

微波预处理亚麻籽 对其压榨饼生氰糖苷含量 及压榨油品质的影响

曹伟伟,黄庆德*,田光晶,邓乾春

(中国农业科学院油料作物研究所,油料脂质化学与营养湖北省重点实验室,湖北武汉 430062)

摘要:优化了微波预处理亚麻籽降低其压榨饼生氰糖苷含量的条件,并比较了甘肃亚麻籽在最佳微波条件下微波前后压榨油的品质变化,同时对比了另外五个不同品种亚麻籽在最佳微波条件下其压榨饼生氰糖苷含量在微波前后的变化。结果表明:最佳微波条件为功率 700 W,时间 6 min,亚麻籽水分 17%。在此微波条件下,甘肃亚麻籽压榨饼生氰糖苷含量降低至 (4.18 ± 0.23) mg/kg,其压榨油的酸价显著升高,过氧化值显著降低,黄色值、红色值均微弱增加。脂肪酸组成、甾醇含量没有显著性变化,总酚含量是直接压榨亚麻籽油的 1.42 倍;另外五个不同品种亚麻籽仅哈尔滨亚麻籽压榨饼中生氰糖苷的含量为 (15.40 ± 0.47) mg/kg,其余四个品种的压榨饼生氰糖苷含量均在 5 mg/kg 以下。

关键词:微波预处理,压榨饼,生氰糖苷,压榨油

Effects of microwave pretreatment on the content of cyanogenic glucosides in pressed flaxseed cakes and the quality of pressed oil

CAO Wei-wei, HUANG Qing-de*, TIAN Guang-jing, DENG Qian-chun

(Oilcrops Research Institute, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Hubei Key Laboratory of Lipid Chemistry and Nutrition, Wuhan, 430062, China)

Abstract: The parameters of microwave pretreatment applied in lowering cyanogenic glucosides of pressed flaxseed cakes were optimized, and the quality of pressed Gansu flaxseed oil before and after being treated under the best condition of microwave treatment was compared. Moreover, the effects of lowering cyanogenic glucosides in other five different varieties of pressed flaxseed cakes under the optimal condition of microwave treatment were compared. Results showed the optimal condition of microwave pretreatment was established: power 700 W, time 6 min, flaxseed moisture 17%. Under the optimal condition, the content of cyanogenic glucosides in pressed Gansu flaxseed cakes was reduced to (4.18 ± 0.23) mg/kg. The acid value of pressed Gansu flaxseed oil was significantly increased, while peroxide value was decreased. Meanwhile, the yellow value and red value were also increased. But fatty acid composition, the content of sterols had no significant changes, total phenols content was 1.42 times as the phenols of directly pressed flaxseed oil. In addition, the cyanogenic glycosides content in pressed Haerbin flaxseed cakes was (15.40 ± 0.47) mg/kg, but cyanogenic glycosides content in other four different varieties of flaxseed cakes all remained lower than 5 mg/kg.

Key words: microwave pretreatment; pressed cakes; cyanogenic glucosides

中图分类号:TS229

文献标识码:B

文章编号:1002-0306(2016)09-0134-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.09.018

亚麻籽中含有丰富的亚麻酸,是一种营养价值极高的特种油料。但亚麻籽中含有对人体有害的生氰糖苷,亚麻籽经压榨制取油后,生氰糖苷几乎全部

残留在压榨饼中。生氰糖苷是由氰醇衍生物的羟基和 D-葡萄糖缩合形成的,包括 β -龙胆二糖丙酮氰醇、 β -龙胆二糖甲乙酮氰醇、亚麻苦苷和百脉苦

收稿日期:2015-10-16

作者简介:曹伟伟(1990-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学,E-mail:weiweihappy2@163.com。

