

## 麦芽炒制过程中炒制温度和时间对糖类成分的影响

吴璐, 吴维刚, 谭丽霞, 闻丽珍, 江亭, 王希霖, 杨华生\*

江西中医药大学, 江西 南昌 330004

**摘要:**目的 建立麦芽中 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、蔗糖、*D*-麦芽糖 4 种糖类成分高效液相色谱-蒸发光散射 (HPLC-ELSD) 检测方法, 探索麦芽炒制过程中还原糖和非还原糖的动态变化规律, 为阐明麦芽消食作用机制提供科学依据。方法 收集不同炒制温度、不同炒制时间的麦芽, 采用 HPLC-ELSD 方法测定生麦芽、炒麦芽样品中 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、蔗糖、*D*-麦芽糖 4 种糖类成分的量, 采用聚类分析 (HCA) 法、偏最小二乘判别分析 (PLS-DA) 法分析炒制过程中各成分的动态变化规律。结果 麦芽中 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、*D*-麦芽糖 3 种还原糖的量随温度增加整体表现为下降趋势, 而非还原糖蔗糖表现为先升高后降低的趋势; HCA 可将不同温度下炒制的麦芽分为 3 类, PLS-DA 表明炒制温度主要影响蔗糖的量, 而对还原糖 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、*D*-麦芽糖影响较小且程度相当; 随着炒制时间的延长, 4 种糖的量均呈降低趋势, 16 min 后基本不再变化。HCA 可将不同炒制时间的麦芽分为 4 类; 标准化  $A_{420}$  值随炒制时间的增加而增加, 在 16 min 基本达到峰值。结论 麦芽在炒制过程中还原糖、非还原糖与氨基酸等成分直接或间接发生美拉德 (Maillard) 反应而导致其量的下降, 其产物可能与麦芽消食作用有关。

**关键词:** 麦芽; 炒制; 糖类成分; 高效液相色谱-蒸发光散射; *D*-果糖; *D*-葡萄糖; 蔗糖; *D*-麦芽糖; 聚类分析; 偏最小二乘判别分析; 还原糖; 消食作用

中图分类号: R283.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2017)07-1334-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.07.012

## Effect of temperature and time on change of carbohydrates in *Hordei Germinatus Fructus* with frying process

WU Lu, WU Wei-gang, TAN Li-xia, WEN Li-zhen, JIANG Ting, WANG Xi-lin, YANG Hua-sheng

Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

**Abstract: Objective** To establish a method for the determination of *D*-fructose, *D*-glucose, sucrose, *D*-maltose, and other four main carbohydrates in *Hordei Germinatus Fructus* (HGF) by HPLC-ELSD, as well as explore the dynamic changes of reducing sugar and non-reducing sugars in stir-frying process of HGF and provide scientific basis for clarifying the mechanism of digestion effect of HGF.

**Methods** HGF samples were prepared with different stir-frying temperature and time. The contents of fructose, glucose, sucrose, maltose, and other four main carbohydrates were determined by HPLC-ELSD method. HCA and PLS-DA were used to analyze the changes of four main carbohydrates in the stir-frying process. **Results** The contents of fructose, glucose, maltose, and other three kinds of reducing sugar showed a downward trend on the whole with temperature increasing. And non-reducing sugar such as sucrose increased firstly and then decreased. HGF under different temperature was divided into three categories by HCA. PLS-DA showed that the stir-frying temperature had main effect on the content of sucrose, and the effect of reducing sugar such as fructose, glucose, and maltose was relatively small. With the extension of stir-frying time, the contents of four carbohydrates decreased and reached steady-state at 16 min. HGF with different stir-frying time was divided into four categories by HCA. Standardized  $A_{420}$  value increased with the frying time increasing, and reached the peak at 16 min. **Conclusion** The contents of reducing sugar, non-reducing sugar, and amino acids decreased in HGF, which is caused by Maillard reaction directly or indirectly in stir-frying process. The products of

收稿日期: 2016-11-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (81560659); 江西省卫计委中医药科研课题 (2016A014); 江西中医药大学大学生 SRT 计划项目 (2016SRT-01)

作者简介: 吴璐 (1981—), 女, 湖南长沙人, 讲师, 研究方向为中药新剂型、中药传统理论。

Tel: (0791)87118645 E-mail: 1033147985@qq.com

\*通信作者 杨华生 (1974—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为中药新剂型、中药传统理论。

Tel: (0791)87118645 E-mail: yanghuasheng456@126.com

Maillard reaction may be associated with digestion effect of HGF.

