

富硒绿茶功能成分的超声波提取技术 及其抗氧化活性研究

王飞飞, 余 芳, 辛志宏, 胡秋辉*
(南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 采用超声波技术提取富硒绿茶功能成分, 通过 $L_9(3^4)$ 正交试验对提取工艺进行优化, 采用 DPPH 法和亚油酸体系法对富硒绿茶功能成分抗氧化活性进行了评价, 并分析了化学组成。结果表明按照工艺: 50% 乙醇为溶剂, 超声波功率 250W, 料液比为 1:15, 提取温度 50℃, 提取时间 1.5h, 重复提取两次, 制得的富硒绿茶功能成分得率为 43.76%, 其抗氧化活性高于其他处理制得的提取物和阳性对照 - 生育酚, 其化学组成为: 硒 $4.35 \pm 0.11 \mu\text{g/g}$, 茶多酚 $(55.84 \pm 2.31)\%$, 多糖 $(13.37 \pm 3.02)\%$, 蛋白 $(25.75 \pm 4.05)\%$, 咖啡碱 $(5.99 \pm 0.01)\%$ 。

关键词: 富硒绿茶; 功能成分; 超声波; 抗氧化

Study on Ultrasound-assisted Extraction and Antioxidant Activity of Se-enriched Green Tea Functional Components

WANG Fei-fei, YU Fang, XIN Zhi-hong, HU Qiu-hui*
(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The ultrasound was used to extract Se-enriched green tea functional components. The extraction parameters were

收稿日期: 2006-10-30

*通讯作者

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671461); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NECT-04-0501);

教育部优秀青年教师资助计划(EYTP-2003-355)

作者简介: 王飞飞(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品营养化学。

饼干生产要求面粉中面筋含量很低, 加之饼干中糖、油含量较多, 水分含量相对低, 更适合添加膳食纤维, 从而使酥性面团具有较大程度的可塑性和有限的粘弹性。从表 5 的得分情况分析, 随着纤维添加量的增加, 饼干产品的口感、风味有增加的趋势, 但过量的添加, 口感有下降的趋势, 入口感差。综合各项指标的分析, 确定添加量为 7%, 枣膳食纤维特有的挥发性物质赋予饼干芳香的枣味, 对比加入苹果膳食纤维的饼干, 口感明显好于后者, 感官评价较好, 消费者易于接受。

4 结 论

膳食纤维作为功能食品的基料, 具有巨大的潜在消费市场, 经济效益不可低估。我国是农业大国, 枣资源非常丰富, 是优良的膳食纤维资源。酶法制备条件为纤维素酶添加量为 0.7%, 温度 35℃, 时间 120min。

可溶性纤维得率提高 28%, 该工艺避免了凝析过程中产生的钙盐, 提高产品得率, 苦涩味很轻, 不可溶性纤维在饼干焙烤中的添加量为 7%, 饼干面团性质得到改良, 保健功能良好。

参考文献:

- [1] 韦晖. 膳食纤维的研究与开发[J]. 纤维素科学与开发, 2001(1): 56-63.
- [2] 郑建仙. 功能性食品[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1995.
- [3] 张烈雄, 黄祥辉. 大豆膳食纤维对成年大鼠腹腔脂肪集聚及血脂和血糖水平的影响[J]. 华东师范大学学报, 1996(3): 23-25.
- [4] 杜寿珍. 膳食纤维与老年糖尿病[J]. 中级医刊, 1996, 31(3): 21-23.
- [5] 鲁湾. 吃, 我们还缺什么[J]. 科学养生, 2005(4): 25-27.
- [6] 刘广运. 大力推进我国红枣产业化[J]. 中国林业, 1999(1): 4-5.
- [7] 张龙翔, 张庭芳, 李令媛. 生化实验方法和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [8] 冯新胜. 低筋面粉配制技术的研究[J]. 西部粮油科技, 2001, 26(5): 6-9.

optimized by $L_9(3^4)$ orthogonal design. And the composition of Se-enriched tea functional components was researched. The antioxidant activity of Se-enriched green tea functional components was assessed by FTC method and DPPH method. The optimized parameters were as follow: 50% (W/V) ethanol as solvent, ultrasonic power of 250W, ratio of solid/liquid of 1:15, extracting for 2 times at 50 °C for 1.5 hours each time. The yield was 43.76%. The antioxidant activity of the extracts under the optimized condition, which contained Selenium $4.35 \pm 0.11 \mu\text{g/g}$, tea polyphenol ($55.84 \pm 2.31\%$), polysaccharide ($13.37 \pm 3.02\%$), protein ($25.75 \pm 4.05\%$), theine ($5.99 \pm 0.01\%$), was stronger than the extracts under other technology parameters and positive control -tocopherol.

