

酶解改性两种食用菌膳食纤维理化及功能性质比较

Physicochemical and functional characterization of enzymatic modification of dietary fiber in two edible fungus

杨晰茗¹ 徐红艳^{1,2} 王超¹ 李胜男¹ 赵欣锐¹

YANG Xi-ming¹ XU Hong-yan^{1,2} WANG Chao¹ LI Sheng-nan¹ ZHAO Xin-rui¹

(1. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 延边大学食品研究中心, 吉林 延吉 133002)

(1. College of Agricultural, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China;

2. Food Research Center, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China)

摘要:以高粱乌米和杏鲍菇两种食用菌为原料,通过酶—重量法制备可溶性膳食纤维(S-SDF、P-SDF)和不溶性膳食纤维(S-IDF、P-IDF),分别测定溶胀力、持水力、持油力等理化性质及葡萄糖吸附力、胆酸钠吸附力、胆固醇吸附力、葡萄糖透析延迟能力等功能性质。结果表明:S-SDF 的溶胀力最强,为 11.83 mL/g;P-IDF 的持水力最强,为 4.55 g/g;P-SDF 的持油性最强,为 3.01 g/g;S-IDF 的葡萄糖吸附能力最强,达 74.17 mg/g,S-SDF 与 S-IDF 葡萄糖吸附能力显著强于 P-SDF 与 P-IDF;模拟肠道环境中的胆固醇吸附能力强于胃环境,P-IDF 在两种环境中的胆固醇吸附能力均最强;S-IDF 胆酸钠吸附能力最强,可达 83.80 mg/g;S-SDF 葡萄糖透析延迟指数显著高于 P-SDF,在 60 min 时达 38.28%。

关键词:高粱乌米;杏鲍菇;膳食纤维;酶法;改性;理化性质;功能性质

Abstract: In this study, two kinds of edible fungus *Sporisorium reilianum* and *Pleurotus eryngii* were used as raw materials. Soluble dietary fiber (S-SDF, P-SDF) and insoluble dietary fiber (S-IDF, P-IDF) were prepared by enzyme-gravimetric method. The physicochemical properties including swelling capacity, water holding capacity and oil holding capacity, and the functional properties including glucose adsorption capacity, sodium cholate adsorption capacity, cholesterol adsorption capacity and glucose dialysis retardation index were measured respectively. Results

showed that S-SDF had the strongest swelling force (11.83 mL/g). P-IDF had the strongest water holding capacity (4.55 g/g). P-SDF had the strongest oil holding capacity (3.01 g/g). S-IDF had the highest glucose adsorption ability (74.17 mg/g). The glucose adsorption ability of S-SDF and S-IDF were significantly better than those of P-SDF and P-IDF. The cholesterol adsorption capacity in the simulated intestinal environment was stronger than that in the gastric environment, and P-IDF has the strongest cholesterol adsorption capacity in these two kinds of environment. The sodium cholate adsorption capacity of S-IDF was the strongest, up to 83.80 mg/g. The glucose dialysis delay index of S-SDF was significantly higher than that of P-SDF, reaching to 38.28% at 60 min.

Keywords: *Sporisorium reilianum*; *Pleurotus eryngii*; dietary fiber; enzymatic; modified; physicochemical properties; functional properties

膳食纤维具有降血脂、抑制肥胖及调节肠道健康^[1-3]等多种功效,被誉为“第七大营养素”,作为果蔬类食物的主要成分,可分为可溶性膳食纤维(Soluble dietary fiber, SDF)和不溶性膳食纤维(Insoluble dietary fiber, IDF)。不同来源的 SDF 与 IDF 在体内的生理功能有所不同^[4],并且具有良好理化特性的膳食纤维可显著提高加工食品的质构和风味^[5]。IDF 可通过酶法、化学法、物理法和微波法等实现改性,从而提高 SDF 得率并改善膳食纤维的理化与功能特性^[6],使其广泛应用成为可能。其中酶法改性具有高效、特异、温和的特点^[7],课题组^[8]研究也发现木聚糖酶改性膳食纤维的得率更高。

高粱乌米(*Sporisorium reilianum*)是黑粉菌寄生在高粱穗上形成的真菌,因在生长结菌期内不可施用化肥

基金项目: 吉林省科技发展计划资助项目(编号: 20190301068NY)