**Key words:** *Hordei Germinatus Fructus*; frying process; carbohydrate; HPLC-ELSD; *D*-fructose; *D*-glucose; sucrose; *D*-maltose; HCA; PLS-DA; reducing sugar; digestion effect

麦芽 *Hordei Fructus Germinatus* 是禾本科 (Gramineae) 大麦属 *Hordeum* Linn. 植物大麦 *Hordeum vulgare* L. 的成熟果实经发芽干燥而成<sup>[1]</sup>, 为临床上常用的一味消食药。麦芽常用的炮制方法为炒制, 炒麦芽较生麦芽的消食、行气作用更强<sup>[2]</sup>。因此, 炒制“火候”会显著影响麦芽的质量与药效, 而“火候”的把握与评价指标的选择密切相关。在已报道的麦芽炒制工艺研究中, 黄酮类、消化酶类是常选择的指标成分<sup>[3-4]</sup>, 研究结果表明, 炒制后麦芽中黄酮类成分的量升高<sup>[5]</sup>, 这在一定程度上解释了麦芽炒制后消食作用增强的作用机制, 但黄酮类成分与麦芽的消食作用之间是否存在必然联系, 仍值得商榷; 但另一方面, 炒制后麦芽中的淀粉酶、蛋白酶的活性必然下降, 这显然与炒麦芽消食作用增强矛盾<sup>[6]</sup>。因此, 本研究建立高效液相色谱-蒸发光散射 (HPLC-ELSD) 方法, 测定麦芽炒制过程中 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、*D*-麦芽糖等还原糖以及非还原糖蔗糖等传统意义上的“无效成分”的量, 采用聚类分析 (hierarchical cluster analysis, HCA) 法<sup>[7-9]</sup>、偏最小二乘判别分析 (partial least squares-discriminate analysis, PLS-DA) 法<sup>[10-11]</sup>研究 4 种糖类成分在麦芽炒制过程中变化规律, 从“糖”的角度研究麦芽的炒制工艺, 阐释消食作用机制, 为麦芽炒制工艺的研究提供新的方法与视角。

## 1 仪器与材料

Agilent 1260 型高效液相色谱仪, G1311A 四元泵, G1316A 柱温箱, 美国 Agilent 公司; ELSD 6000 检测器, 美国 Alltech 公司; BS110S 型电子天平, 北京赛多利斯仪器系统有限公司; DSH-50-1 型水分测定仪, 上海越平科学仪器有限公司; AR350+ 型非接触式红外测温仪, 东莞万创电子制品有限公司; 超纯水器, 南京易普易达科技发展有限公司。对照品 *D*-葡萄糖 (批号 A1629013, 质量分数 > 99.5%)、*D*-麦芽糖 (批号 C1601214, 质量分数 > 97.0%)、蔗糖 (批号 D1527058, 质量分数 > 99.5%)、*D*-果糖 (批号 K1518115, 质量分数 > 99.0%) 均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 乙腈为色谱纯, 水为超纯水, 其他试剂为分析纯。

生麦芽 (批号 160417、150901, 产地安徽) 购自亳州市佰世信中药饮片有限公司, 经江西中医药

大学付小梅副教授鉴定为禾本科植物大麦 *Hordeum vulgare* L. 的成熟果实, 经发芽干燥而得。

## 2 方法与结果

### 2.1 HPLC-ELSD 定量测定方法的建立

**2.1.1 色谱条件**<sup>[12-13]</sup> 色谱柱为 Kromasil 100-5 C<sub>18</sub> (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) 柱, 流动相为水-乙腈 (27 : 73), 体积流量为 1.0 mL/min, 柱温为 30 °C, 漂移管温度为 90 °C, 空气体积流量为 3.2 L/min。结果显示, 空白溶液对样品溶液图谱无干扰, 方法专属性良好 (图 1)。