Key words: Se-enriched; ultrasonic; functional components; antioxidant

中图分类号: TS272

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)01-0142-06

硒是人体必需的微量元素, 长期以来一直被看作是重要的食物源抗氧化剂, 食物中缺硒会引起一系列疾病, 如癌症、心脏病、关节炎、克山病和免疫系统功能紊乱等^[1]。流行病学调查结果表明适量补硒有益人体健康。近年来的研究发现它还是一些酶活性部位的基本组成部分, 这些酶包括谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)硒酶家族, 具有清除氢过氧化物, 防止细胞损伤的作用^[2]。

国际硒学会推荐日摄入量 $60 \sim 400 \mu\text{g}$, 中国营养学会推荐日摄入量 $50 \sim 200 \mu\text{g}$ 。而据我国的膳食营养调查表明, 成人每日的摄硒量仅 $26 \sim 32 \mu\text{g}$ 。因此, 我国人群硒营养不良是普遍问题。天然食物中的硒含量普遍较低, 仅靠天然食物中的硒含量一般不足以满足人体的正常需要, 考虑到亚硒酸钠之类无机硒的毒性较高, 只能用于医药品而不能用于食品中^[3]。于是, 出现了硒的天然有机化法, 以期获得一种安全有效的补硒方法。富硒茶就是一种安全可靠的生活化补硒资源。

通过生物转化生产的富硒绿茶, 含硒量在 $0.3 \sim 5 \mu\text{g/g}$ 范围内, 每日饮茶 10g , 实际获得的硒为 $3 \sim 50 \mu\text{g/g}$, 饮用富硒绿茶在不会引起硒中毒的前提下, 不仅能补充人体对硒需求, 而且还具有保健功能: 提高机体免疫力; 抗癌、防癌; 防治、预防心脑血管疾病; 延缓衰老; 排毒、解除有毒重金属元素的毒性; 防止辐射损伤、促进机体修复^[4]。

超声波提取技术是利用超声波的机械破碎和空化作用, 加速浸提物从原料向溶剂的扩散速率, 具有提取效率高, 不需高温, 能耗低, 提取时间大大缩短等特点^[5]。

本研究采用超声波技术提取富硒绿茶功能成分, 通过正交试验对提取工艺进行了优化, 确定出最佳的提取工艺, 并对功能成分进行了理化分析; 采用 DPPH 法和亚油酸体系法对其抗氧化活性进行了评价。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

富硒绿茶(硒含量: $4.6 \mu\text{g/g}$)由宜兴市富坤富硒茶业有限公司生产, 经粉碎制得富硒绿茶粉, 粒度为 $60 \sim$

$100 \mu\text{m}$ 。

DPPH 日本东京化成工业株式会社; 亚油酸 - 生育酚、AAPH Sigma 公司; 硫氰酸氨; 氯化亚铁; 乙酸、乙腈为色谱纯, 其他试剂均为分析纯。

数控超声波清洗器(KQ-250DB) 昆山市超声仪器有限公司; 高效液相色谱仪(Waters600) 美国 Waters 公司; 原子荧光光谱仪(AF-610A) 北京瑞利分析仪器有限公司; 冷冻干燥机 Labconcn 公司。

1.2 富硒绿茶功能成分的制备

为系统考虑超声波提取的工艺参数, 根据已有的资料及实际情况, 试验中首先选用溶剂浓度、料液比、提取温度、提取时间、超声波功率、提取次数进行单因素试验。

1.2.1 不同溶剂对富硒绿茶功能成分得率的影响

考察不同溶剂: 水、50% 乙醇、70% 乙醇、95% 乙醇, 对富硒绿茶功能成分得率的影响。精确称取 10g 富硒茶粉, 采用条件为提取温度 60°C , 超声波功率 150W , 料液比 $1:10$, 提取时间 0.5h , 提取 1 次, 提取后离心弃去残渣, 提取液减压真空浓缩至一定体积, 经冷冻干燥后以差重法计算得率, 做三次平行试验, 取平均值为结果。

