

瞬时高温流化制备高抗氧化活性玉米的工艺研究

段荣娟^{1,2}, 李永富^{*1,2}, 卜玲娟^{1,2}, 王莉^{1,2}, 王韧^{1,2}, 陈正行^{1,2}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要: 研究了瞬时高温流化对玉米游离酚含量、抗氧化活性的影响, 优化出制备高抗氧化活性玉米的最佳工艺条件。结果表明影响玉米抗氧化活性的因素主次次序为: 流化温度>流化处理时间>进料速度; 最佳工艺条件为: 流化温度 160 ℃, 流化处理时间 60 s, 进料速度 21 kg/h, 所制备的玉米游离酚含量为 345.88 mg GAE/hg, 较原料玉米增加了 27% ($P<0.05$); 抗氧化活性为 8 104.09 $\mu\text{mol TE/hg}$, 是原料玉米的 1.5 倍 ($P<0.05$)。瞬时高温流化制备的玉米游离阿魏酸 (FA)、游离 p-香豆酸 (p-CA) 较原料玉米显著增加 ($P<0.05$), 结合酚、结合 FA 和结合 p-CA 较原料玉米显著降低 ($P<0.05$)。瞬时高温流化处理能够显著增加玉米的游离酚含量和抗氧化活性。

关键词: 瞬时高温流化; 玉米; 抗氧化活性; 游离酚; 结合酚

中图分类号: TS 213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2017)08-0862-07

Optimum Conditions of Instant High-Temperature Fluidization to Improve the Antioxidant Activity of Corn

DUAN Rongjuan^{1,2}, LI Yongfu^{*1,2}, BU Lingjuan^{1,2}, WANG Li^{1,2}, WANG Ren^{1,2}, CHEN Zhengxing^{1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: This research studies the effect of instant high-temperature fluidization on the content of free phenolic and antioxidant activity of corn, and optimizes the conditions of that process. The results show that the fluidizing temperature has the most important effect on antioxidant activity of corn, followed by the fluidizing time and feeding rate, correspondingly, their optimum conditions are 160 ℃, 60 s and 21 kg/h, respectively. The content of free phenolic in corn produced as the optimum conditions is 345.88 mg GAE/hg which increases by 27% compared with that of raw corn ($P<0.05$), and the antioxidant activity of such corn is 8 104.09 $\mu\text{mol TE/hg}$, which is 1.5 times of that of raw corn ($P<0.05$). After corn experiences the instant high-temperature fluidization process, the content of free ferulic acid and free p-coumaric acid of it significantly increases ($P<0.05$), while the content of bound ferulic acid and bound p-coumaric acid decreases significantly ($P<0.05$). This instant high-temperature fluidization can significantly improve the content of free phenolic and antioxidant

收稿日期: 2015-06-18

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403063)。

* 通信作者: 李永富(1969—), 男, 江苏淮安人, 工学硕士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事全谷物营养方面研究。

E-mail: liyf@jiangnan.edu.cn

引用本文: 段荣娟, 李永富, 卜玲娟, 等. 瞬时高温流化制备高抗氧化活性玉米的工艺研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(08): 862-868.

activity of corn, which is beneficial to strengthen the bioactivity and quality of corn.

Keywords: instant high-temperature fluidization, corn, antioxidant activity, free phenolic, bound phenolic

随着人们生活水平不断提高,众多慢性疾病如冠心病、糖尿病、癌症等发病率不断上升。摄食全谷物被认为可以降低这些慢性疾病的危险^[1],因此,每日营养推荐量(Recommended Daily Allowance, RDA)推荐每日摄食6~11类全谷物,美国膳食指南也推荐每日至少摄入3盎司全谷物^[2]。因为全谷物含有丰富的植物化学素(phytochemicals),它能帮助调节体内自由基,平衡氧化压力^[3]。

在三大谷物(小麦、稻谷及玉米)中,玉米的植物化学素丰富,抗氧化活性最强^[4]。但其植物化学素主要以结合态的形式存在于表皮中,尤其是酚类物质^[5-6]。这些酚与表皮细胞壁中多糖通过酯键、醚键、乙缩醛键连接,很难被人体肠道消化、吸收利用^[7-8],而能被人体肠道吸收利用的主要是游离态酚。Dewanto等^[9]发现,甜玉米经炒制后,游离酚含量、总抗氧化活性显著增加。他认为加热处理打断了酚与多糖连接的酯键等,释放出细胞壁中结合态的酚,增加了游离酚含量,从而抗氧化活性增强。Columba等^[10]对玉米进行碱化湿磨,也得到了类似的结果。

