, NaOH, SEM, sweet corn cob

我国玉米播种面积广泛, 总产量和消费量均居世界第二位<sup>[1]</sup>。玉米加工后会产生大量的玉米芯<sup>[2]</sup>。玉米芯主要被燃烧废弃, 使环境负担沉重<sup>[3]</sup>。近年来发现玉米芯中含有丰富的膳食纤维等成分, 可作为生物资源回收利用, 如李永莲等研究玉米芯制备酒精等<sup>[4,5]</sup>。因此, 研究这种来源广、产量大、易收集的玉米芯的膳食纤维显微形态结构特征和主要成分功效组分, 不仅可提高玉米芯的附加值, 减少环境污染, 而且可作为膳食纤维补充剂的理想来源。膳食纤维不仅可增强肠道蠕动, 还能吸附消化道内剩余能量和营养素, 从而改善人体健康状况, 具有减肥、降脂、降糖等功效。

为了充分利用玉米芯中的膳食纤维, 有必要探究我省种植的部分玉米品种如甜玉米芯, 同时也为研发新型膳食纤维营养补充剂<sup>[6,7]</sup>, 提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 玉米芯及预处理

如图1所示, 新鲜乳熟期“晶甜3号”玉米脱粒后, 收集50 kg玉米芯并破碎至10~20目; 24 h风干后

收稿日期: 2014-12-22.

基金项目: 江苏省高校研究生创新项目(SJLX-0321)、江苏省现代农业技术创新项目(CX2067-1)。

通讯联系人: 金邦荃, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与营养学。E-mail: jinbangquan@njnu.edu.cn

经高速万能粉碎机进一步粉碎并过 100 目分级筛;收集的筛下物于 80~105 ℃/2 h 烘干,制成样品装瓶密封待用。

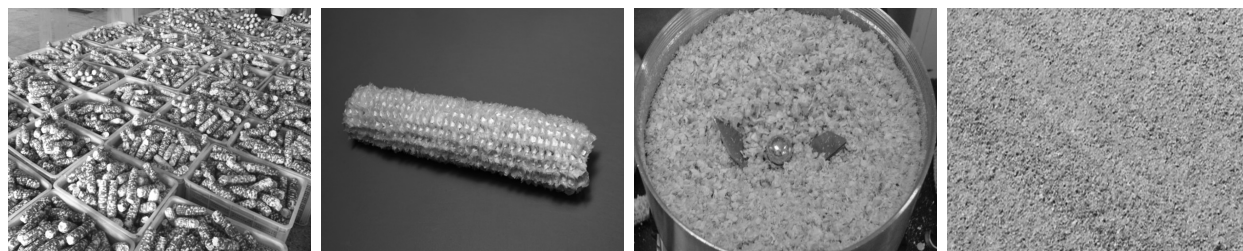


图 1 玉米芯及预处理

Fig. 1 Corncob and crushed

## 1.2 仪器设备

5610LV-JEOL JSM 扫描电镜,160016JFC 离子溅射仪,OLYMPUS 生物显微镜,HMIAS-200 病理图像分析系统,RM2135-LEICA 切片机,9FX-50 WGR-1 微电脑热量计,DHG-9140 电热恒温鼓风干燥箱,SX-5-12 箱式电阻炉控制箱,1 000 W 电子调温万用电炉,9FX-50 型农作物秸秆粉碎机,FW177 高速万能粉碎机,T-5000 电子天平,AUY220 电子天平。

## 1.3 化学试剂

正辛醇、丙酮、无水乙醇、硫酸、盐酸、氢氧化钠、蛋白酶(4.21 IU)、0.561 mol 淀粉葡萄糖苷酶、 $\alpha$ -淀粉酶(100 kU/g)、MES-TRIS 缓冲液、0.2 mol pH 7.4 磷酸氢二钠和磷酸二氢钠、酸性硅藻土和 2.5% 戊二醛,均为分析纯(AR)。