1.2.2 不同料液比对富硒绿茶功能成分得率的影响

根据 1.2.1 的结果, 考察不同料液比: $1:5$ 、 $1:10$ 、 $1:15$ 、 $1:20$, 对富硒绿茶功能成分得率的影响。采用条件为提取温度 60°C , 超声波功率 150W , 溶剂为 50% 乙醇, 提取时间 0.5h , 提取 1 次, 其他操作同 1.2.1。

1.2.3 不同提取温度对富硒绿茶功能成分得率的影响

根据 1.2.2 的结果, 考察不同提取温度: 40°C 、 50°C 、 60°C 、 78°C (仪器最高允许工作温度), 对富硒绿茶功能成分得率的影响。采用条件为料液比 $1:20$, 超声波功率 150W , 溶剂为 50% 乙醇, 提取时间 0.5h , 提取 1 次, 其他操作同 1.2.1。

1.2.4 不同提取时间对富硒绿茶功能成分得率的影响

根据 1.2.3 的结果, 考察不同提取时间: 0.5 、 1 、 1.5 、 2h , 对富硒绿茶功能成分得率的影响。采用条件

为料液比 1:20, 提取温度 50℃, 超声波功率 150W, 溶剂为 50% 乙醇, 提取 1 次, 其他操作同 1.2.1。

1.2.5 不同超声波功率对富硒绿茶功能成分得率的影响

根据 1.2.4 的结果, 考察不同超声波功率: 0、150、200、250W (仪器最高允许工作功率), 对富硒绿茶功能成分得率的影响。采用条件为料液比 1:20, 提取温度 50℃, 提取时间 2h, 溶剂为 50% 乙醇, 提取 1 次, 其他操作同 1.2.1。

1.2.6 不同提取次数对富硒绿茶功能成分得率的影响

根据 1.2.5 的结果, 考察不同提取次数: 1、2、3 次, 对富硒绿茶功能成分得率的影响。采用条件为料液比 1:20, 提取温度 50℃, 提取时间 2h, 溶剂为 50% 乙醇, 超声波功率 250W。以相同体积溶剂, 相同条件对第一次提取离心后的残渣进行第二次提取, 离心后合并两次上清液完成二次提取; 以相同体积溶剂, 相同条件对第二次提取离心后的残渣进行第三次提取, 合并三次上清液完成三次提取。

1.2.7 富硒绿茶功能成分提取的正交试验设计

综合以上单因素试验结果, 将超声波功率定为仪器最大功率 250W, 提取次数为 2 次, 选取溶剂、料液比、温度、时间四个因素进行正交试验设计, 见表 1。

表 1 富硒绿茶功能成分提取正交试验表 $L_9(3^4)$
Table 1 The extraction orthogonal test of Se-enriched tea functional components $L_9(3^4)$

| 水平 | 因素 | | | |
|----|-------|----------|-------|-------|
| | 浓度(%) | 料液比(W/V) | 温度(℃) | 时间(h) |
| 1 | 50 | 1:10 | 40 | 1 |
| 2 | 70 | 1:15 | 50 | 1.5 |
| 3 | 95 | 1:20 | 60 | 2 |

1.3 富硒茶功能成分抗氧化活性评价

1.3.1 亚油酸体系法

取 1ml 浓度为 200mg/L 的富硒茶功能成分提取物乙醇溶液, 于 10ml 的具塞试管中, 加入 2ml 2.51% 的亚油酸无水乙醇溶液, 4ml 0.05mol/L pH7.0 的磷酸盐缓冲液, 2ml 蒸馏水, 1ml 无水乙醇, 0.417ml 0.1mol/L AAPH 水溶液震荡混匀, 密闭后放在 37℃ 恒温培养箱中避光反应。以无水乙醇取代样液为空白, 以同浓度的 BHT 和 -生育酚为阳性对照, 其余处理同上。取 0.1ml 这种混合溶液, 加入 9.7ml 75% 的乙醇和 0.1ml 30% 的硫氰酸铵, 在加入 0.1ml 0.02mol/L 溶解于 3.5% 的盐酸中的氯化亚铁, 混匀。准确反应 5min 后, 在 500nm 测定吸光度。按照以上方法分别测定个样品反应体系 0、50、100、200min 的 A_{500} [6]。