瞬时高温流化是一种新的热处理工艺,它是将物料悬浮在高温空气介质中,热量辐射穿透能力强,能量利用效率高,处理时间短。该工艺与炒制工艺、化学处理工艺相比,具有耗时短、能耗低、健康安全、环境友好等优点。国内外未见采用瞬时高温流化工艺增加玉米抗氧化的研究报道,有必要对其工艺和技术进行深入研究,为高抗氧化活性谷物生产提供技术理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

硬质玉米:上海新农饲料股份有限公司产品(产地:辽宁朝阳市);Trolox、AAPH 自由基、阿魏酸、对香豆酸、3,4,5-三甲氧基肉桂酸、儿茶酸:Sigma 公司产品; β -胡萝卜素:Fluca 公司产品;没食子酸、抗坏血酸、福林酚显色剂、无水乙醇(分析纯)、乙酸乙酯(分析纯)、甲醇(色谱纯)、乙腈(色谱纯)、三氟乙酸(化学纯):国药集团化学试剂有限公司产品;

96孔板:南京沃宏生物技术有限公司产品。

1.2 仪器与设备

M5 全波长酶标仪: Molecular Devices 公司产品;HYG-A 全温摇瓶柜:苏州培英实验设备有限公司;J-26 XP 冷冻离心机: Beckman 公司产品;MD200-1 氮吹仪:杭州奥盛仪器有限公司产品;Agilent 1260 高效液相色谱:安捷伦公司产品;UV-1800 分光光度计:美普达公司产品;PB-10 pH 计: Sartorius 公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 称取5 kg 玉米籽粒,通过提升机进入进料斗,打开瞬时高温流化机的燃烧电机,设置流化温度、流化处理时间及进料速度参数,当温度达到设定的参数值时,打开喂料电机及旋转电机,进行瞬时高温流化处理,处理后玉米自然冷却到室温,然后装袋,平衡12 h后磨粉、过40目筛,密封保存。

1.3.2 游离酚提取 准确称取5 g 玉米粉,加入20 mL 体积分数80%乙醇水溶液,混匀后置于摇床中,250 r/min、15℃振荡20 min,超声3 min,然后2 500 g、4℃离心10 min,收集上清液;对沉淀重复提取1次,合并上清液,定容至50 mL后-80℃保存待用^[11]。

1.3.3 结合酚提取 准确称取0.1 g 玉米粉,按1.3.1方法提取,保留沉淀;向装有沉淀的离心管中加入2 mL 2 mol/L NaOH,充氮气10 min密封,置于摇床中250 r/min、25℃震荡消化1 h,消化完成后加体积比1:1 HCl 调节pH(pH<2),加4 mL 100%正己烷脱脂,然后加3 mL 乙酸乙酯提取,重复3次,合并提取液,氮气吹干提取液,用体积分数80%乙醇复溶,定容至10 mL后-80℃保存待用^[11]。

1.3.4 抗氧化活性的测定 抗氧化活性测定采用氧自由基吸收能力(ORAC)法^[12],具体如下。往96孔板中加入25 μ L 样液和150 μ L 0.1 μ mol/L 荧光黄溶液(fluorescein),37℃摇晃培养20 min后加入25 μ L 200 mmol/L AAPH,混匀后,用酶标仪测定2 h 荧光值的动态变化,每1 min测1次。激发波长为

485 nm, 发射波长为 538 nm。样液及标品的抗氧化活性以荧光衰减曲线下方的净面积 ($AUC_{\text{样品}} - AUC_{\text{空白}}$) 计算, 最终抗氧化活性表示为 $\mu\text{mol TE/hg}$ (干重) 样品。

1.3.5 阿魏酸、对香豆酸含量的测定 量取一定体积的游离酚、结合酚提取液或标品 (加内标 3,4,5-三甲氧基肉桂酸), 氮气吹干, 体积分数 50% 甲醇复溶, 过 0.45 μm 有机微滤膜, 使用 HPLC 法测定。