*通讯作者:黄庆德(1964-),男,研究员,研究方向:胡麻加工利用,E-mail:huangqd@oilcrops.cn。

基金项目:国家胡麻产业技术体系项目(CARS-17)。

苷^[1]。生氰糖苷具有极强的毒性,因为它会在水解酶存在下生成氢氰酸,氢氰酸会造成细胞中毒性缺氧、心率紊乱、肌肉麻痹等症状^[2]。目前,亚麻籽的脱毒方法有烘烤法^[3-5]、溶剂法^[6-7]、发酵法^[8-9]、水煮法^[10-11]、挤压膨化法^[12-13]等,但是烘烤法效果差,溶剂法存在溶剂残留的问题,发酵法需要特定的菌种、且周期长,水煮法会造成营养物质的流失,挤压膨化法会造成部分油脂的损失,而微波法^[14-15]作为一种新型的食品加工方法,对生氰糖苷的去除效率最高^[16]。因此,微波预处理亚麻籽降低其压榨饼中生氰糖苷的含量高效、可行。虽然关于微波脱除亚麻籽粕的生氰糖苷已有报道,但亚麻籽的水分对微波脱除生氰糖苷的影响研究较少,且微波预处理亚麻籽对其压榨饼生氰糖苷含量及压榨油的影响鲜有人研究。因此,该研究旨在优化微波预处理亚麻籽降低其压榨饼中生氰糖苷含量的条件及研究微波对压榨油的品质影响,以期为亚麻饼的开发利用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

甘肃亚麻籽、哈尔滨亚麻籽、伊亚4号、坝亚9号、宁亚17号、陇亚10号来源于实验室收集的亚麻籽;正己烷、石油醚、氢氧化钾、乙醇、冰乙酸、碘化钾、三氯甲烷均购自国药集团化学试剂有限公司;异丙醇、5 α -胆甾烷购自Sigma公司。

Avanti J-26XP 高效离心机 美国 Beckman 公司;WLS-2A 罗维朋比色仪 上海索光光电技术有限公司;气相色谱(Agilent 7890A) 美国 Agilent 公司;CA59G 冷榨机 德国 Komet 公司;密闭式微波消解仪 美国 CEM 公司;LC-6AD 液相色谱仪 日本岛津仪器公司;DU800 紫外分光光度计 美国 Beckman Coulter 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 微波预处理亚麻籽及亚麻饼的压榨 以甘肃亚麻籽为原料,优化微波条件。将调成一定水分的亚麻籽放入直径为 9.5 cm 的平皿,每个平皿装入等量的 40 g 亚麻籽,每次放入微波炉 4 个平皿,并在不同的功率和时间下进行微波。测定微波后亚麻籽的水分,将 160 g 籽的水分统一调节至 7%,置 4℃ 冰箱 12 h 后,一起入榨油机进行压榨,收集压榨饼,粉碎,过 40 目筛,测定其生氰糖苷的含量。生氰糖苷的含量以 HCN(mg/kg)计,考虑到压榨饼中水分和残油含量的差异会导致不同处理条件下压榨饼 HCN 含量的不同,最终 HCN 含量须按脱脂亚麻饼干基计,即扣除亚麻饼中的残油和水分含量,计算公式如下:

最终 HCN 含量 = 压榨饼 HCN 含量 / (1 - 残油含量 - 水分含量)

式中:压榨 HCN 含量单位为 mg/kg,残油、水分单位均为%。

1.2.2 理化指标分析方法 生氰糖苷参照 GB/T 13084-2006 及 HJ 484-2009;水分参照 GB/T10358-2008,残油参照 GB/T 10359-2008;色泽参照 GB/T 5525-2005;酸价参照 GB/T5530-2005;过氧化值参

照 GB/T 5538-2005;脂肪酸组成参照欧洲标准 EN14103 方法;维生素 E 参照 AOCS Official Method Ce 8-89;植物甾醇参照 Azadmard-Damirchi^[17]等的方法,稍作修改;总酚参照方法 Koski^[18]和 Kaur and Kapoor^[19],稍作修改。

1.2.3 单因素实验

1.2.3.1 微波时间对压榨饼生氰糖苷含量的影响 将亚麻籽的水分(初始水分为 7.9%)调至 11%,固定微波功率 500 W,在不同时间下微波亚麻籽,然后调节微波后亚麻籽水分至 7% 进行压榨,考察不同微波时间对压榨饼中生氰糖苷含量的影响。

1.2.3.2 亚麻籽的水分含量对压榨饼生氰糖苷含量的影响 固定微波功率 500 W,时间 6 min,将亚麻籽的水分调成不同水分后放置于微波炉内,然后调节微波后亚麻籽水分至 7% 进行压榨,考察亚麻籽的不同水分对压榨饼中生氰糖苷含量的影响。