中性纤维洗涤剂(3%十二烷基硫酸钠溶液):pH 为 6.9~7.1,将乙二胺四乙酸二钠、四硼酸钠、十二烷基硫酸钠、乙二醇醚和无水磷酸氢二钠等采用蒸馏水( $\text{dH}_2\text{O}$ )加热溶解,1 000 mL 容量瓶定容。

酸性纤维洗涤剂(2%十六烷基三甲基溴化铵, $\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{NBr}$ ,CTAB):将 CTAB 定容于 1 000 mL 的 1.00 mol 硫酸中。

## 1.4 方法

### 1.4.1 2% NaOH 处理玉米芯

将 10~20 目玉米芯干碎片以 1:15 料液比溶解于 2% NaOH 溶液,650 W 微波处理 30 s,用 0.2% HCl 调节至 pH 等于 3,加入等体积 95%乙醇静置 30 min,4 500 r/min 离心 10 min,得到消化后残片于 50 ℃烘箱干燥 24 h 至恒重,观测碱处理前后干残片的纤维素显微结构变化。另将 100 目玉米芯粉按相同碱处理方法,检测碱处理前后纤维素组分的变化。

### 1.4.2 玉米芯显微形态观察

玉米芯分 3 段取材或碱处理后残片,按 10  $\mu\text{m}$  厚度切片,分别于 10 $\times$ 4、10 $\times$ 10 和 10 $\times$ 40 倍镜下选择 10 视野,计量其维管横径和单位面积维管束数<sup>[8,9]</sup>。

### 1.4.3 玉米芯立体超微结构观察

玉米芯取材同 1.4.2,将 2 mm $\times$ 4 mm $\times$ 0.1 mm 小块置于 2.5%戊二醛 4℃下固定 24 h,采用 0.2 mol pH 为 7.4 的磷酸缓冲液漂洗,使用 40%~100%乙醇梯度脱水,于-20 ℃真空干燥,真空金镀膜后于扫描电镜下选 10 视野观察,放大倍数 100、200、500 和 1 000,观察玉米芯纤维维管立体结构,如壁厚等<sup>[10-14]</sup>。

### 1.4.4 常规组分分析

能量测定参照 GB/T213—2003,采用氧弹式热量计直接测热法测得<sup>[15]</sup>;吸附水测定:参照 GB 5497—1985,采用粮食、油料检验水分测定法<sup>[16]</sup>;灰分测定:参照 GB/T 5505—2008,采用粮油检验灰分测定法<sup>[17]</sup>;干物质测定:参照 GB/T 6435—2006 饲料中水分和其他挥发性物质含量的测定法<sup>[18]</sup>。

### 1.4.5 膳食纤维含量测定

总膳食纤维含量测定参照 GB22224—2008,测定玉米芯风干物中膳食纤维含量, $\text{TDF}(\%) = (m_1 - m_2) / m_3 \times 100\%$ <sup>[19]</sup>;中性洗涤纤维含量测定参照 GB/T 20806—2006,将玉米芯风干样品放入中洗液中消煮 1h,蒸馏水洗涤 3 次,抽滤后放入 105℃烘箱中进行烘干,冷却后称量, $\text{NDF}(\%) = (m_1 - m_2) / m_3 \times 100\%$ <sup>[20]</sup>;酸性洗涤纤

维含量测定参照 NYT/1459—2007,步骤同中性洗涤纤维测定程序,仅换用酸洗液,  $ADF(\%) = (m_1 - m_2) / m_3 \times 100\%$  [21]; 木质素参照含量测定 GB/T 20805—2006,将酸洗纤维放入石棉和硫酸中,每隔 1 h 加酸搅拌,3 h 后过滤,于 600℃ 马弗炉灰化,105℃ 至恒重,与空白对照减差法计算出其含量,  $ADL(\%) = (\text{残渣} - \text{灰分} - \text{空白损失量}) / m \times 100\%$  [22]; 采用减差法计算出纤维素及半纤维素含量:  $C(\%) = ADF - ADL$ ,  $HC(\%) = NDF - ADF$  [22].