色谱条件^[13]: 苯基-己基柱, 4.6 mm×250 mm (粒度: 5 μm , 加 4.6 mm×3 mm 预柱)。流动相 A: 1 mmol/L 三氟乙酸; 流动相 B: 乙腈: 1 mmol/L 三氟乙酸=90:10 (V:V); 流动相 C: 甲醇: 1 mmol/L 三氟乙酸=90:10 (V:V)。流速 1 mL/min, 进样量 20 μL , 波长 325 nm。梯度洗脱条件 (体积分数): 最初为 85% A、15% B、0% C, 持续 15 min 后转为 82% A、18% B、0% C, 持续 5 min 后转为 80% A、20% B、0% C, 持续 5 min 后转为 72% A、25% B、3% C, 持续 5 min 后转为 70% A、25% B、5% C, 持续 10 min 后转为 65% A、3% B、5% C, 持续 10 min 后转为 55% A、40% B、5% C, 持续 5 min 后转为 85% A、15% B、0% C, 并持续 5 min。以 3,4,5-三甲氧基肉桂酸为内标。

1.3.6 单因素试验

1) 流化温度对玉米抗氧化活性的影响。按流化处理时间 60 s, 进料速度 21 kg/h, 流化温度 130、140、150、160、170 $^{\circ}\text{C}$ 分别对玉米籽粒进行瞬时高温流化处理, 按 1.3.1、1.3.2 方法制备样液, 按 1.3.4 方法测定其抗氧化活性。根据抗氧化活性确定最佳流化温度。

2) 流化处理时间对玉米抗氧化活性的影响。按 1) 中确定的流化温度, 进料速度 21 kg/h, 流化处理时间 20、40、60、80、100、120 s 分别对玉米籽粒进行处理, 制备样液、抗氧化活性测定同 1)。根据抗氧化活性确定最佳流化处理时间。

3) 进料速度对玉米抗氧化活性的影响。按 1) 及 2) 中确定的流化温度和流化处理时间, 进料速度 7、21、35、49、63 kg/h 分别对玉米籽粒进行处理, 制备样液、抗氧化活性测定同 1)。根据抗氧化活性确定最佳进料速度。

1.3.7 其他试验方法 水分含量测定采用 GB 5009.3—2010^[14]; 粗蛋白质测定采用 GB 5009.5—2010^[15]; 脂肪测定采用 GB 5009.6—2003^[16]; 灰分含

量测定采用 5009.4—2010^[17]; 淀粉含量测定采用 GB/T 5009.9—2008^[18]; 酚含量测定采用福林酚法^[12]; 黄酮含量测定采用氯化铝—亚硝酸钠法^[5]; VC 含量测定采用 2,6-二氯酚法^[9]。

1.4 数据分析

所有测定均重复 3 次, 利用 Origin 9.0 数据处理软件和 Excel 进行数据分析, 利用 SPSS 数据处理软件的 LSD 法对实验结果进行显著性分析, 当 $P < 0.05$ 表示在统计学上有显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 玉米的主要成分