1.2.3.3 微波功率对压榨饼生氰糖苷含量的影响 调节亚麻籽的水分为 17%,微波时间 6 min,在不同功率下微波亚麻籽,然后调节微波后亚麻籽水分至 7% 进行压榨,考察不同微波功率对压榨饼中生氰糖苷含量的影响。

1.2.4 正交实验 在微波功率(A)、微波时间(B)、亚麻籽的水分(C)单因素的基础上,以 HCN 含量为指标,以微波功率、微波时间、亚麻籽的水分为实验因素,进行四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交实验,以确定最佳微波预处理条件。正交实验设计因素水平见表 1 所示。

表 1 正交实验因素水平表

Table 1 The factor level table of orthogonal test

水平	因素		
	A 功率(W)	B 时间(min)	C 水分(%)
1	500	5	15
2	600	6	17
3	700	7	19

1.3 数据处理

采用 SPSS18.0 对数据进行处理及分析。

2 结果与讨论

2.1 微波预处理亚麻籽单因素实验

2.1.1 微波时间对压榨饼生氰糖苷含量的影响 实验结果见图 1。由图 1 可知,微波时间达到 6 min 前,亚麻籽压榨饼中的生氰糖苷含量随着微波时间的延长迅速下降,超过 6 min 后,生氰糖苷含量基本不变。这是因为微波加热使亚麻籽的温度升高,分解生氰糖苷的糖苷酶活性变大,生氰糖苷分解成 HCN 的速度加快^[20],但微波时间过长,亚麻籽的水分含量就会越低,从而影响了生氰糖苷的分解。另外,适当的微波加热可以使物料内外同时加热,物料的外表面不会形成焦糊坚硬的外壳,从而使水分和生成的氢氰酸比较容易释放出来。但当微波时间达到 8 min 时,微波炉内温度过高,亚麻籽出现焦糊状态,营养破坏严重,故选择微波时间 5~7 min 为宜。

2.1.2 亚麻籽水分含量对压榨饼生氰糖苷含量的影

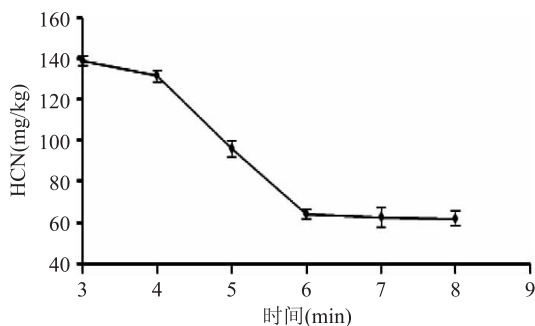


图1 微波时间对压榨饼生氰糖苷含量的影响

Fig.1 Effect of microwave time on the content of cyanogenic glycosides in pressed cakes

响 实验结果见图2。由图2可知,随着亚麻籽水分含量的增加,压榨饼中生氰糖苷的含量呈先下降后上升的趋势。这与微波化学法脱除菜籽饼粕硫甙的趋势一致,生氰糖苷与硫甙均为含糖苷与碳氮键的抗营养因子^[21],在适宜的水分下可以得到较好的分解。因为亚麻籽的水分含量越高,糖苷酶水解生氰糖苷的反应速度就会越快,同时较高的水分会促使分解的HCN随着水分的急剧挥发释放出来,所以在亚麻籽的水分含量未达到17%时,生氰糖苷的含量随着水分的增加而降低。但是,亚麻籽的水分含量超过17%时,会使微波炉内的温度下降过大,从而影响生氰糖苷的分解,造成其含量的上升。因此,选择亚麻籽水分含量15%~19%为宜。

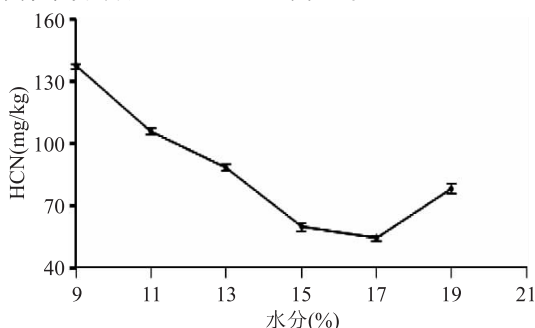


图2 亚麻籽水分含量对压榨饼生氰糖苷含量的影响

Fig.2 Effect of flaxseed moisture on the content of cyanogenic glycosides in pressed cakes