1.3.2 DPPH 法

取浓度为 10mg/L 的富硒茶功能成分提取物乙醇溶液

2ml 及 2ml 2×10^{-4} mol/L DPPH 溶液加入具塞试管中, 摇匀。以无水乙醇作参比立即在 517nm 比色, 测定其吸光度 A_i , 同时测定 2ml 无水乙醇与 2ml DPPH 溶液混合液的吸光度 A_c , 2ml 提取液与 2ml 无水乙醇的吸光度 A_j 。测定初期每隔 5min 测定一次, 15min 后, 每隔 15min 测定一次直至吸光度的变化 1%。以同浓度的 BHT 和 -生育酚为阳性对照, 其余处理同上。

抑制率计算公式为: 抑制率(%) = $[1 - (A_i - A_j) / A_c] \times 100$ [7]。

DPPH 的浓度计算公式: $A_{517nm} = 2935.68Ct - 2.18 \times 10^{-3}$, Ct 的单位为 mol/L。

1.4 功能成分理化分析

茶多酚含量用酒石酸铁比色法 [8] 测定; 多糖含量用苯酚 - 硫酸法 [9] 测定; 蛋白质含量用考马斯亮蓝法 [10] 测定; 咖啡碱含量采用 HPLC 测定 [11]; 硒含量采用原子荧光光谱法 [12] 测定。

1.5 统计分析

所有实验数据采用软件 SAS(version 8.0) 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 溶剂对得率的影响

表 2 溶剂对功能成分得率的影响
Table 2 The influence of solvent on yield

| 溶剂 | 水 | 50% 乙醇 | 70% 乙醇 | 95% 乙醇 |
|-------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 得率(%) | 12.62 ± 3.21 ^{a*} | 25.53 ± 0.33 ^c | 23.68 ± 1.00 ^{bc} | 19.07 ± 3.09 ^b |

注: * 数值后上标不同字母代表 ($p < 0.05$) 显著差异。

由表 2 结果可以看出: 随着溶剂乙醇浓度的增加, 功能成分得率首先呈现上升趋势, 在乙醇浓度为 50% 时达到最大值, 随后反而得率下降。其原因可能是富硒绿茶功能成分中含有强极性成分与弱极性成分两大类物质, 50% 乙醇溶液极性介于二者中间, 可以将强极性成分与弱极性成分两大类物质较好的溶解。

2.1.2 料液比对得率的影响

表 3 料液比对功能成分得率的影响
Table 3 The influence of ratio of solid/liquid on yield

| 料液比(W/V) | 1:5 | 1:10 | 1:15 | 1:20 |
|----------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 得率(%) | 18.37 ± 1.81 ^{a*} | 26.74 ± 1.70 ^b | 31.2 ± 1.34 ^c | 31.45 ± 1.18 ^c |

注: * 数值后上标不同字母代表 ($p < 0.05$) 显著差异。

由表 3 结果可以看出: 随着料液比的增加, 功能成分得率在不断增加, 但在料液比为 1:15 以后, 增加趋势不显著。

2.1.3 提取温度对得率的影响

表4 提取温度对功能成分得率的影响

Table 4 The influence of extraction temperature on yield

| 温度() | 40 | 50 | 60 | 78 |
|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 得率(%) | 30.63±0.32 ^{a*} | 31.74±0.64 ^a | 30.45±0.74 ^a | 28.52±0.89 ^b |

注：* 数值上标不同字母代表(p < 0.05)显著差异。

由表4结果可以看出：随着提取温度的升高，功能成分得率首先呈现上升趋势，在温度为50℃时达到最大值，随后反而得率下降。其原因可能是富硒绿茶功能成分在温度较高时结构被破坏，发生变性而沉淀，从而得率降低。

2.1.4 提取时间对得率的影响

表5 提取时间对功能成分得率的影响

Table 5 The influence of extraction time on yield

| 时间(h) | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 |
|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 得率(%) | 31.07±0.14 ^{a*} | 31.12±0.18 ^a | 32.37±0.25 ^b | 32.82±0.52 ^b |