玉米籽粒的主要成分分析结果如表 1 所示。

表 1 玉米籽粒基本组分

Table 1 Basic components of corn kernels %

成分	质量分数
水分	13.48±0.04
脂肪	3.50±0.02
淀粉	64.72±0.94
蛋白质	8.17±0.12
灰分	1.01±0.12

2.2 单因素试验

2.2.1 流化温度对玉米抗氧化活性的影响 按 1.3.6 中 1) 方法进行流化温度对玉米抗氧化活性影响的单因素试验, 结果见图 1。

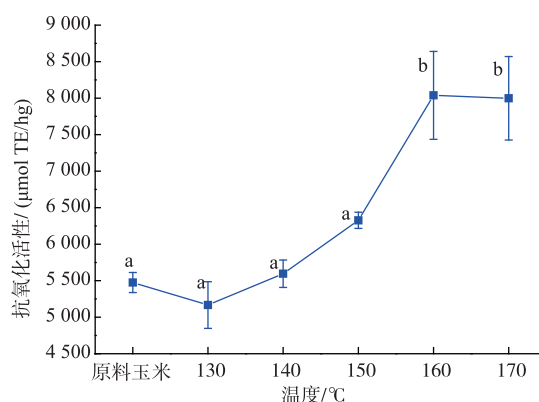


图 1 流化温度对玉米抗氧化活性的影响

Fig. 1 Effect of temperature on the antioxidant activity of corn

从图 1 中可知, 随着流化温度的升高, 玉米的抗氧化活性不断增强。在温度 130~150 $^{\circ}\text{C}$ 范围内, 玉米的抗氧化活性变化不显著 ($P > 0.05$); 当温度升高到 160 $^{\circ}\text{C}$ 时, 玉米的抗氧化活性显著增强 ($P <$

0.05),其抗氧化活性为 8 025.40 $\mu\text{mol TE/hg}$,是原料玉米的 1.5 倍;继续升高温度到 170 $^{\circ}\text{C}$ 时,玉米的抗氧化活性较 160 $^{\circ}\text{C}$ 的并没有显著增强 ($P>0.05$)。因此,选择温度 160 $^{\circ}\text{C}$ 为最佳流化温度。

2.2.2 流化处理时间对玉米抗氧化活性的影响 按 1.3.6 中 2)方法进行流化处理时间对玉米抗氧化活性影响的单因素试验,结果见图 2。

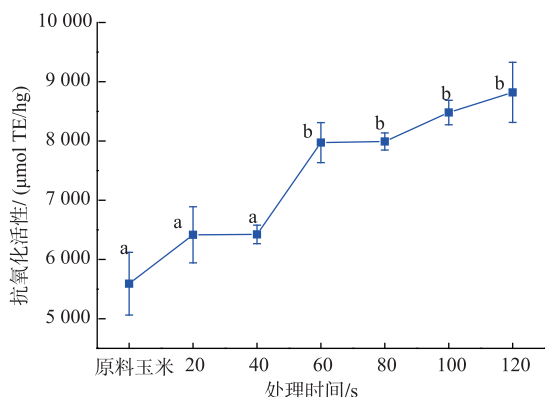


图 2 流化处理时间对玉米抗氧化活性的影响

Fig. 2 Effect of processing -time on the antioxidant activity of corn

由图 2 可知,随着流化处理时间延长,玉米抗氧化活性增强。当时间在 40 s 内时,玉米的抗氧化活性增长不显著 ($P>0.05$); 当时间延长到达 60 s 时,玉米的抗氧化活性显著增长 ($P<0.05$); 继续延长,尽管抗氧化活性有增强的趋势,但较 60 s 没有显著性增强 ($P>0.05$)。从节能、提高生产效率考虑,选 60 s 为最佳流化处理时间。

2.2.3 进料速度对玉米抗氧化活性的影响 按 1.3.6 中 3)方法进行进料速度对玉米抗氧化活性影响的单因素试验,结果见图 3。

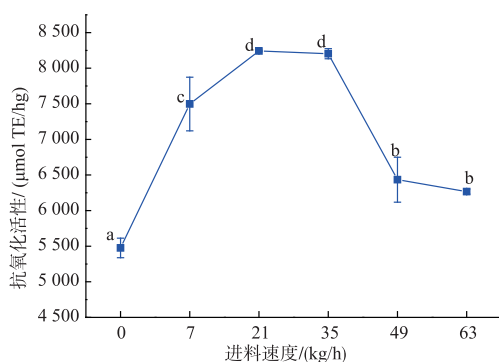


图 3 进料速度对玉米抗氧化活性的影响

Fig. 3 Effect of feed rate on the antioxidant activity of corn

由图 3 可知,随着进料速度的增大,玉米的抗氧化活性呈现先增后减的趋势。进料速度主要影响装料量,当进料速度为 7 kg/h 和 21 kg/h 时,玉米的抗氧化活性较原料玉米的显著增强 ($P<0.05$); 当进料速度增大到 35 kg/h 时,玉米的抗氧化活性没显著变化 ($P<0.05$); 当进料速度继续加大时,玉米抗氧化活性显著降低 ($P<0.05$)。从生产效率角度考虑,选择 35 kg/h 为最佳进料速度。