作者简介: 杨晰茗,女,延边大学在读硕士研究生。

通信作者: 徐红艳(1975—),女,延边大学副教授,博士。

E-mail: xuhongyan@ybu.edu.cn

收稿日期: 2020-04-09

农药,被公认为无污染无公害的新兴菌类产品^[9]。目前中国种植保鲜技术已趋于成熟,吉林、辽宁等省份均有大面积种植,且产量逐步提升,主要以鲜食和速冻的初级加工产品为主,精深加工程度极低^[10],功能性质等方面的研究更少。杏鲍菇(*Pleurotus eryngii*)作为一种餐桌常见菌类,是中国工厂化栽培程度最高的食用菌之一,集食药用于一身,其中多糖含量远高于金针菇和平菇^[11],具有良好的降血糖、降血脂和保护肾脏的功能^[12]。目前杏鲍菇产品主要以加工程度较低的干制品和罐头制品为主^[13],精深加工种类少,缺乏创新性,活性物质的研究也主要集中于多糖成分。

基于改性可改善膳食纤维的理化和功能性质,以及目前关于高粱乌米研究较少,杏鲍菇研究多集中于多糖成分,研究拟以高粱乌米和杏鲍菇为原料,利用木聚糖酶改性,制备 SDF 与 IDF,在测定理化性质的基础上,通过模拟胃肠道环境,测定体外功能性质,并进行比较分析,旨在为高粱乌米和杏鲍菇中膳食纤维的深入研究提供理论依据,同时也为食用菌膳食纤维的研究提供参考,以促进食用菌的精深加工及应用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 原料与试剂

高粱乌米:东辽县顺禾乌米种植专业合作社;

杏鲍菇:市售;

高峰 α -淀粉酶($\geq 4\ 000\ \text{U/g}$)、碱性蛋白酶($\geq 2.0 \times 10^5\ \text{U/g}$)、淀粉葡萄糖苷酶($200\ \text{U/mg}$)、纤维素酶($50\ \text{U/mg}$),上海源叶生物技术有限公司;

邻苯二甲醛、胆固醇、糠醛:分析纯,北京博奥拓达科技有限公司;

无水乙醇、石油醚、浓硫酸、冰乙酸、盐酸、葡萄糖:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

酸度计:PHS-3C 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

多功能粉碎机:SB-10A 型,上海市浦恒信息科技有限公司;

速冻离心机:Z400K 型,德国 Hermle 公司;

冷冻干燥机:LGJ-10 型,北京四环仪器厂制造;

分光光度计:UV-7504 型,上海欣茂仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 膳食纤维的制备 参照 GB 5009.88—2014《食品中膳食纤维的测定》并稍作修改。将预处理的原料烘干、粉碎过筛、脱脂脱糖 3 次后,取 1 000 g 放入烧杯中,按 $m_{\text{原料}}:V_{\text{水}}=1:20\ (\text{g/mL})$ 加入蒸馏水混匀,加入淀粉酶溶液,搅匀密封置于 95 °C 水浴 35 min 后冷却至 60 °C。

调 pH 至 9 加入蛋白酶溶液,铝箔密封置于 50 °C 水浴 30 min,取出后不断搅拌。调 pH 至 4.1 加入糖化酶溶液,密封置于 60 °C 水浴 30 min,取出冷却至 50 °C,不断搅拌。调 pH 至 4.5 加入纤维素酶溶液,密封置于 50 °C 水浴 2 h 后取出,不断搅拌。沸水浴灭酶 10 min 后,冷却离心所得沉淀为高粱乌米不可溶膳食纤维(S-IDF),上清液浓缩后醇沉离心得到乌米可溶性膳食纤维(S-SDF),冻干后保存备用。按相同方法制备杏鲍菇膳食纤维,得杏鲍菇可溶性膳食纤维(P-SDF)和杏鲍菇不可溶性膳食纤维(P-IDF)。