2.1.3 微波功率对压榨饼生氰糖苷含量的影响 实验结果见图3。由图3可知,随着微波功率的增加,压榨饼中生氰糖苷的含量迅速下降,700 W以后基本不变。这是因为功率越大,微波炉内温度越高,越有利于生氰糖苷结构的破坏,同时分解生氰糖苷的糖苷酶活性越高,生成的HCN挥发的速度也越快。在一定功率下,微波加热的均匀性使得亚麻籽的表壳不会形成焦糊的外壳,更有利于HCN的释放。但当微波功率达到800 W时,亚麻籽处于焦糊状态,不仅生氰糖苷没有完全被脱除,可能影响亚麻籽油及压榨饼的营养品质。因此,选择微波功率500~700 W为宜。

2.2 正交实验

正交实验结果表明:各因素对生氰糖苷含量的影响为:微波功率(A) > 水分(C) > 微波时间(B),最佳

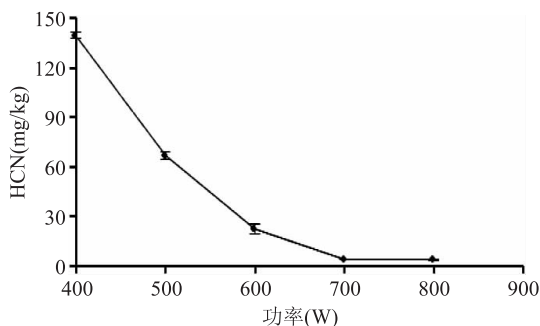


图3 微波功率对压榨饼生氰糖苷含量的影响

Fig.3 Effect of microwave power on the content of cyanogenic glycosides in pressed cakes

微波预处理条件为 $A_3B_2C_2$, 即微波功率为700 W, 微波时间为6 min, 亚麻籽的水分含量为17%。在最佳条件下进行三次验证实验, 得到压榨饼的生氰糖苷含量达 $(4.18 \pm 0.23) \text{ mg/kg}$, 与未经微波处理的亚麻籽压榨饼(生氰糖苷含量为 $241.84 \pm 1.92 \text{ mg/kg}$)相比, 生氰糖苷的含量显著降低。

表2 正交实验结果

Table 2 The results of orthogonal test

实验号	A	B	C	HCN 含量 (mg/kg)
1	1	1	1	73.94
2	1	2	2	55.61
3	1	3	3	75.86
4	2	1	2	34.45
5	2	2	3	38.12
6	2	3	1	19.70
7	3	1	3	4.90
8	3	2	1	4.50
9	3	3	2	4.29
k_1	68.47	37.77	32.71	
k_2	30.76	32.74	31.45	
k_3	4.57	33.29	39.63	
R	63.9	5.02	8.18	

2.3 最佳微波条件下压榨亚麻籽油品质微波前后的对比

由2.2可知,最佳微波预处理条件可以显著降低亚麻籽压榨饼生氰糖苷的含量,但是否会对压榨油的品质产生严重的破坏仍是值得研究的。因此,将甘肃亚麻籽在2.2最佳条件下进行微波处理,得到的压榨油与其不经微波处理直接压榨的亚麻籽油进行理化指标和营养指标的对比,结果见表3。

由表3可知,微波后甘肃亚麻籽压榨油的酸价显著升高、过氧化值显著降低,黄色值、红色值微弱升高。脂肪酸组成、菜油甾醇、 β -谷甾醇、 Δ^5 -燕麦甾醇、环阿屯醇、2,4-亚甲基环阿屯醇、总甾醇没有显著性变化,总酚含量是直接压榨亚麻籽油的1.42倍。这表明适当的微波处理亚麻籽不仅可以大大降低其压榨饼中生氰糖苷的含量,还可以增加压榨油中的多酚含量^[22],提高压榨油的抗氧化能力。

表3 压榨亚麻籽油微波前后品质的对比
Table 3 Comparison of the quality of pressed flaxseed oil before and after microwave treatment