2.3 正交试验

在单因素试验的基础上,选择流化温度、流化处理时间、进料速度为考察因素,以处理后玉米的抗氧化活性为指标,采用 $L_9(3^4)$ 进行正交试验,各因素水平见表 2,正交试验结果见表 3。

表 2 因素水平表

Table 2 Factors and levels graph

水平	流化温度/ $^{\circ}\text{C}$ A	流化处理时间/s B	进料速度/(kg/h) C
1	150	80	21
2	170	60	35
3	160	40	49

由表 3 可知,影响玉米抗氧化活性的因素,其主次顺序为流化温度>流化处理时间>进料速度;最优方案为 $A_2B_2C_1$,即流化温度 170 $^{\circ}\text{C}$ 、流化处理时间 60 s、进料速度 21 kg/h,由于此方案不在 9 组实验中,需要进行验证试验。

2.4 验证试验

按 2.3 正交试验结果较好的方案 $A_3B_2C_1$ 与分析所得最优方案 $A_2B_2C_1$ 进行验证试验,结果见表 4。

由表 4 可知,方案 $A_3B_2C_1$ 与 $A_2B_2C_1$ 中抗氧化活性无显著差异 ($P>0.05$),故流化温度 A 选择 160、170 $^{\circ}\text{C}$ 均可,但综合考虑抗氧化活性、节约能源,确定 $A_3B_2C_1$ 为最佳方案,即流化温度 160 $^{\circ}\text{C}$ 、流化处理时间 60 s、进料速度 21 kg/h。

2.5 处理前后主要抗氧化活性成分含量变化

为分析瞬时高温流化制备玉米抗氧化活性提高的原因,本研究中对处理前后玉米中主要抗氧化活性成分质量分数的变化进行研究。分析发现,与原料玉米相比,瞬时高温流化制备的玉米的游离酚质量分数显著增高 ($P<0.05$),抗氧化活性显著增强 ($P<0.05$),而结合酚、还原型抗坏血酸质量分数显著降低 ($P<0.05$)。这与 Dewanto 等^[9]的研究结果一致。瞬时高温 (≥ 160 $^{\circ}\text{C}$) 能将酯化的、不溶的结合态酚

表 3 正交试验结果直观分析

Table 3 Visual analysis of orthogonal results

试验号	因素				抗氧化活性/ $\mu\text{mol TE/hg}$
	温度 <i>A</i>	时间 <i>B</i>	进料速度 <i>C</i>	空列 <i>D</i>	
1	1	1	1	1	6 560.38±52.23
2	1	2	2	2	7 120.68±692.55
3	1	3	3	3	6 810.43±469.45
4	2	1	2	3	7 879.61±655.15
5	2	2	3	1	7 390.50±123.79
6	2	3	1	2	7 789.68±222.79
7	3	1	3	2	7 930.68±294.08
8	3	2	1	3	8 104.09±539.36
9	3	3	2	1	6 976.91±267.80
K_1	20 491.50	22 370.68	22 454.16	20 927.80	主次因素顺序 $A>B>C$ 最优方案 $A_2B_2C_1$
K_2	23 059.80	22 615.27	21 977.20	22 841.05	
K_3	23 011.69	21 577.03	22 131.62	22 794.13	
k_1	6 830.50	7 456.89	7 484.72	6 975.93	
k_2	7 686.60	7 538.42	7 325.73	7 613.68	
k_3	7 670.56	7 192.34	7 377.21	7 598.04	
R	856.10	346.08	158.98	622.11	

表 4 验证性实验及结果

Table 4 Confirmatory experiments and results

受试方案	抗氧化活性/ ($\mu\text{mol TE/hg}$)
$A_3B_2C_1$	8 104.09±539.39
$A_2B_2C_1$	7 997.94±571.65

表 5 玉米处理前后主要抗氧化物的改变

Table 5 Changes of main antioxidants of corn before and after processing

	原料玉米	优化加工玉米
游离酚质量分数/ (mg GAE/hg)	272.74±17.87	345.88±0.40*
结合酚质量分数/ (mg GAE/hg)	467.75±0.00	441.15±0.01**
游离 FA 质量分数/ ($\mu\text{g/g}$)	5.56±0.04	7.43±0.03**
结合 FA 质量分数/ ($\mu\text{g/g}$)	2 510.42±0.00	2 110.65±0.01**
游离 p-CA 质量分数/ ($\mu\text{g/g}$)	7.60±0.08	10.03±0.03**
结合 p-CA 质量分数/ ($\mu\text{g/g}$)	263.39±0.00	237.49±0.01**
还原型抗坏血酸质量分数/ (mg/hg)	4.53±0.00	2.14±0.43*
游离黄酮质量分数/ (mg catechin/hg)	0.12±0.01	0.12±0.01