1.2.2 膳食纤维含量的测定 参照 GB/T 5009.88—2014《食品中膳食纤维的测定》,计算公式如式(1)所示。

$$DF = \frac{m_1}{m_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

DF——膳食纤维含量,%;

m_1 ——膳食纤维质量,g;

m_0 ——试样质量,g。

1.2.3 膳食纤维理化性质的测定

(1) 溶胀力:参照胡荣锁等^[14]的方法,计算公式如式(2)所示。

$$C_s = \frac{V_1 - V_0}{m_0}, \quad (2)$$

式中:

C_s ——溶胀力,mL/g;

V_1 ——试样膨胀后体积,mL;

V_0 ——试样干体积,mL;

m_0 ——试样干重,g。

(2) 持水力:参照 Zhang 等^[15]的方法,计算公式如式(3)所示。

$$C_{WH} = \frac{m_1 - m_0}{m_0}, \quad (3)$$

式中:

C_{WH} ——持水力,g/g;

m_1 ——试样湿重,g;

m_0 ——试样干重,g。

(3) 持油力:参照 Sangnark 等^[16]的方法,计算公式如式(4)所示。

$$C_{OH} = \frac{m_1 - m_0}{m_0}, \quad (4)$$

式中:

C_{OH} ——持油力,g/g;

m_1 ——吸油后试样重量,g;

m_0 ——试样干重,g。

1.2.4 膳食纤维功能性质的测定

(1) 对葡萄糖吸附能力:参照周笑犁等^[17]的方法,制备葡萄糖吸附量的标准曲线,方程为: $Y=2.326\ 4X-0.026\ 7$, $R^2=0.994\ 1$ 。计算公式如式(5)所示。

$$C_{GA} = \frac{(c_0 - c_1) \times V}{m}, \quad (5)$$

式中:

C_{GA} ——葡萄糖吸附能力, mg/g;

c_0 ——吸附前葡萄糖浓度, mg/mL;

c_1 ——吸附后葡萄糖浓度, mg/mL;

V ——溶液体积, mL;

m ——试样质量, g。

(2) 对胆固醇吸附能力: 参照程明明^[18]的方法。制作胆固醇吸附量的标准曲线, 方程为: $Y = 9.48X - 0.0153$, $R^2 = 0.9966$ 。计算公式如式(6)所示。

$$C_{CA} = \frac{(c_0 - c_1) \times V}{m}, \quad (6)$$

式中:

C_{CA} ——胆固醇吸附能力, mg/g;

c_0 ——吸附前胆固醇浓度, mg/mL;

c_1 ——吸附后胆固醇浓度, mg/mL;

V ——溶液体积, mL;

m ——试样质量, g。

(3) 对胆酸钠吸附能力: 参照罗磊等^[19]的方法。制作胆酸钠标准曲线, 方程为: $Y = 1.4247X - 0.0042$, $R^2 = 0.9965$ 。计算公式如式(7)所示。

$$C_{SCA} = \frac{(c_0 - c_1) \times V}{m}, \quad (7)$$

式中:

C_{SCA} ——胆酸钠吸附能力, mg/g;

c_0 ——吸附前胆酸钠浓度, mg/mL;

c_1 ——吸附后胆酸钠浓度, mg/mL;

V ——溶液体积, mL;

m ——试样质量, g。

(4) 葡萄糖透析延迟指数: 参照 Fuentes-Alventosa 等^[20]的方法。制作葡萄糖吸附量标准曲线, 方程为: $Y = 0.0102X - 0.0468$, $R^2 = 0.994$ 。计算公式如式(8)所示。

$$GDRI = \left(1 - \frac{c - c_d}{c_0}\right) \times 100\%, \quad (8)$$

式中:

$GDRI$ ——葡萄糖透析延迟指数, %;

c ——试样溶液葡萄糖浓度, mg/mL;

c_d ——试样对照葡萄糖浓度, mg/mL;

c_0 ——空白对照葡萄糖浓度, mg/mL。

1.2.5 数据统计与分析 试验结果通过 SPSS 17.0 软件进行统计分析, 以最小显著差异 (least significant difference, LSD) 法进行两两比较。