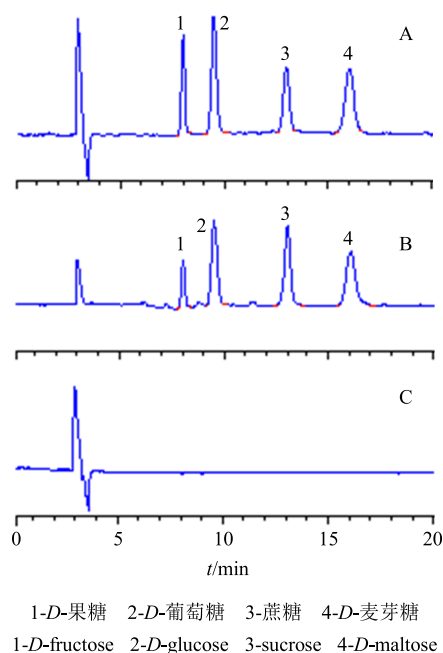


图 1 对照品 (A)、样品 (B)、空白对照 (C) 的 HPLC 图  
Fig. 1 HPLC of control sample (A), sample (B), and blank sample (C)

**2.1.2 对照品溶液的制备** 精密称取 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、蔗糖、*D*-麦芽糖对照品适量, 分别置于 25 mL 量瓶中, 用 20% 甲醇溶解后定容至刻度, 制成质量浓度分别为 9.196、11.264、9.292、10.360 mg/mL 的对照品储备液; 分别精密吸取 *D*-果糖和蔗糖对照品储备液 1 mL、*D*-葡萄糖和 *D*-麦芽糖对照品储备液 2 mL, 置于同一 10 mL 量瓶中, 加 20% 甲醇定至刻度, 得 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、蔗糖和 *D*-麦芽糖质量浓度分别为 919.6、2 252.8、929.2、2 072.0 μg/mL 的混合对照品溶液。

**2.1.3 供试品溶液的制备** 精密称取麦芽粗粉 2.0

g, 置于 100 mL 具塞锥形瓶中, 精密加入蒸馏水 30 mL, 超声提取 30 min (500 W, 80 kHz), 然后加入 20% 乙酸锌溶液 2.0 mL, 再加入 10% 亚铁氰化钾溶液 2.0 mL, 振摇 1 min 后滤过, 滤液加蒸馏水定至 50 mL, 静置片刻, 上清液用 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜滤过, 即得供试品溶液。

**2.1.4 线性关系考察** 分别精密吸取“2.1.2”项下的混合对照品溶液 0.04、0.2、0.4、0.6、0.8、1.2、1.6 mL, 用 20% 甲醇定容至 2 mL, 即得系列对照品溶液, 吸取 10  $\mu\text{L}$ , 测定, 记录峰面积。以峰面积的对数为纵坐标 ( $Y$ ), 进样量的对数为横坐标 ( $X$ ), 进行线性回归。结果表明,  $D$ -果糖、 $D$ -葡萄糖、蔗糖、 $D$ -麦芽糖的线性关系良好, 标准曲线方程分别为  $Y=1.083\ 4\ X+6.271$  ( $r=0.999\ 3$ ),  $Y=1.045\ 8\ X+6.156\ 7$  ( $r=0.999\ 4$ ),  $Y=1.018\ 8\ X+6.325\ 1$  ( $r=0.999\ 2$ ),  $Y=1.084\ 3\ X+6.043$  ( $r=0.998\ 9$ ), 线性范围分别为 0.184~7.357、0.451~18.022、0.186~7.434、0.414~17.446  $\mu\text{g}$ 。

**2.1.5 精密度考察** 取混合对照品溶液, 按“2.1.1”项下色谱条件, 连续重复进样 6 次, 每次 10  $\mu\text{L}$ , 记录峰面积。结果显示,  $D$ -果糖、 $D$ -葡萄糖、蔗糖、 $D$ -麦芽糖色谱峰的峰面积 RSD 值分别为 1.35%、2.11%、2.49% 和 2.39%, 均小于 2.5%, 说明仪器的精密度良好。