注: GAE 为没食子酸, FA 为阿魏酸, p-CA 为对香豆酸, 同一行中上标有 * 为差异显著 ($P<0.05$), ** 为差异极显著 ($P<0.01$)。

释放, 转变为可溶的游离态酚, 使结合酚含量降低, 游离酚含量升高。瞬时高温流化热处理会加速还原型抗坏血酸的氧化破坏, 降低其含量, 而这并没有降低玉米的抗氧化活性。因为玉米中还还原型抗坏血酸含量低, 它对玉米的总抗氧化活性的贡献小, 玉米的抗氧化活性主要来源于游离酚, 游离酚含量显著增加能够显著增强玉米的总抗氧化活性。Eberhardt 等^[19]研究苹果的抗氧化活性也发现, 苹果中还还原型抗坏血酸对总抗氧化活性的贡献<4%, 绝大部分抗氧化活性来源于苹果中以酚类为主的植物化合物^[20]。

玉米中含量最多的酚类物质是阿魏酸、香豆酸、丁香酸^[21], 前两者具有 $\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ 结构, 比水杨酸类丁香酸具有更强的提供氢的能力和抗氧化活性^[22-23], 因此本试验中研究瞬时高温流化处理对阿魏酸、p-香豆酸含量的影响。结果发现, 最佳工艺条件下制备的玉米, 其游离 FA、游离 p-CA 质量分数显著增多 ($P<0.05$), 而结合 FA、结合 p-CA 质量分数显著降低 ($P<0.05$)。Kim 等^[24]炒制玉米后也得到了类似的结果。这一趋势与处理后玉米游离酚和结合酚质量分数变化、抗氧化活性变化趋势一致。可见, 瞬时高温流化能够有效打断酚与多糖连

接的酯键,将多种结合酚转变为游离酚,使得以游离 FA、游离 p-CA 为代表的游离酚质量分数增加,从而提高玉米的抗氧化活性。

GAHLER 等^[25]对番茄进行热处理,发现番茄总抗氧化活性增强,他们认为除了游离酚的增加,美拉德反应产生了具有抗氧化活性的中间产物也是一个原因。尽管本试验的最佳流化温度 160 ℃处在美拉德反应的最适温度范围,但氨基酸分析结果显示各必需氨基酸没有显著减少($P>0.05$),表明美拉德反应较弱,因此,瞬时高温流化玉米的抗氧化活性增强主要源于游离酚含量的增加。

3 结 语

瞬时高温流化能够显著增加玉米游离酚含量和抗氧化活性,影响因素次序由高到低为:流化温度>流化处理时间>进料速度;最佳工艺条件是流化温度 160 ℃,流化处理时间 60 s,进料速度 21 kg/h。

瞬时高温流化处理后玉米的抗氧化活性增强主要来自于游离酚质量分数的增加。处理后玉米的游离 FA、游离 p-CA 质量分数显著增加;游离酚含量较原料玉米增加了 27%,抗氧化活性较原料玉米增强了 1.5 倍。

参考文献:

- [1] YAO Huiyuan, WANG Li, ZHOU Sumei, et al. Whole cereal food: a tendency to improve nutrition values of cereal food[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2002, 21(5): 545-548. (in Chinese)
- [2] OKARTER N, LIU C S, SORRELLS M E, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(1): 249-257.
- [3] HARAKOTR B, SURIHARN B, TANGWONGCHAI R, et al. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking[J]. *Food Chemistry*, 2014, 164: 510-517.
- [4] SLAVIN J L, MARTINI M C, JACOBS D R, et al. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1999, 70(3 Suppl): 459S-463S.
- [5] ADOM K K, LIU R H. Antioxidant activity of grains [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(21): 6182-6187.
- [6] ZHANG Genyi, CAI Yanwei, LENG Xue. Cereal carbohydrates and colon health [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2012, 31(2): 124-133. (in Chinese)
- [7] TORRE P, ALIAKBARIAN B, RIVAS B, et al. Release of ferulic acid from corn cobs by alkaline hydrolysis [J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2008, 40(3): 500-506.
- [8] RAO R S P, MURALIKRISHNA G. Water soluble feruloyl arabinoxylans from rice and ragi: Changes upon malting and their consequence on antioxidant activity[J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(1): 91-99.
- [9] DEVANTO V, WU X, LIU R H. Processed sweet corn has higher antioxidant activity [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(17): 4959-4964.
- [10] PARRA D L C, SALDIVAR S O, LIU R H. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(10): 4177-4183.
- [11] LOPEZ M L X, OLIART R R M, VALERIO A G, et al. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(6): 1187-1192.
- [12] MORA-ROCHIN S, GUTIERREZ-URIBE J A, SERNA-SALDIVAR S O, et al. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52(3): 502-508.
- [13] DOBBERSTEIN D, BUNZEL M. Separation and detection of cell wall-bound ferulic acid dehydrodimers and dehydrotrimers in cereals and other plant materials by reversed phase high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(16): 8927-8935.
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.6-2010 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4-2010 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.

- [18] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.9-2010 食品安全国家标准 食品中淀粉含量的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [19] EBERHARDT M V, LEE C Y, LIU R H. Antioxidant activity of fresh apples[J]. *Nature*, 2000, 405(6789): 903-904.
- [20] WOLFE K, WU X Z, LIU R H. Antioxidant activity of apple peels [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(3): 609-614.
- [21] LUTHRIA D L, LIU K, MEMON A A. Phenolic acids and antioxidant capacity of distillers dried grains with solubles (DDGS) as compared with corn[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2012, 89: 1297-1304.
- [22] VEENASHRI B R, MURALIKRISHN A G. In vitro anti-oxidant activity of xylo-oligosaccharides derived from cereal and millet brans-A comparative study[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(3): 1475-1481.
- [23] KIM K, TSAO R, YANG R, et al. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions[J]. *Food Chemistry*, 2006, 95(3): 466-473.
- [24] KIM E O, YU M H, LEE K T, et al. Effect of thermal pretreatment on the functional constituents of waxy corn (*Zea mays* L.)[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2009, 18(6): 1336-1341.
- [25] GAHLER S, OTTO K, BOHM V. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(27): 7962-7968.

会 议 消 息

会议名称(中文): 农业资源开发利用与管理学术研讨会

所属学科: 农林基础, 环境工程, 环境生态

开始日期: 2017-10-20

结束日期: 2017-10-22

所在城市: 江苏省 扬州市

主办单位: 中国自然资源学会资源循环利用专业委员会

承办单位: 扬州大学环境科学与工程学院

联系人: 蒋新跃 (15396761819)/余彬彬 (13511757593)

联系电话: 0514 - 87979528/87979615

E-MAIL: bbyu@yzu.edu.cn

会议网站: http://hjxy.yzu.edu.cn/art/2017/5/26/art_4849_558587.html

会议背景介绍: 为促进“农业资源开发利用与管理”前沿学术问题交流, 根据中国自然资源学会指导精神, 由中国自然资源学会资源循环利用专业委员会主办, 扬州大学环境科学与工程学院承办的“中国自然资源学会资源循环利用专业委员会第三届全国学术研讨会”将于2017年10月20-22日在江苏扬州举行。本次会议采取大会特邀报告、分会场报告、墙报展示、会议论文集相结合的形式, 围绕农业资源开发利用与管理开展交流, 会议旨在为全国该领域学者提供展示最新研究成果的平台, 通过学术交流和思想碰撞, 拓展知识面、推动学术创新、促进多学科交叉合作。同时, 促进学科青年人才的成长与发展, 为青年学者成才营造良好的学术氛围。大会将邀请相关研究领域著名学者做5-6个特邀报告, 分享该领域的最新研究进展和前沿发展趋势。在分会场报告的过程中, 参会代表将分别针对各重点议题进行充分的讨论与交流。欢迎全国高等院校、科研院所和企业相关学者和研究生积极投稿与参会。