### 1.5 数据处理与统计学分析

本文所有数据采用 Excle 2013 整理,均以平均值±标准差( $\bar{x} \pm SD$ )表示. 采用 SPSS13.0 (ISBN7-980009-06-1)进行统计学分析,二组间比较采用 *T* 检验方法,二组以上的比较采用 *F* 检验方法,即(One-way Analysis of variance, ANOVA). 若组间差异显著,采用 LSD 进行组间差异显著性比较,组间差异显著时用  $P < 0.05$  (\*)表示,组间差异极显著则用  $P < 0.01$  (\*\*)表示 [23,24].

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜玉米芯水分、灰分和能量分析

乳熟期“晶甜 3 号”玉米芯水分含量丰富,初水份达到 72.7%,干物质(Dry materials, DM)约占 27.3%±0.08%;风干样品 105℃/2 h 烘干后,测得吸附水含量为 3.8%±0.28%,灰分含量 3.3%±0.03%/DM,总能量为 4.4±0.01 kcal/g/DM.

### 2.2 玉米芯纤维组分

经纤维素组分分析,乳熟期甜玉米芯不仅含有较高的膳食纤维(Dietary fiber),且纤维中半纤维素(Hemicellulose)含量最多,其次为木质素(Lignin)和纤维素(Cellulose),分别占 DM 的 7.2%、6.3%和 5.1%. 由于乳熟期玉米尚未完全成熟,其芯中纤维木质化程度较低,保留了更多的半纤维素(见表 1). 营养学和生理学的动物模型研究认为,单胃杂食类动物的大肠可在外来纤维素分解菌的帮助下,主要降解半纤维素而产生低分子挥发性脂肪酸,补充部分能量需要并可有效促进肠蠕动 [25]. 但即使在纤维素分解菌的作用下,人的消化道依然不能消化利用木质素和大部分纤维素 [26]. 因此,乳熟期甜玉米芯的膳食纤维组分,是为人们提供膳食纤维补充剂的理想新资源.

当使用 2% NaOH 处理玉米芯后,随着细胞壁纤维的降解和可溶性膳食纤维-果胶的提取,其组分发生了很大改变. 膳食纤维总含量显著性增加至 31% ( $P < 0.05$ ),且木质素比例极显著提高 1 倍以上 ( $P < 0.01$ ),而半纤维素含量减少. 由此推测,玉米芯半纤维素可被碱消化,分子降解和断裂,溶出大量水溶性膳食纤维-果胶多糖,从而半纤维素含量明显减少. 然而在本试验条件下,经 2% NaOH 处理似乎未明显降解木质素和纤维素,故二者所占百分比提高 [27] (见表 1).

表 1 玉米芯纤维组分

Table 1 Composition of dietary fiber in corncob

处理	膳食纤维 DF/%	中洗纤维 NDF/%	酸洗纤维 ADF/%	木质素 ADL/%	纤维素 C/%	半纤维素 HC/%
未处理	25.30±0.002	14.02±0.010	6.86±0.001	6.28±0.010	5.08	7.22
处理后	31.05±0.003 *	20.40±0.004 **	15.07±0.016 **	14.03±0.010 **	9.06	5.33

注:若  $P < 0.05$ ,则组间差异显著,用 \* 表示;若  $P < 0.01$ ,则组间差异极显著,用 \*\* 表示.

### 2.3 玉米芯显微形态结构

如图 2 所示,将玉米芯组织在 10×4 倍扫描电镜下观察其显微结构,其横截面可见(纤)维管束、厚皮细胞和薄壁细胞,其中维管束位于髓质部中,且维管束主要由木质部和韧皮部组成 [28].