2 结果与分析

2.1 膳食纤维的含量

测得 S-SDF 含量为 20.8%, S-IDF 含量为 55.13%; P-

SDF 含量为 10%, P-IDF 含量为 69.15%。研究^[21]表明, IDF 含量高于 90% 可使膳食纤维的功能受到抑制, 但随着 SDF 在总膳食纤维中所占比例的增加, 其功能性质随之提高, 当 SDF 含量高于 10% 时可称为优质膳食纤维。试验结果发现, 高粱乌米中 SDF 所占比例大于杏鲍菇, 预示高粱乌米膳食纤维可能具有更好的功能性质。

2.2 膳食纤维理化性质分析

膳食纤维的高持水力、溶胀力和持油力, 在胃肠道中有利于推迟胃排空进程、增加粪便体积、加快排泄速度, 促进肠道健康^[22]; 且良好的理化性质有利于改善食品的风味口感, 并提高加工中的稳定性及产率^[23]。由表 1 可知, 高粱乌米膳食纤维的溶胀力显著强于杏鲍菇膳食纤维 ($P < 0.05$), S-SDF 的溶胀力达到 11.83 mL/g; P-IDF 的持水力显著强于其他 3 种膳食纤维 ($P < 0.05$), 达到 4.55 g/g, S-SDF 显著强于 P-SDF; SDF 的持油力显著强于 IDF ($P < 0.05$), 其中 P-SDF 的持油力最强, 达到 3.01 g/g。

2.3 膳食纤维功能性质分析

2.3.1 膳食纤维葡萄糖吸附能力分析 膳食纤维可有效地吸附葡萄糖, 抑制其扩散, 减少肠道内可获得的葡萄糖量, 从而达到控制血糖的目的^[24]。由图 1 可知, 4 种膳食纤维的葡萄糖吸附能力均随葡萄糖浓度的增加而提高, 大小依次为 S-IDF > P-IDF > S-SDF > P-SDF。高粱乌米膳食纤维对葡萄糖的吸附能力显著强于杏鲍菇膳食纤维 ($P < 0.05$), IDF 的吸附能力强于 SDF。有研究^[25]发现, 并不是所有的 SDF 都具有良好的改善血糖、降低胆固醇等功效, 与其黏性、发酵性能均具有相关性。试验中可能是高粱乌米膳食纤维的孔隙率、黏性和比表面积大于杏鲍菇, 使其捕获葡萄糖分子的能力更强^[26], 且酶解改性可能进一步造成了 S-SDF 与 P-SDF 微观结构的变化^[27], 影响了膳食纤维与葡萄糖的相互作用。以上结果表明高粱乌米膳食纤维具有更好的葡萄糖吸附能力。

2.3.2 膳食纤维胆固醇吸附能力分析 由图 2 可知, 模拟胃环境 (pH 2) 中, 胆固醇吸附能力大小顺序为 P-IDF >

表 1 高粱乌米与杏鲍菇 4 种膳食纤维的理化性质[†]

Table 1 The physicochemical properties of four types of dietary fiber in *Sporisorium reilianum* and *Pleurotus eryngii* ($n=3$)

组别	溶胀力/ (mL · g ⁻¹)	持水力/ (g · g ⁻¹)	持油力/ (g · g ⁻¹)
S-SDF	11.83 ± 0.06 ^a	2.18 ± 0.04 ^c	1.32 ± 0.00 ^b
P-SDF	7.26 ± 0.26 ^b	1.23 ± 0.07 ^d	3.01 ± 0.12 ^a
S-IDF	3.37 ± 0.06 ^c	3.73 ± 0.29 ^b	0.92 ± 0.02 ^c
P-IDF	2.97 ± 0.01 ^d	4.55 ± 0.22 ^a	0.83 ± 0.03 ^c

[†] 字母不同表示同一列数据差异显著 ($P < 0.05$)。

S-IDF>S-SDF>P-SDF;模拟肠道环境(pH 7)中,胆固醇吸附能力顺序为 P-IDF>S-IDF>P-SDF>S-SDF,且膳食纤维在肠道环境中胆固醇吸附能力均强于胃环境中。主要原因可能是酸性环境中大量存在的氢离子,导致膳食纤维与胆固醇携带部分正电荷,由于两者之间存在的排斥力使结合力减弱,导致膳食纤维的胆固醇吸附能力降低^[28]。P-IDF 的吸附能力在两种环境中均显著优于 S-IDF,在模拟胃环境中 S-SDF 的吸附能力显著优于 P-SDF ($P<0.05$),而在模拟肠道环境中正好相反。预示在胃环境中,高粱乌米膳食纤维可能具有更好的调节作用;肠道环境中,杏鲍菇膳食纤维的调节作用可能优于高粱乌米膳食纤维。