指标	压榨亚麻籽油	
	未经微波处理	微波处理
酸价(mg KOH/g 油)	0.92 ± 0.01	1.10 ± 0.02 *
过氧化值(mmol/kg)	1.21 ± 0.09	1.10 ± 0.06 *
色泽(25.4 mm)	Y 2.2 ± 0.07	Y 2.4 ± 0.05 *
	R 35.8 ± 0.06	R 36.1 ± 0.06 *
维生素 E(mg/100 g)	44.64 ± 0.59	43.17 ± 0.19
总酚(mg/100 g)	84.4 ± 2.43	119.33 ± 3.41 *
棕榈酸	5.50 ± 0.01	5.56 ± 0.00
硬脂酸	3.57 ± 0.01	3.57 ± 0.00
脂肪酸组成(%) 油酸	20.31 ± 0.05	20.29 ± 0.11
	亚油酸	15.08 ± 0.03
	亚麻酸	55.54 ± 0.05
菜油甾醇(mg/100 g)	76.02 ± 0.59	72.30 ± 2.49
β-谷甾醇(mg/100 g)	116.77 ± 1.64	114.24 ± 1.38
Δ5-燕麦甾醇(mg/100 g)	25.44 ± 1.33	26.00 ± 0.19
环阿屯醇(mg/100 g)	125.35 ± 0.86	123.21 ± 1.34
2,4-亚甲基环阿屯醇(mg/100 g)	38.47 ± 0.91	37.33 ± 0.42
总甾醇(mg/100 g)	382.06 ± 1.61	373.08 ± 2.22

注：* 代表差异显著(p < 0.05)。

2.4 五个不同品种亚麻籽在最佳微波条件下压榨饼的脱毒效果

为了考察最佳微波条件是否对不同生氰糖苷含量的亚麻籽压榨饼具有相同的脱毒效果,故选取另外五种含有高、中、低不同生氰糖苷含量的亚麻籽,在2.2取得的最佳微波条件下进行处理,测定微波后亚麻籽压榨饼生氰糖苷的含量,并与不经微波处理直接压榨亚麻籽得到的亚麻饼生氰糖苷含量作对比,其结果见表4。

表4 亚麻籽微波前后压榨饼生氰糖苷含量的对比
Table 4 Comparison of cyanogenic glycosides content in flaxseed cakes before and after microwave treatment

品种	压榨饼生氰糖苷(mg/kg)	
	未经微波处理	微波处理
伊亚4号	194.79 ± 1.91	3.84 ± 0.21 **
坝亚9号	214.21 ± 2.12	3.51 ± 0.37 **
宁亚17号	312.72 ± 4.58	3.60 ± 0.21 **
陇亚10号	88.08 ± 5.28	3.15 ± 0.10 **
哈尔滨	474.36 ± 4.66	15.40 ± 0.47 **

注：**代表差异极显著(p < 0.01)。

由表4可知,微波处理亚麻籽会大大降低其压榨饼生氰糖苷的含量,经过微波处理后,五个不同品种亚麻籽压榨饼生氰糖苷的含量均得到了极显著的降低。五个品种仅哈尔滨亚麻籽压榨饼中生氰糖苷的含量为(15.40 ± 0.47) mg/kg,其余四个品种的压榨饼生氰糖苷含量均在5 mg/kg以下。这可能是因为

哈尔滨亚麻籽本身含有较高的生氰糖苷,微波脱除到较低水平时,效果变得不太明显,但与未经微波处理的亚麻籽压榨饼相比,生氰糖苷含量显著降低,其余四种亚麻籽经微波处理得到的压榨饼中生氰糖苷的含量均在5 mg/kg以下,满足了粮食中氰化物(低于5 mg/kg)的限量要求^[23]。

3 结论

优化了微波预处理亚麻籽降低其压榨饼中生氰糖苷含量的条件,在单因素基础上,通过正交实验优化得到的最佳微波条件为:功率700 W,时间6 min,亚麻籽的水分含量为17%,在此条件下甘肃亚麻籽压榨饼中的生氰糖苷含量从(241.84 ± 1.92) mg/kg降低至(4.18 ± 0.23) mg/kg。