将组织切片放大至 10×10 倍,观测玉米芯上、中和尾段显微形态结构,(纤)维管数分别为 64±5.7 个/视野、48±9.0 个/视野和 70±9.5 个/视野,且维管横径分别为 22.2±0.87 μm、35.3±3.20 μm 和 35.3±1.35 μm. 结果表明,玉米芯顶段维管横径较小且个数多,而中和尾段的维管横径均较大,其平均横径较顶段宽 13 μm ( $P < 0.01$ );但尾段单位面积维管个数显著较中段多 22 个/视野 ( $P < 0.05$ ),究其原因可能与维管壁厚度有关.

将该 3 段玉米芯组织切片进一步放大至 10×40 倍,可见上、中和尾段维管壁的厚度差异很大,分别为 3.7±0.54 μm、5.0±1.34 μm 和 4.5±1.01 μm,其中中段最厚,其次尾段,顶段最薄,从而导致单位面积中所见顶段维管最多,中段最少. 因此,玉米芯维管壁总体差异不显著且较厚 [29].

若采用 2% NaOH 处理玉米芯,稀碱溶液消化玉米芯,其维管壁显微结构发生明显改变. 10×40 倍视野



下,能清晰观察到玉米芯维管壁透光性明显增加.提示碱处理后,玉米芯维管壁的组成成分被部分消化和洗脱,推测可能主要是半纤维素的降解和果胶的提取.

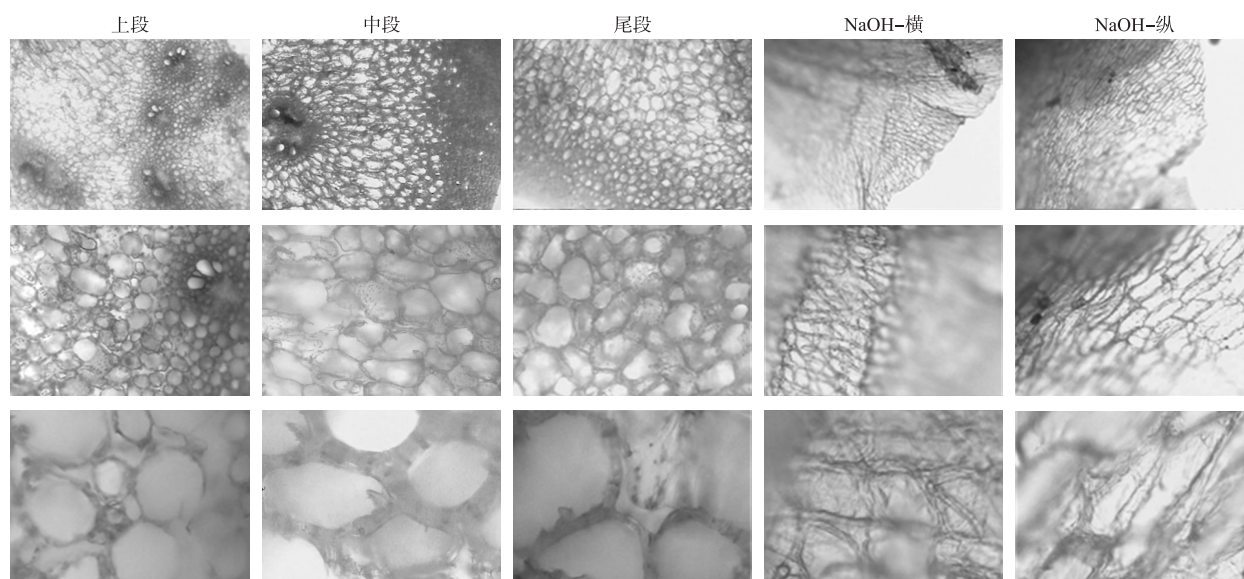


图2 玉米芯显微结构

Fig. 2 Corncob microstructures by microscope

## 2.4 玉米芯超微立体结构

如图3所示,将材料分别于扫描电镜下放大100、200、500和1 000倍,分别观察三部位玉米芯立体结构特征.放大100和200倍后,很难清晰观察头段和中段的扫描结构特征.为此进一步于500和1 000倍数下,观察玉米芯组织的外观形态,可见维管集聚,横径由顶段至尾段逐渐由细增粗,形成锥形管道.视野中主要呈现的是维管,其横截面呈不规则圆形,纵向深入的管径壁形成多条环状结构,壁上分布大量微孔.这些维管的结构特征,有利于植物对空气、水分和养分的吸收及交换利用<sup>[30]</sup>.