2.3.3 膳食纤维胆酸钠吸附能力分析 人体中 90% 以上的胆汁酸以胆酸钠等结合物的形式存在,膳食纤维通过结合胆酸盐可降低其再吸收,抑制其表面活性剂在小肠内的活性,减少脂质乳化,而大肠内的解吸胆盐将被微生物群代谢或随粪便排出^[29]。由图 3 可知,4 种膳食纤维对胆酸钠吸附能力大小为 S-IDF>P-IDF>S-SDF>P-SDF。

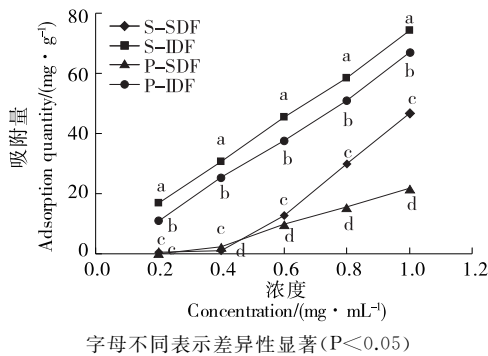


图 1 高粱乌米和杏鲍菇 4 种膳食纤维的葡萄糖吸附能力
Figure 1 Glucose adsorption capacity by four types of dietary fiber from *Sporisorium reilianum* and *Pleurotus eryngii*

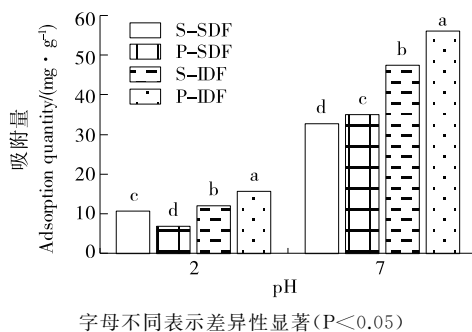


图 2 模拟胃和肠道环境下 4 种膳食纤维的胆固醇吸附能力
Figure 2 Cholesterol adsorption capacity of four types of dietary fiber in simulated gastric and intestinal environments

其中 S-IDF 的胆酸钠吸附能力最强,达 83.8%,其原因可能是与酶解改性后的 SDF 相比, IDF 具有较强的分子极性和较高的阳离子化程度,更易与胆酸盐阴离子形成相互作用^[30]; S-SDF 的吸附能力强于 P-SDF,可能是 S-SDF 分子极性高于 P-SDF,导致吸附能力更强。预示高粱乌米膳食纤维可能具有更好的肠道健康调节作用,有待于深入研究。

2.3.4 膳食纤维葡萄糖透析延迟指数分析 葡萄糖在肠道的透析延迟有利于肠道中益生菌发酵,通过产生短链脂肪酸降低肠道 pH,从而降低感染危险。葡萄糖透析延迟指数可有效地反映葡萄糖在胃肠道中的延迟吸收进程,研究^[31]表明,其与可溶性膳食纤维的含量呈正相关。因此测定 S-SDF 与 P-SDF 的葡萄糖透析延迟指数,结果如图 4 所示, P-SDF 与 S-SDF 的葡萄糖透析延迟指数随着时间的延长呈上升趋势,且 S-SDF 显著高于 P-SDF ($P<0.05$),在 60 min 时达 38.28%。主要原因可能是两者结构的差异, S-SDF 的黏性优于 P-SDF,导致其延迟胃排空的能力更强^[32]。表明高粱乌米可溶性膳食纤维葡萄糖