注：* 数值上标不同字母代表(p < 0.05)显著差异。

由表5结果可以看出：随着提取时间的增加，功能成分得率在不断增加，但在1.5h后，增加趋势不显著。

2.1.5 超声波功率对得率的影响

表6 超声波功率对功能成分得率的影响

Table 6 The influence of ultrasonic power on yield

| 功率(W) | 0 | 150 | 200 | 250 |
|-------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 得率(%) | 28.09±0.31 ^{a*} | 31.58±0.42 ^b | 32.07±0.17 ^{ab} | 32.90±0.46 ^a |

注：* 数值上标不同字母代表(p < 0.05)显著差异。

由表6结果可以看出：随着超声波功率的增加，功能成分得率在不断增加，但在250W时得率达到最大值。

2.1.6 提取次数对得率的影响

表7 提取次数对功能成分得率的影响

Table 7 The influence of extraction times on yield

| 次数 | 1 | 2 | 3 |
|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 得率(%) | 32.82±2.86 ^{a*} | 38.86±1.43 ^b | 40.76±0.92 ^b |

注：* 数值上标不同字母代表(p < 0.05)显著差异。

由表7结果可以看出：随着提取次数的增加，功能成分得率在不断增加，但在提取2次以后，增加的趋势不显著。

2.2 正交试验结果

综合表8、9结果可以看出，处理1的富硒绿茶功能成分得率最高，提取条件为：溶剂为50%乙醇、料液比1:20、温度60℃、时间2h，提取两次，超声波功率250W；溶剂、料液比两因素对得率的影响显著，温度和时间两因素对得率的影响不显著。

2.3 抗氧化活性评价结果

2.3.1 富硒绿茶功能成分抗氧化活性(亚油酸法)

表8 富硒绿茶功能成分提取正交试验结果

Table 8 The result of L₉(3⁴) orthogonal test of

Se-enriched green tea functional components extraction

| 处理 | 乙醇浓度(%) | 料液比(W/V) | 温度() | 时间(h) | 得率(%) |
|----|---------|----------|-------|-------|-------|
| 1 | 50 | 1:10 | 40 | 1 | 41.49 |
| 2 | 50 | 1:15 | 50 | 1.5 | 43.76 |
| 3 | 50 | 1:20 | 60 | 2 | 45.44 |
| 4 | 70 | 1:10 | 50 | 2 | 43.33 |
| 5 | 70 | 1:15 | 60 | 1 | 42.81 |
| 6 | 70 | 1:20 | 40 | 1.5 | 44.26 |
| 7 | 95 | 1:10 | 60 | 1.5 | 23.26 |
| 8 | 95 | 1:15 | 40 | 2 | 27.14 |
| 9 | 95 | 1:20 | 50 | 1 | 26.03 |
| | 43.56 | 36.03 | 37.63 | 36.78 | |
| | 43.47 | 37.9 | 37.71 | 37.09 | |
| | 25.48 | 38.58 | 37.17 | 38.64 | |
| R | 18.09 | 2.55 | 0.54 | 1.84 | |

表9 正交试验结果方差分析

Table 9 Analysis of variance of extraction orthogonal test result

| 因素 | 偏差平方和 | 自由度 | F比 | F临界值 | 显著性 |
|----------|---------|-----|----------|--------|-----|
| 浓度(%) | 650.777 | 2 | 1288.667 | 19.000 | * |
| 料液比(W/V) | 10.478 | 2 | 20.749 | 19.000 | * |
| 温度() | 0.505 | 2 | 1.000 | 19.000 | |
| 时间(h) | 5.942 | 2 | 11.766 | 19.000 | |
| 误差 | 0.51 | 2 | | | |

注：* 表示(p < 0.05)显著差异。

表10表明，在样品和阳性对照浓度均为200mg/L，50min时各处理之间及各处理与-生育酚之间的抗氧化活性差异不显著；100min时处理2与-生育酚之间的抗氧化活性无显著差异，但显著高于其他处理；200min时处理2的抗氧化活性显著高于其他处理和-生育酚。

2.3.2 富硒绿茶功能成分抗氧化活性(DPPH法)

表11表明，在样品和阳性对照浓度均为10mg/L，16、30min时处理2的DPPH自由基清除率均显著高于其他处理和-生育酚。

综合表10、11可以得出：在两种评价方法的结果中，按照处理2制得的富硒绿茶功能成分，其抗氧化活性高于其他处理及阳性对照-生育酚，综合以上所得结果，充分考虑得率和抗氧化活性两因素，选用处理2的提取条件：溶剂为50%乙醇，超声波提取功率为250W，料液比为1:15，提取温度为50℃，提取时间1.5h，重复提取两次作为最优工艺参数，并按照此工艺制备富硒茶功能成分。