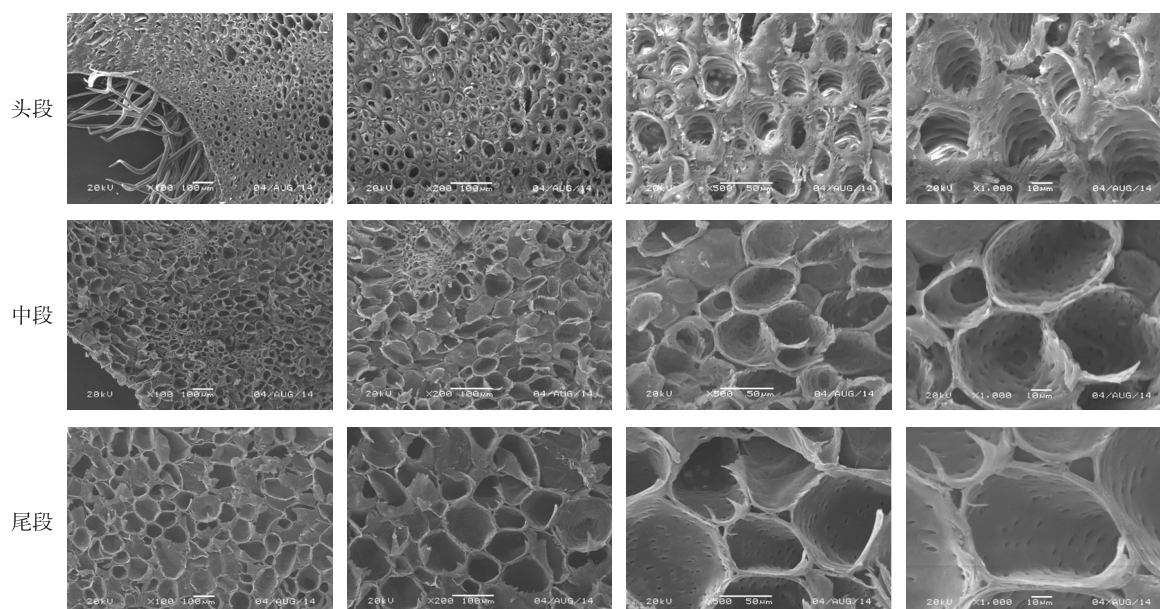


图3 玉米芯的超微扫描结构

Fig. 3 Corn-cob ultra-structures by SEM

将玉米芯材料采用2% NaOH处理后,于扫描电镜下放大1 000倍比较处理前后其组织横切面和纵切面的外观形态变化,如图4所示.结果发现,未处理的玉米芯维管壁呈圆形且结构清晰,维管内由上至下布满微孔;纵切面管径较粗且厚实,纤维表面光滑,管与管之间相切排列,界限清晰,结构紧密<sup>[31]</sup>.而采用2% NaOH处理后,玉米芯维管遭到明显腐蚀和破坏,其横切面的圆形管径已塌陷,壁上微孔无法辨识;其

纵切面管径变细,相互交错且界限模糊,维管和细胞结构严重受损.表明碱处理后玉米芯的维管壁结构和化学组分大量被消化和丢失,从而印证本研究的结论,即 2% NaOH 可将维管壁上的纤维素和半纤维素降解<sup>[32]</sup>.