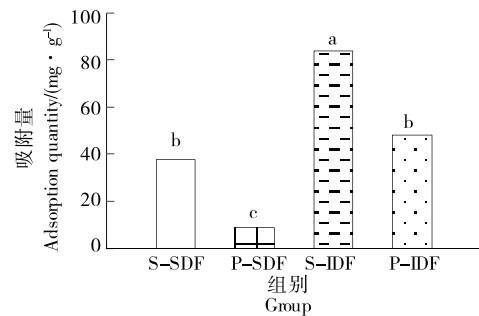


图 3 高粱乌米和杏鲍菇 4 种膳食纤维的胆酸钠吸附能力
Figure 3 The sodium cholate adsorption capacity for four types of dietary fiber from *Sporisorium reilianum* and *Pleurotus eryngii*

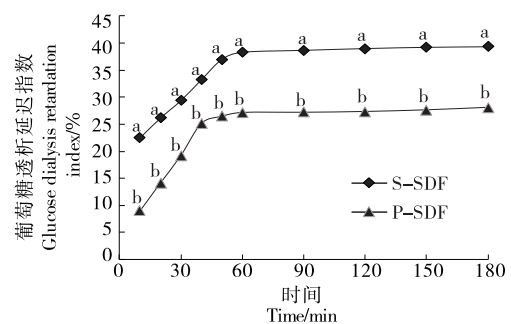


图 4 葡萄糖透析延迟指数与时间的关系图
Figure 4 The relationship between GDRI and dialysis time

透析延迟的能力显著优于杏鲍菇可溶性膳食纤维,可能更有利于胃肠道健康。

3 结论

通过比较理化性质与功能性质,发现理化性质方面杏鲍菇膳食纤维强于高粱乌米膳食纤维,其中杏鲍菇不可溶性膳食纤维持水力和杏鲍菇可溶性膳食纤维持油力最强;乌米可溶性膳食纤维溶胀力最强。功能性质方面,高粱乌米膳食纤维总体强于杏鲍菇膳食纤维,具体表现在高粱乌米膳食纤维的葡萄糖吸附能力、胆酸钠吸附能力、葡萄糖透析延迟指数均显著强于杏鲍菇膳食纤维。以上结果表明杏鲍菇膳食纤维可能更适用于食品的加工,以促进食品品质的改善;相比于杏鲍菇膳食纤维,高粱乌米膳食纤维具有更好的功能性质,预示在体内可能具有良好的促进肠道健康、降糖等功效。但目前关于高粱乌米和杏鲍菇膳食纤维理化功能性质差异的原因尚不清楚,因此关于两种膳食纤维的结构表征、以及通过体内试验或细胞试验进一步评价相关生理功能还有待深入研究,以促进相关功能性食品的开发。