2.4 富硒茶功能成分提取理化分析结果

对按照最优工艺参数制得富硒茶功能成分进行组分分析。表12表明，富硒绿茶功能成分中硒含量为4.35±0.11μg/g，组分中含量从高到低依次为：茶多酚>蛋白>多糖>咖啡碱。硒能够促进植物的生长并在植物体内与蛋白结合形成硒蛋白^[13-14]，因此可以推测在富硒

表 10 富硒绿茶功能成分抗氧化活性(亚油酸法)

Table 10 The antioxidant activity of Se-enriched green tea functional components assessed by FTC method

| 处理 | A_{500} | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 0min | 50min | 100min | 200min |
| 1: 50%乙醇, 1: 10(W/V), 40, 1h | 0 | 0.034 ± 0.005 ^{ab*} | 0.040 ± 0.002 ^a | 0.067 ± 0.002 ^a |
| 2: 50%乙醇, 1: 15(W/V), 50, 1.5h | 0 | 0.024 ± 0.002 ^{bc} | 0.028 ± 0.005 ^b | 0.054 ± 0.006 ^b |
| 3: 50%乙醇, 1: 20(W/V), 60, 2h | 0 | 0.028 ± 0.004 ^{ab} | 0.057 ± 0.011 ^{def} | 0.080 ± 0.008 ^{cd} |
| 4: 70%乙醇, 1: 10(W/V), 50, 2h | 0 | 0.029 ± 0.004 ^{ab} | 0.042 ± 0.007 ^{acd} | 0.083 ± 0.003 ^c |
| 5: 70%乙醇, 1: 15(W/V), 60, 1h | 0 | 0.036 ± 0.012 ^a | 0.041 ± 0.006 ^{ac} | 0.075 ± 0.004 ^{acd} |
| 6: 70%乙醇, 1: 20(W/V), 40, 1.5h | 0 | 0.031 ± 0.006 ^{ab} | 0.051 ± 0.005 ^{cde} | 0.068 ± 0.005 ^a |
| 7: 95%乙醇, 1: 10(W/V), 60, 1.5h | 0 | 0.026 ± 0.005 ^{abc} | 0.066 ± 0.014 ^f | 0.083 ± 0.004 ^c |
| 8: 95%乙醇, 1: 15(W/V), 40, 2h | 0 | 0.016 ± 0.007 ^c | 0.062 ± 0.007 ^{ef} | 0.082 ± 0.005 ^c |
| 9: 95%乙醇, 1: 20(W/V), 50, 1h | 0 | 0.028 ± 0.006 ^{ab} | 0.059 ± 0.007 ^{ef} | 0.073 ± 0.006 ^{acd} |
| 空白对照 | 0 | 0.052 ± 0.005 ^d | 0.078 ± 0.006 ^g | 0.127 ± 0.009 ^e |
| -生育酚 | 0 | 0.027 ± 0.006 ^{abc} | 0.036 ± 0.006 ^{ab} | 0.071 ± 0.016 ^{ad} |

注: * 同一列数值上标不同字母代表(p < 0.05)显著差异。

表 11 富硒绿茶功能成分 DPPH 自由基清除率

Table 11 The capacity of scavenging DPPH free radical by Se-enriched green tea functional components