在最佳微波条件下,甘肃亚麻籽压榨油的酸价显著升高、过氧化值显著降低,黄色值、红色值微弱升高。总酚含量是直接压榨亚麻籽油的1.42倍,脂肪酸组成、菜油甾醇、β-谷甾醇、Δ5-燕麦甾醇、环阿屯醇、2,4-亚甲基环阿屯醇、总甾醇没有显著性变化。

五种含有高、中、低不同生氰糖苷含量的亚麻籽在最佳微波条件下进行压榨,得到的压榨饼与未经微波处理亚麻籽压榨饼相比,生氰糖苷得到了有效的脱除。仅哈尔滨亚麻籽压榨饼中生氰糖苷的含量为(15.40 ± 0.47) mg/kg,其余四个品种亚麻籽的压榨饼生氰糖苷含量均在5 mg/kg以下。

参考文献

[1] Oomah B D, Mazza G, Kenaschuk E O. Cyanogenic compounds in flaxseed[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(8): 1346-1348.

[2] 许晖, 孙兰萍. 亚麻籽脱毒的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2007, 10: 26-28.

[3] 田伟, 杨宏志. 用烘烤法对亚麻籽脱毒的工艺研究[J]. 农产品加工, 2008(5): 73-75.

[4] Moknatjou R, Abbasian S, Moghaddam G, et al. Roasting effect on total cyanide, α-tocopherol and oil characteristics of the brown and yellow types of the flaxseed (Linum usitatissimum L.) [J]. International Journal of Biosciences(IJB), 2015, 6(5): 273-282.

[5] Park E R, Hong J H, Lee D H, et al. Analysis and decrease of cyanogenic glucosides in flaxseed [J]. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition, 2005, 34(6): 875-879.

[6] Wanasundara P, Amarowicz R, Kara M T, et al. Removal of cyanogenic glycosides of flaxseed meal[J]. Food chemistry, 1993, 48(3): 263-266.

[7] 李高阳, 丁霄霖. 亚麻籽双液相多级逆流萃取工艺模拟实验[J]. 农业工程学报, 2010(3): 380-384.

[8] Wu C F, Xu X M, Huang S H, et al. An efficient fermentation method for the degradation of cyanogenic glycosides in flaxseed [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2012, 29(7): 1085-1091.

[9] Yamashita T, Sano T, Hashimoto T, et al. Development of a method to remove cyanogen glycosides from flaxseed meal [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 42

(1):70-75.

[10] Madhusudhan K T, Ramesh H P, Ogawa T, et al. Detoxification of commercial linseed meal for use in broiler rations [J]. Poultry Science, 1986, 65(1):164-171.

[11] 张郁松. 水煮法对亚麻籽脱毒的工艺研究[J]. 食品科技, 2008, 33(1):109-111.

[12] Imran M, Anjum F M, Butt M S, et al. Reduction of cyanogenic compounds in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) meal using thermal treatment [J]. International Journal of Food Properties, 2013, 16(8):1809-1818.

[13] Wu M, Li D, Wang L J, et al. Extrusion detoxification technique on flaxseed by uniform design optimization [J]. Separation and Purification Technology, 2008, 61(1):51-59.

[14] Feng D, Shen Y, Chavez E R. Effectiveness of different processing methods in reducing hydrogen cyanide content of flaxseed [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(8):836-841.

[15] Ivanov D, Kokić B, Brlek T, et al. Effect of microwave heating on content of cyanogenic glycosides in linseed [J]. Ratar. Povrt, 2012, 49:63-68.

[16] 赵清华, 杨宏志, 孙伟洁, 等. 亚麻籽微波脱毒与挤压膨

(上接第126页)

moistened potato starch [J]. Starch/Stärke, 1983, 35(9):407-410.

[6] 吴克刚, 林若慧, 柴向华. 酸碱沉淀法制备脂肪酸-直链淀粉复合物的研究[J]. 农业机械, 2012, 03:79-81.

[7] 朱艳巧, 田耀旗, 徐学明, 等. 超声波协助处理制备淀粉-肉桂醛包合物研究[J]. 食品工业科技, 2012, 02:232-234.

[8] JA Putseys, L Lamberts, JA Delcour. Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties

(上接第133页)

[11] 周天山, 余有本, 李冬花, 等. 微波杀青对绿茶品质的影响[J]. 中国茶叶, 2010(2):20-21.