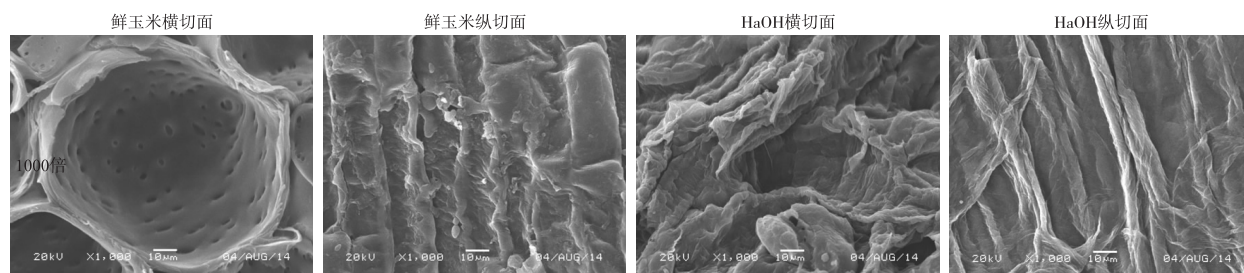


图 4 处理前后玉米芯的超微结构比较

Fig. 4 Compared to ultra-structures between treat or not corn-cob by SEM

### 3 结语

乳熟期甜玉米芯富含水分,膳食纤维中以半纤维素成分为多.经 2% NaOH 消化玉米芯后,玉米芯中半纤维素大量降解并伴有纤维素的分解,从而导致玉米芯残留部分所含木质素增加一倍,纤维素略有增加.采用组织形态学和计量学手段,尤其是扫描电镜法,可清晰地观察到玉米芯维管系统主要由木质部和韧皮部组成.经 2% NaOH 处理,维管部分被消化并出现断裂,维管之间结合松弛且排列紊乱,维管壁结构模糊,部分物质(推测主要为半纤维素)脱落并逐渐透明或消失,玉米芯骨架结构遭破坏,形态学研究印证了其化学组分的变化.综上所述,乳熟期甜玉米芯富含膳食纤维,尤其是半纤维素,是膳食纤维补充剂的理想新资源.

### [参考文献](References)

- [1] 刘蓉蓉. 中国现代玉米种业现状、瓶颈问题与对策建议[J]. 农业生产展望,2013,9(11):51-53.  
Liu Rongrong. Current situation, bottlenecks and strategic considerations of Chinese modern maize seed industry[J]. Agricultural Outlook, 2013, 9(11): 51-53. (in Chinese)
- [2] Oduguwa O O, Edema M O, Ayeni A O. Physico-chemical and microbiological analyses of fermented corn cob, rice bran and cowpea husk for use in composite rabbit feed[J]. Bioresource Technology, 2008, 99(6): 1816-1820.
- [3] Oladeji J T. Fuel characterization of briquettes produced from corncob and rice husk residues[J]. Pacific Journal of Science and Technology, 2010, 11(1): 101-106.
- [4] Chen M, Xia L, Xue P. Enzymatic hydrolysis of corncob and ethanol production from cellulosic hydrolysate[J]. International Biodeterioration and Biodegradation, 2007, 59(2): 85-89.
- [5] 王关斌, 赵光辉, 贺东海, 等. 玉米芯资源的综合利用[J]. 林产化工通讯, 2005, 39(5): 44-47.  
Wang Guanbin, Zhao Guanghui, He Donghai, et al. Study on the comprehensive application of corncob[J]. Journal of Chemical Industry of Forest Products, 2005, 39(5): 44-47. (in Chinese)
- [6] 顾晓俊, 刘琛, 金邦荃, 等. 猕猴桃增进肠蠕动的功效成份破析[J]. 南京师范大学学报:工程技术版, 2014, 14(2): 86-90.  
Gu Xiaojun, Liu Chen, Jin Bangquan, et al. Effect of actinidia ingredients on the peristalsis of mouse intestinal segment in vitro[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2014, 14(2): 86-90. (in Chinese)
- [7] Iain A, Brown Lee. The physiological roles of dietary fiber[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25: 238-250.
- [8] 王艳杰, 刘林德, 孔冬瑞, 等. 刺五加雌、雄花的花柱引导组织结构观察[J]. 电子显微学报, 2011(Z1): 460-465.  
Wang Yanjie, Liu Linde, Kong Dongrui, et al. Ultrastructure of stylar transmitting tissue in male and female flowers of eleutherococcus senticosus[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2011(Z1): 460-465. (in Chinese)
- [9] 王忠, 顾蕴洁, 郑彦坤, 等. 水稻胚乳细胞发育的结构观察及其矿质元素分析[J]. 中国水稻科学, 2012(6): 693-705.  
Wang Zhong, Gu Yunjie, Zheng Yankun, et al. Structure observation of rice endosperm cell development and its mineral element analysis[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2012(6): 693-705. (in Chinese)
- [10] 肖媛, 刘伟, 汪艳, 等. 生物样品的扫描电镜制样干燥方法[J]. 实验室研究与探索, 2013(5): 45-53, 172.