**2.1.6 重复性考察** 取生麦芽粗粉 (批号 150901), 按“2.1.3”项下的方法平行制备 6 份供试品溶液, 按“2.1.1”项下色谱条件测定, 计算样品中  $D$ -果糖、 $D$ -葡萄糖、蔗糖、 $D$ -麦芽糖的量。结果显示, 各成分量的 RSD 值分别为 2.46%、4.00%、4.75% 和 4.97%, 均小于 5.0%, 说明该方法的重复性较好。

**2.1.7 稳定性考察** 取生麦芽粗粉 (批号 150901), 按“2.1.3”项下的方法制备麦芽供试品溶液, 分别于 0、3、6、9、12、24 h 各进样 1 次, 每次进样 10  $\mu\text{L}$ , 记录峰面积。结果显示, 各色谱峰的峰面积的 RSD 值分别为 3.16%、4.50%、4.84% 和 3.93%, 均小于 5.0%, 说明供试品溶液在 24 h 内稳定。

**2.1.8 加样回收率考察** 取已测定的 6 份重复性实验中的生麦芽粗粉 (批号 150901), 每份 1.0 g, 精密称定, 每份均精密加入  $D$ -果糖对照品 3.68 mg、 $D$ -葡萄糖对照品 11.26 mg、蔗糖对照品 10.73 mg、 $D$ -麦芽糖对照品 16.36 mg, 按“2.1.3”项下的方法制备供试品溶液, 进样 10  $\mu\text{L}$ , 记录峰面积, 计算回收率。结果显示,  $D$ -果糖、 $D$ -葡萄糖、蔗糖、 $D$ -

麦芽糖的平均回收率分别为 98.1%、99.38%、97.94%、93.48%, RSD 值分别为 3.73%、4.95%、4.30% 和 4.81%, 均小于 5.0%, 说明回收率良好。

## 2.2 炒制温度对麦芽中糖的影响

**2.2.1 不同温度炒制样品中糖的量** 取批号为 160417 的生麦芽, 除去杂质, 分为 10 份, 每份 50 g, 除 1 份外, 其他 9 份置于锅底温度分别为 90、120、140、160、180、200、220、240、260  $^{\circ}\text{C}$  的锅内炒制 20 min<sup>[14]</sup>; 炒制过程中用红外测温仪监测锅内温度, 得各炒制温度样品, 水分测定仪测定各样品中含水量<sup>[15]</sup>, 按照“2.1.3”项方法制备各温度炒制麦芽的供试品溶液, 按“2.1”项 HPLC-ELSD 法测定糖的量, 按公式糖量 =  $(X_{\text{进样量}} \times N_{\text{稀释倍数}}) / [M_{\text{取样量}} \times (1 - W_{\text{含水量}})]$  计算各扣除水分炒制样品中糖的量, 结果见图 2。结果表明,  $D$ -果糖、 $D$ -葡萄糖、 $D$ -麦芽糖 3 种还原糖量随温度升高而降低, 温度越高, 其量下降的速率越快, 至 140  $^{\circ}\text{C}$  达到稳态, 140~220  $^{\circ}\text{C}$  还原糖的下降速度基本一致, 当炒制温度达到 220  $^{\circ}\text{C}$  后, 还原糖的下降速度进一步增加; 而非还原糖蔗糖的量随炒制温度升高, 表现为先增加后缓慢降低, 220  $^{\circ}\text{C}$  后迅速降低。以上结果表明, 麦芽中还原糖与非还原糖对温度的响应存在较大差异。