[12] 靖翠翠, 杨秀芳, 谭蓉, 等. 微波制样对茶叶内质成分的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 4(6):1266-1270.

[13] Shimoda M, Shigematsu H, Shiratsuchi H. Comparison of the odor concentrates by SDE and adsorptive column method from green tea infusion [J]. Agric Food Chem, 1995, 43:1616-1620.

[14] 王道平, 甘秀海, 梁志远, 等. 固相微萃取法与同时蒸馏萃取法提取茶叶香气成分[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1):131-135.

[15] 李立祥, 童美英. 固相方法对茶叶化学成分及品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(4):394-399.

[16] 段红星, 邵宛芳. 红茶加工中物质变化与品质形成的关系[J]. 福建茶叶, 2004(2):13-14.

[17] 王泽农. 茶叶生化原理[M]. 北京: 农业出版社. 1981, 8:254-256.

[18] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007:173-178.

[19] 李大祥, 宛晓春. 论茶叶茶素的化学氧化[J]. 茶叶通报, 2000, 22(3):22-23.

[20] 王坤波, 刘仲华, 黄建安. 茶黄素形成机理的研究进展[J]. 茶叶通讯, 2001(2):34-38.

化脱毒工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2008(5):103-106.

[17] Azadmard-Damirchi S, Habibi-Nodeh F, Hesari J, et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed [J]. Food Chemistry, 2010, 121(4):1211-1215.

[18] Kaur C, Kapoor H C. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2002, 37(2):153-161.

[19] Koski A, Psomiadou E, Tsimidou M, et al. Oxidative stability and minor constituents of virgin olive oil and cold-pressed rapeseed oil [J]. European Food Research and Technology, 2002, 214(4):294-298.

[20] 杨宏志, 孙伟洁, 钟运翠. 四种不同处理方法对于亚麻籽脱毒效果的研究[J]. 食品科学, 2008(9):245-248.

[21] 于洋, 王承明. 微波化学法脱除油菜籽饼粕中硫苷的研究[J]. 中国粮油学报, 2011(3):47-51.

[22] Yang M, Huang F, Liu C, et al. Influence of microwave treatment of rapeseed on minor components content and oxidative stability of oil [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(11):3206-3216.

[23] GB/T 2715-1981, 粮食卫生标准[S].

[J]. Journal of Cereal Science. 2010, 51:238-247.

[9] 熊月琴, 何小维, 张二娟, 等. 脱支重结晶制备慢消化淀粉及其性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(10):42-44.

[10] 谢涛, 张儒. 锥栗直链淀粉-脂肪酸复合物的结构特性[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(5):31-34.

[11] 荣志伟, 李红蕾, 王彦超, 等. 直链淀粉与不同风味分子包合物的制备及其结构表征[J]. 食品科学, 2012, 33(17):15-20.

[21] 吴平. 表没食子儿茶素没食子酸酯的热稳定性研究[D]. 安徽: 安徽农业大学, 2011, 06.

[22] Guo Q, Zhao B L, Shen S R, et al. ESR study on the structure-antioxidant activity relationship of tea catechins and their epimers [J]. Biochim Biophys Acta, 1999, 1427:13-23.

[23] 吕海鹏, 谭俊峰, 郭丽, 等. 绿茶中的 GCG 研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(2):79-82.

[24] 陆松候, 施兆鹏. 茶叶审评与检验[M]. 北京: 中国农业出版社. 2001, 4:36-54.

[25] 赖榕辉, 黄亚辉, 蔡远加. 揉捻工艺对单丛茶品质影响的研究[J]. 茶叶通讯, 2011, 38(4):15-18.

[26] 王秋霜, 陈栋, 吴华玲. 红茶香气研究进展[J]. 广东农业科学, 2011, 18:86-88.

[27] Takeo, T. Production of Linalol and Geraniol by Hydrolytic breakdown of Bound Forms in Disrupted Tea Shoots. Phytochemistry, 1981, 20:2145-2147.

[28] 王泽农. 茶叶生化原理[M]. 北京: 农业出版社. 1981, 8:254-256.

[29] 汪华, 崔志峰. 莽草酸生物合成途径的调控[J]. 生物技术通报, 2009, 03:50-53.

[30] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007:200-213.