- Xiao Yuan, Liu Wei, Wang Yan, et al. Drying methods of biological sample preparation for scanning electron microscope[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2013(5):45-53, 172. (in Chinese)
- [11] 秦利鸿, 曹建波, 易伟松. 绿茶多糖的扫描电镜制样新方法 & 原子力显微镜观察[J]. 电子显微学报, 2009(2):162-167.  
Qin Lihong, Cao Jianbo, Yi Weisong. Polysaccharides distilled from green tea and the observation of ultrafine structure of them with atomic force microscope[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2009(2):162-167. (in Chinese)
- [12] 钱旻. 玻璃态下外源物处理、冻结及冻藏对莲藕片品质的影响[D]. 南京:南京师范大学金陵女子学院, 2014.  
Qian Min. The effects of allogene processing, freezing and frozen on the quality of lotus root in glass State[D]. Nanjing: Ginling College, Nanjing Normal University, 2014.
- [13] Zeng M, Ximenes E, Ladisch M R, et al. Tissue-specific biomass recalcitrance in corn stover pretreated with liquid hot-water: SEM imaging(part 2)[J]. Biotechnology and Bioengineering, 2012, 109(2):398-404.
- [14] Hoover A N, Tumuluru J S, Teymouri F, et al. Effect of pelleting process variables on physical properties and sugar yields of ammonia fiber expansion pretreated corn stover[J]. Bioresource Technology, 2014, 164:128-135.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 213—200 氧弹式热量计直接测热法[S]. 北京:中国标准出版社, 2003.  
AQSIQ, SAC. GB/T 213—200 Oxygen Bomb Calorimeter Direct Calorimetry Method[S]. Beijing: Standard Press of China, 2003. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB 5497—1985 粮食、油料检验水分测定法[S]. 北京:中国标准出版社, 1985.  
AQSIQ, SAC. GB 5497—1985 Determination of Moisture in Grain and Oilseeds[S]. Beijing: Standard Press of China, 1985. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5505—2008 粮油检验灰分测定法[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.  
AQSIQ, SAC. GB/ T 5505—2008 Determination of Ash in Grain and Oilseeds[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 6435—2006 饲料中水分和其他挥发性物质含量的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.  
AQSIQ, SAC. GB/T 6435—2006 Determination of Water and Other Volatile Matter Content in Feedstuffs[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22224—2008 食品中膳食纤维的测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.  
AQSIQ, SAC. GB/T 22224—2008 Determination of Dietary Fiber in Food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. (in Chinese)
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20806—2006 饲料中中性洗涤纤维测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.  
AQSIQ, SAC. GB/T 20805—2006 Determination of Neutral Detergent Fiber in Feedstuffs[S]. Beijing: Standard Press of China, 2006. (in Chinese)
- [21] 中华人民共和国农业部. NT/T 1459—2007 饲料中酸性洗涤纤维测定方法[S]. 北京:中国农业出版社, 2007.  
MOA. NT/T 1459—2007 Determination of Acid Detergent Fiber in Feedstuffs[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007. (in Chinese)
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20805—2006 饲料中酸性洗涤木质素测定方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.  
AQSIQ, SAC. GB/T 20805—2006 Determination of Acid Detergent Ligin in Feedstuffs[S]. Beijing: Standard Press of China, 2006. (in Chinese)
- [23] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素, 半纤维素和木质素的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2005(8):40-41.  
Xiong Sumin, Zuo Xiufeng, Zhu Yongyi. Determination of cellulose, hemi-cellulose and ligin in rice hull[J]. Cereal and Feed Industry, 2005(8):40-41. (in Chinese)
- [24] 王周伟, 朱敏. SPSS 统计分析与综合应用[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2012.  
Wang Zhouwei, Zhu Min. SPSS Statistical Analysis and Comprehensive Application[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong Uni-