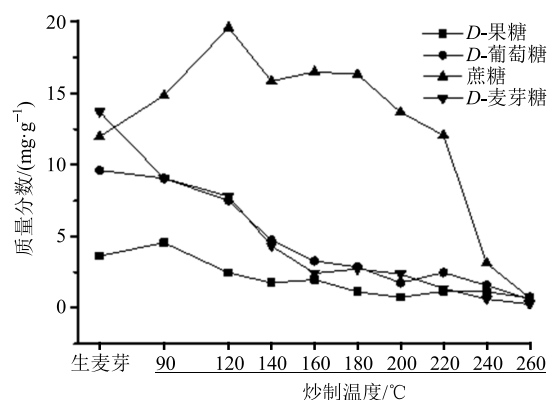


图 2 炒制温度对糖类成分的影响

Fig. 2 Effect of stir frying temperature on carbohydrate components

**2.2.2 HCA** 采用 HCA 方法考察在不同温度炒制下样品的特点, 以确定影响炒麦芽质量的特征温度值。以生麦芽以及各温度炒制下的样品中 4 种糖类成分的量作为指标, 利用 SPSS 19.0 软件, 运用平方欧氏距离作为测度, 对 10 个不同炒制温度样品进行 HCA, 结果见图 3。10 个样品聚为 3 类, 生麦芽及 90、120  $^{\circ}\text{C}$  炒麦芽聚为一类, 麦芽中 4 种糖类成分在 120  $^{\circ}\text{C}$  及以下低温炒制时,  $D$ -果糖、 $D$ -葡萄糖、

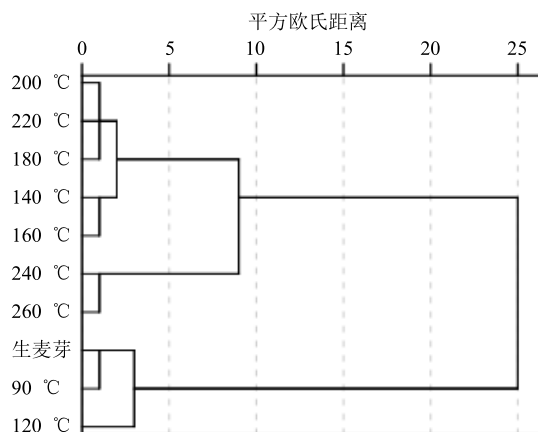


图 3 不同炒制温度麦芽 HCA 分析

Fig. 3 HCA analysis of stir fried HGF with different temperature

*D*-麦芽糖 3 种还原糖的量整体表现为降低, 而蔗糖等非还原糖的量有一定程度增加; 140、160、180、200、220 °C 炒制的麦芽聚为一类, 在此炒制温度范围内麦芽中还原糖、非还原糖的量均降低; 240、260 °C 炒制麦芽聚为一类, 非还原糖蔗糖的量在此温度下迅速降低。

**2.2.3 PLS-DA** 对图 2 中的数据进一步采用 PLS-DA 研究炒制温度对麦芽中 4 种糖类成分的影响程度, 结果见图 4。结果表明, 蔗糖在区分炒制温度中具有显著的贡献率, 而 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、*D*-麦芽糖对区分不同温度的麦芽炮制品作用相对较低, 且 VIP (variable importance plot) 值大小相当。蔗糖是一种非还原糖, 在室温和中等湿度的条件下稳定, 在较高温 (110~145 °C) 下易分解成葡萄糖和果糖, 但温度进一步升高, 蔗糖则脱水缩合成为焦糖<sup>[16]</sup>。研究发现, 中药的炮制过程中, 特别是火制过程中将发生基于还原糖、氨基酸的 Maillard 反应<sup>[17-18]</sup>。麦芽是药食两用中药, 富含糖分和氨基酸, 为 Maillard 反应提供了丰富的物质基础, 因此, 麦芽中的蔗糖在炒制温度较高发生分解

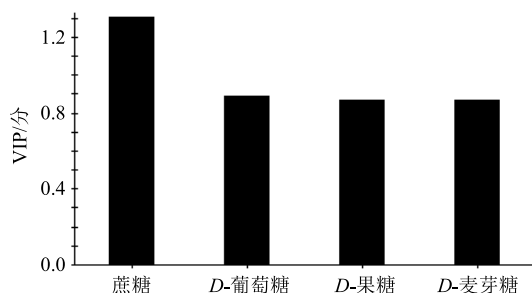


图 4 麦芽变量的重要性差异图

Fig. 4 VIP analysis of stir fried HGF

而形成 *D*-葡萄糖、*D*-果糖等还原糖, 间接参与了 Maillard 反应<sup>[17-18]</sup>, 而使麦芽“炒黄”, 高温下发生焦糖化而使麦芽呈“酱色”, 即“炒焦”。总之, 炒麦芽应尽可能“黄而不焦”, 故炒麦芽的温度以 220 °C 为宜。