| 处理 | 清除率(%) | |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 16min | 30min |
| 1: 50%乙醇, 1: 10(W: V), 40, 1h | 34.31 ± 0.25 ^{a*} | 37.19 ± 1.61 ^{ad} |
| 2: 50%乙醇, 1: 15(W: V), 50, 1.5h | 47.72 ± 0.42 ^b | 52.93 ± 1.19 ^b |
| 3: 50%乙醇, 1: 20(W: V), 60, 2h | 34.43 ± 0.42 ^a | 38.38 ± 0.93 ^{acd} |
| 4: 70%乙醇, 1: 10(W: V), 50, 2h | 30.30 ± 0.34 ^c | 34.67 ± 0.93 ^d |
| 5: 70%乙醇, 1: 15(W: V), 60, 1h | 41.50 ± 0.59 ^d | 44.67 ± 2.88 ^e |
| 6: 70%乙醇, 1: 20(W: V), 40, 1.5h | 36.05 ± 0.51 ^e | 39.70 ± 1.95 ^{acf} |
| 7: 95%乙醇, 1: 10(W: V), 60, 1.5h | 34.91 ± 0.25 ^a | 37.72 ± 2.20 ^{acd} |
| 8: 95%乙醇, 1: 15(W: V), 40, 2h | 37.18 ± 0.63 ^f | 41.20 ± 1.86 ^{cef} |
| 9: 95%乙醇, 1: 20(W: V), 50, 1h | 39.22 ± 0.59 ^g | 43.47 ± 1.02 ^{ef} |
| 空白 | 0 | 0 |
| -生育酚 | 34.07 ± 0.25 ^a | 39.34 ± 0.59 ^{ac} |

注: * 同一列数值上标不同字母代表(p < 0.05)显著差异。

表 12 富硒绿茶功能成分组成分析结果

Table 12 The composition of Se-enriched green tea functional components

| 组分 | 含量 |
|-----|-----------------|
| 硒 | 4.35 ± 0.11μg/g |
| 茶多酚 | (55.84 ± 2.31)% |
| 蛋白 | (25.75 ± 4.05)% |
| 多糖 | (13.37 ± 3.02)% |
| 咖啡碱 | (5.99% ± 0.01)% |

绿茶功能成分中, 硒是以硒蛋白的形式存在。

3 讨论

在绿茶功能成分中, 有关茶多酚的抗氧化活性研究报道表明, 茶多酚能够直接清除无机自由基和脂质自由基, 并且能够激活人及动物体内抗氧化酶系从而表现其抗氧化活性。茶多酚能够抑制大豆油、花生油、棕榈油及猪油和鱼油多种油脂氧化, 提高其稳定性。Vignes M, Maurice T 等人报道^[15~17]通过实验发现茶多酚可增强小鼠尤其是荷瘤小鼠体内血清 SOD, GSH-Px 活性, 对

荷瘤小鼠 MDA 含量的增加有显著性的改善, 明显提高 GSH-Px/MDA 比值, 提示茶多酚可通过增强体内抗氧化酶的活性、抑制脂质过氧化反应。

硒作为人体必需的微量元素, 和体内多种抗氧化酶的重要组成部分, 其抗氧化活性已为人们所公认^[18~19]。因此, 可以推测富硒绿茶功能成分表现出的抗氧化活性主要源自其中茶多酚并与硒组分有密切的关系。

本研究通过超声波提取富硒绿茶功能成分, 采用正交试验设计对工艺进行了优化; 评价了富硒绿茶功能成分的抗氧化活性, 为富硒绿茶功能成分相关产品的进一步开发奠定了基础。

参考文献:

- [1] 蔡东联, 耿珊珊. 硒的生理功用与疾病防治[J]. 微量元素与健康研究, 2006(2): 58-61.
- [2] 王海宏, 谢忠枕. 硒的生物学功能及其机理研究[J]. 动物营养学报, 2003(3): 6-11.
- [3] 王成, 田新玲. 微量元素硒与人体健康[J]. 中国食物与营养, 2006(5): 53-54.
- [4] 毕彩虹, 杨坚. 茶多酚的保健作用研究进展[J]. 西南园艺, 2006(2): 37-39.
- [5] 严伟, 李淑芬, 田松江. 超声波协助提取技术[J]. 化工进展, 2002(9): 649-651.
- [6] NAGAI A T, SAKAI A M, INOUE C R, et al. Antioxidative activities of some commercial honeys, royal jelly, and propolis[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 237-240.
- [7] Yen G D P D. Scavenging effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active-oxygen species[J]. J Agric Food Chem, 1994, 42: 629-632.
- [8] GB/T 8313-2002 茶-茶多酚测定[S].
- [9] 陈建国, 胡欣, 梅松. 茶叶中茶多糖的提取和测定方法[J]. 中国卫生检验杂志, 2004(4): 432-433.
- [10] 李娟, 张耀庭, 曾伟, 等. 应用考马斯亮蓝法测定总蛋白含量[J]. 中国生物制品学杂志, 2000(2): 118-120.
- [11] GB/T 19182-2003 咖啡咖啡因含量的测定高效液相色谱法[S].
- [12] GB12399-90 食物中硒的测定方法[S].
- [13] 王玉科, 苏耀东, 虞雷, 等. 硒化合物的形态分析进展[J]. 理化检验: 化学分册, 2000(12): 568-572.
- [14] 吴少尉. 硒的形态分析进展[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2003