参考文献

- [1] VILLANUEVA-SUAREZ M J, MATEOS-APARICIO I, PEREZ-COZAR M L, et al. Hypolipidemic effects of dietary fibre from an artichoke by-product in Syrian hamsters[J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 56(3): 156-162.
- [2] DELZENNE N M, OLIVARES M, NEYRINCK A M, et al. Nutritional interest of dietary fiber and prebiotics in obesity: Lessons from the MyNewGut consortium[J]. *Clinical Nutrition*, 2019, 39(2): 414-424.
- [3] AJANTH-PRAVEEN M, KARTHIKA-PARVATHY K R, BALASUBRAMANIAN P, et al. An overview of extraction and purification techniques of seaweed dietary fibers for immunomodulation on gut microbiota[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 92(8): 46-64.
- [4] DAI F J, CHAU C F. Classification and regulatory perspectives of dietary fiber[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2017, 25(1): 37-42.
- [5] 王欢, 佟晓红, 刘龄, 等. 高压微射流对生物解离大豆膳食纤维特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(8): 346-352.
- [6] LIN De-long, LONG Xiao-mei, HUANG Yi-chen. Effects of microbial fermentation and microwave treatment on the composition, structural characteristics, and functional properties of modified okara dietary fiber[J]. *LWT*, 2020, 123: 109059.
- [7] WANG Chao-fan, SONG Rong-zhen, WEI Si-qing, et al. Modification of insoluble dietary fiber from ginger residue through enzymatic treatments to improve its bioactive properties[J]. *LWT*, 2020, 125: 109220.
- [8] 赵欣锐, 王秋阳, 杨晰茗, 等. 木聚糖酶改性红松松仁膜衣膳食纤维工艺优化及结构分析[J]. *东北农业科学*, 2019, 44(5): 111-115, 122.
- [9] 张桂华. 高粱乌米应用价值与宣传推广策略[J]. *吉林农业*, 2018(24): 123.
- [10] 朱哲, 王健. 高粱乌米的营养功能与加工利用研究[J]. *农业开发与装备*, 2019(10): 81.
- [11] 靳羽慧, 邓楚君, 赵慧, 等. 3 种常见食用菌营养成分和嘌呤物质含量分析[J]. *中国食用菌*, 2018, 37(4): 62-65, 81.
- [12] ZHANG Chen, ZHANG Lan, LIU Hui, et al. Antioxidation, anti-hyperglycaemia and renoprotective effects of extracellular polysaccharides from *Pleurotus eryngii* SI-04[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 111: 219-228.
- [13] 金铭, 贾丽娜, 刘凤仪, 等. 杏鲍菇功能特性及其在食品中研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(2): 20-22.
- [14] 胡荣锁, 周晶, 董文江, 等. 响应面法优化咖啡果皮可溶性膳食纤维提取工艺和功能特性研究[J]. *热带农业科学*, 2015, 35(9): 66-72.
- [15] ZHANG Wei-min, ZENG Guang-lin, PAN Yong-gui, et al. Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 172(5): 102-112.
- [16] SANGNARK A, NOOMHORM A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse[J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(2): 221-229.
- [17] 周笑犁, 王瑞, 高蓬明, 等. 刺梨果渣膳食纤维的体外吸附性能[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(2): 187-191.
- [18] 程明明. 西番莲果皮水不溶性膳食纤维提取、改性及功能特性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 35-36.
- [19] 罗磊, 王雅琪, 马丽苹, 等. 绿豆皮可溶性膳食纤维提取工艺优化及其物理特性研究[J]. *食品与机械*, 2017, 33(8): 144-149.
- [20] FUENTES-ALVENTOSA J M, JARAMILLO-CARMONA S, RODRIGUEZ-GUTIERREZ G, et al. Effect of extraction method on chemical composition and functional characteristics of high dietary fiber powders obtained from asparagus by-products[J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(2): 665-671.
- [21] 康丽君, 寇芳, 沈蒙, 等. 响应面试验优化小米糠膳食纤维改性工艺及其结构分析[J]. *食品科学*, 2017, 38(2): 240-247.
- [22] 彭祺菲, 阿依姑丽·艾合麦提, 王妙颖, 等. 野山杏果肉不溶性膳食纤维对小鼠肠道功能及肠道菌群的影响[J/OL]. *食品工业科技*. [2019-11-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20191104.1402.018.html>.
- [23] 孔霜霜. 紫薯熟粉的加工及其自发芽研制[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 21-33.

(下转第 42 页)