- versity Press 2012.(in Chinese)
- [25] 徐端正. 生物统计学在实验和临床药理学中的应用[M]. 北京:科学出版社,2004.  
Xu Duanzheng. Application of Biostatistics in Experimental and Clinical Pharmacology[M]. Beijing:Science Press,2004.(in Chinese)
- [26] 吴旻丹,陈瑜,金邦荃. 猕猴桃提取物促进小鼠离体肠段运动的初探[J]. 食品工业科技,2011(1):78-80.  
Wu Mindan,Chen Yu,Jin Bangquan. Effect of actinidia extract on small intestine movement of mice in vitro[J]. Science and Technology of Food Industry,2011(1):78-80.(in Chinese)
- [27] 金邦荃,顾晓俊,沈丽叶,等. 猕猴桃功效成份体外促进肠蠕动的生理评价[C]//中国营养学会第十一次全国营养科学大会暨国际DRIs研讨会学术报告及论文摘要汇编(下册)——DRIs新进展:循证营养科学与实践学术. 北京:中国轻工业出版社,2013.  
Jin Bangquan,Gu Xiaojun,Shen Liye,et al. The physiological assessment that the functional components of actinidia promote intestinal peristalsis in vitro[C]//The Eleventh National Nutrition Science Conference and International DRIs Symposium on the Academic Reports and Abstracts of Papers(Part II)—New Development of DRIs:Evidence Based Nutrition the Science and Practice of Academic. Beijing:China Light Industry Press,2013.(in Chinese)
- [28] 冯璇,金邦荃,梁光鑫,等. 玉米芯纤维降解及果胶制备的前处理方法比较与优化[J]. 南京师范大学学报:工程技术版,2014,14(2):79-85.  
Feng Xuan,Jin Bangquan,Liang Guangxin,et al. The comparison and optimization of corncob fibre pretreatments[J]. Journal of Nanjing Normal University:Engineering and Technology Edition,2014,14(2):79-85.(in Chinese)
- [29] Wang T,Sun X,Raddatz J,et al. Effects of microfluidization on microstructure and physicochemical properties of corn bran[J]. Journal of Cereal Science,2013,58(2):355-361.
- [30] Bhattacharya A K,Heinrich J G. Cellular SiC ceramic from stems of corn-processing and microstructure[J]. Journal of Materials Science,2006,41(8):2443-2448.
- [31] 郑志,李超孟,杨培周,等. 不同预处理对玉米芯酶解特性和形态结构的影响研究[J]. 可再生能源,2012(3):43-48.  
Zheng Zhi,Li Chaomeng,Yang Peizhou,et al. Effects of different pretreatment methods on enzymatic digestibility and configuration of corncob[J]. Renewable Energy Resources,2012(3):43-48.(in Chinese)
- [32] 许丙磊. 蒸汽爆破法处理玉米芯半纤维素的研究[D]. 无锡:江南大学化学与材料工程学院,2011.  
Xu Binglei. Research on corn cob hemicellulose with steam explosion treatment[D]. Wuxi:School of Chemical and Material Engineering,Jiangnan University,2011.(in Chinese)
- [33] Kim T H,Kim J S,Sunwoo C,et al. Pretreatment of corn stover by aqueous ammonia[J]. Bioresource Technology,2003,90(1):39-47.

[责任编辑:严海琳]