海藻酸钠凝胶包埋乳酸乳球菌沉淀 绿豆淀粉的研究

汪龙飞, 沈 群*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院 北京 100083)

摘 要: 将乳酸乳球菌固定于海藻酸钠凝胶中沉淀绿豆淀粉, 通过实验确定了所用凝胶的最佳浓度、被包埋细胞的最初浓度, 结果表明浓度为 4%(W/V) 的海藻酸钠, 起始包埋细胞为 10^8 (CFU/ml) 时, 淀粉得量最大。并且海藻酸钠凝胶可以连续使用 10d。同时实验发现凝胶泄露的菌数并不是淀粉沉淀的唯一因素, 细胞包埋后产生的其它一些次级代谢物质对淀粉的沉降也有重要的作用。

关键词: 海藻酸钠; 乳酸乳球菌; 包埋; 沉淀淀粉

Study on *Lactococcus* Entrapped in Alginate to Process Mung Bean Starch

WANG Long-fei, SHEN Qun*

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The *Lactococcus* were entrapped in the Ca-alginate gel to be used to process mung bean starch. As a result, when the concentration of alginate is 4% (W/V), and the original population of cells is 10^8 (CFU/ml), the yield of starch could be up to maximum. The life of Ca-alginate gels is 10 days. Not only the *Lactococcus* but also the second metabolism production of the entrapped cells in alginate play an important role in sedimentation mung bean starch.

Key words: alginate; *Lactococcus Lactis* subsp; entrapment; sedimentation starch

中图分类号: TS235.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)01-0147-04

海藻酸钠是一种亲水性的凝胶, 在钙盐的作用下凝胶中的钠离子被置换形成钙桥, 在钙桥的连接下海藻酸钠形成颗粒状的胶体。由于海藻酸钠凝胶成型的过程简单, 条件温和, 对微生物细胞没有大的影响^[1]。所以海藻酸钠通常用于微生物细胞的包埋。另一方面海藻酸钠是从天然的藻类植物中提取的, 对包埋的细胞没有毒性。这更有利于其在食品和药品上的应用^[2]。传统的酸浆法生产绿豆淀粉是将生

豆浆和酸浆充分混合后沉淀得到绿豆淀粉, 酸浆中的乳酸乳球菌在淀粉沉淀中起到加速淀粉沉淀的作用, 而乳酸乳球菌产生的酶和一些细胞壁上糖蛋白或胞外凝集素对豆浆中的淀粉有絮凝的作用^[3]。由于酸浆的不稳定性和沉淀淀粉后产生的浆液对环境的污染, 因此通过固定化乳酸乳球菌代替酸浆沉淀绿豆淀粉, 可减少废水的产生。即将乳酸乳球菌包埋于海藻酸钠凝胶中代替酸浆沉淀绿豆淀粉。

收稿日期: 2005-11-30

*通讯作者

作者简介: 汪龙飞(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮食科学。

(3): 46-51.

- [15] FARHOOSH R, GOLMOVAHHED GA, KHODAPARAST M H H. Antioxidant activity of various extracts of old tea leaves and black tea wastes (*Camellia sinensis* L.). [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 231-236.
- [16] VIGNES M, MAURICE T, et al. Anxiolytic properties of green tea polyphenol (-)-epigallocatechin gallate (EGCG) [J]. Brain Research, 2006, 1110(1): 102-115.
- [17] HENNING S M, NIU Y, LIU Y, et al. Bioavailability and antioxidant

effect of epigallocatechin gallate administered in purified form versus as green tea extract in healthy individuals [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2005, 16(10): 610-616.

- [18] HUANG Z, GUO B J, WONG R N S, et al. Characterization and antioxidant activity of selenium-containing phycocyanin isolated from *Spirulina platensis* [J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 1137-1143.
- [19] BO S, LEZO A, MENATO G, et al. Gestational hyperglycemia, zinc, selenium, and antioxidant vitamins [J]. Nutrition, 2005, 21(2): 186-191.