参考文献

- [1] 江苏省苏州质量技术监督局. 豆芽工厂化生产技术规程: DB3205/T 206—2011[S]. 苏州: [出版者不详], 2011: 2-3.
- [2] 程盛华. 豆芽中三类有害物残留检测方法的研究[D]. 海南: 海南大学, 2015: 2-4.
- [3] 丁丽, 曾邵东, 魏晓奕. 超高效液相色谱—质谱法测定豆芽中多菌灵、2,4-二氯苯氧乙酸、恩诺沙星残留[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 69-75.
- [4] SHI Zhen, CHEN Dan, CHEN Tian-tian, et al. In vivo analysis of two new fungicides in mung bean sprouts by solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2019, 275: 688-695.
- [5] 袁京群, 吴筱丹, 李士敏, 等. 超声辅助提取—高效液相色谱—串联质谱法测定豆芽中福美双的残留量[J]. 理化检验(化学分册), 2017, 53(5): 569-571.
- [6] 张颖颖, 李莹莹. 超高效液相色谱—串联质谱测定猪肉中 16 种喹诺酮类药物残留量[J]. 肉类研究, 2016, 30(5): 36-41.
- [7] 刘少颖, 黄希汇, 胡柯君, 等. 杭州市动物性食品中喹诺酮类抗生素残留水平及安全性评价[J]. 中国卫生检验杂志, 2018, 28(18): 2 280-2 285.
- [8] MARGARITA H, CARME A, FRANESC B, et al. Determination of ciprofloxacin, enrofloxacin and flumequine in pig plasma samples by capillary isotachopheresis-capillary zone electrophoresis [J]. Journal of Chromatography B, 2002, 772(1): 163-172.
- [9] MA Li-yan, ZHANG Hong-yan, XU Wen-tao, et al. Simultaneous determination of 15 plant growth regulators in bean sprout and tomato with liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. Food Analytical Methods, 2013, 6(3): 941-951.
- [10] 黄坤, 范小龙, 曹琦, 等. QuEChERS-超高效液相色谱串联质谱法快速测定禽蛋中 7 种喹诺酮类兽药残留[J]. 食品与发酵工业, 2019(16): 261-265.
- [11] 周贻兵, 李磊, 吴坤, 等. 超高效液相色谱串联质谱法测定鸡肝中恩诺沙星残留含量测定[J]. 现代预防医学, 2017(16): 114-117, 135.
- [12] WANG Xiao-li, GUO Tao, WEI Yun-bo, et al. Determination of quinolone antibiotic residues in human serum and urine using high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry[J]. Journal of Analytical Toxicology, 2019, 43(7): 579-586.
- [13] 李静, 张居舟, 余晓娟, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法测定豆芽中植物生长调节剂残留量的不确定度评定[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 292-297.
- [14] 王嘉权. 液相色谱串联质谱法测定水产品喹诺酮类药物残留的不确定度评定[J]. 广东化工, 2018, 45(12): 227-229.
- [15] YANG Meng-rui, LIU Fang, WANG Min, et al. Development of a whole liquid egg certified reference material for accurate measurement of enrofloxacin residue [J]. Food Chemistry, 2020, 309: 125 253.
- [16] 张宪臣, 毕洪波, 张朋杰, 等. SA-HPLC-MS/MS 法快速检测豆芽中 4 种喹诺酮类药物残留量[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(2): 216-220.
- [17] 程志, 宿书芳, 魏莉莉, 等. 通过式固相萃取净化—液相色谱—串联质谱法测定豆芽中 10 种喹诺酮类抗生素[J]. 分析实验室, 2020, 39(2): 131-136.
- [18] 陶志成, 朱丹倩, 洛灿, 等. 豆芽中 6 种喹诺酮类抗生素药物残留量的同时测定高效液相色谱—串联质谱法测定[J]. 质量与检测, 2019(4): 41-42.
- (上接第 36 页)
- [24] ZHENG Ya-feng, WANG Qi, HUANG Ju-qing, et al. Hypoglycemic effect of dietary fibers from bamboo shoot shell: An in vitro and in vivo study[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 127(3): 120-126.
- [25] MCRORIE J W, MCKEOWN N M. Understanding the physics of functional fibers in the gastrointestinal tract: An evidence-based approach to resolving enduring misconceptions about insoluble and soluble fiber [J]. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2017, 117(2): 251-264.
- [26] XUE Zi-han, MA Qi-qi, GUO Qing-wen, et al. Physicochemical and functional properties of extruded dietary fiber from mushroom Lentinula edodes residues[J]. Food Bioscience, 2019, 32: 100452.
- [27] LUO Xian-liang, WANG Qi, FANG Dong-ya, et al. Modification of insoluble dietary fibers from bamboo shoot shell: Structural characterization and functional properties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 120: 1 461-1 467.
- [28] 张建利, 张正茂, 张芯蕊, 等. 不同提取方法对马铃薯膳食纤维化学组成和理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(11): 33-38.
- [29] BENITEZ V, REBOLLO-HERNANZ M, HERNANZ S, et al. Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient: Functional and physiological characterization[J]. Food Research International, 2019, 122(4): 105-113.
- [30] 姚琦. 马铃薯渣膳食纤维提取、改性及应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2018: 35-36.
- [31] DAOU C, ZHANG Hui. Study on functional properties of physically modified dietary fibres derived from defatted rice bran[J]. Journal of Agricultural Science, 2012, 4(9): 85-97.
- [32] CESPEDES M A L, MARTINEZ BUSTOS F, KIL CHANG Y. The Effect of extruded orange pulp on enzymatic hydrolysis of starch and glucose retardation index[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(5): 684-692.