## 2.3 炒制时间对麦芽中糖及褐变产物的影响

**2.3.1 炒制时间对麦芽中糖的影响** 取批号为 150901 的生麦芽, 除去杂质, 分为 14 份, 每份 50 g, 待锅温升至 220 °C 时将其置于锅内并开始计时, 分别炒制 0、2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、26、30 min, 炒制期间用红外测温仪监测锅内温度, 得到不同时间的炒制样品, 水分测定仪测定各样品中的含水量, HPLC-ELSD 测定糖的量, 计算各扣除水分炒制样品中糖的量。结果见表 1。结果表明, 随着炒制时间的延长, 4 种糖的量均呈降低趋势, 其中 *D*-麦芽糖量降低最显著, 生麦芽中 *D*-麦芽糖的量为 15.969 mg/g, 经过 2 min 炒制后, *D*-麦芽糖的量急剧降低到 1.514 mg/g, *D*-果糖、*D*-葡萄糖经过 2 min 炒制以后, 量亦降低, 但与 *D*-麦芽糖比较, 速度稍慢, 可能是由于在炒制时, *D*-麦芽糖、*D*-葡萄糖、*D*-果糖与麦芽中氨基酸、蛋白质等物质发生 Maillard 反应而致量下降, 同时, 由于蔗糖在炒制时发生分解生成 *D*-葡萄糖、*D*-果糖, 从而使 *D*-麦芽糖、*D*-葡萄糖、*D*-果糖在炒制过程中下

表 1 炒制时间对糖类成分量的影响

Table 1 Effect of frying time on content of carbohydrate components

| 时间/min | 质量分数/(mg·g <sup>-1</sup> ) |               |       |               | 水分/%  |
|--------|----------------------------|---------------|-------|---------------|-------|
|        | <i>D</i> -果糖               | <i>D</i> -葡萄糖 | 蔗糖    | <i>D</i> -麦芽糖 |       |
| 0      | 9.872                      | 18.691        | 7.775 | 15.969        | 10.24 |
| 2      | 2.431                      | 5.317         | 4.758 | 1.514         | 7.93  |
| 4      | 3.605                      | 5.251         | 4.499 | 1.943         | 6.98  |
| 6      | 3.625                      | 7.060         | 5.624 | 1.691         | 5.56  |
| 8      | 1.673                      | 5.807         | 6.214 | 1.980         | 4.71  |
| 10     | 1.149                      | 1.252         | 3.672 | 0.859         | 4.41  |
| 12     | 1.072                      | 1.247         | 2.374 | 0.796         | 3.62  |
| 14     | 1.021                      | 0.920         | 2.214 | 0.710         | 3.45  |
| 16     | 0.643                      | 1.267         | 1.521 | 0.563         | 3.25  |
| 18     | 0.851                      | 1.053         | 1.183 | 0.535         | 3.13  |
| 20     | 0.850                      | 0.789         | 1.434 | 0.545         | 2.96  |
| 22     | 0.846                      | 0.830         | 1.445 | 0.643         | 2.94  |
| 26     | 0.746                      | 1.256         | 1.575 | 0.761         | 2.90  |
| 30     | 0.473                      | 0.926         | 0.802 | 0.439         | 1.30  |

降的速度存在差异；另一方面，*D*-果糖、*D*-葡萄糖、*D*-麦芽糖以及蔗糖在炒制 16 min 后，其量变化均不明显，结果表明麦芽中糖类成分在 16 min 时反应已完全。

**2.3.2 HCA** 以生麦芽及各不同炒制时间样品中 4 种糖类成分的量指标，利用 SPSS 19.0 软件，运用平方欧氏距离作为样品的测度，对 14 个不同炒制时间样品进行 HCA，结果见图 5。14 个样品可聚为 4 类，生麦芽（炒制 0 min）为一类；经 2、4、6、8 min 炒制的麦芽为一类，表现为麦芽中糖类成分快速下降；10、12、14 min 炒制麦芽为一类，表现为糖类成分缓慢下降；16、18、20、22、26、30 min 炒制麦芽为一类，炒制 16 min 后麦芽中的糖的量变化已不明显，表明炒制对麦芽中糖量的影响已达到稳态。

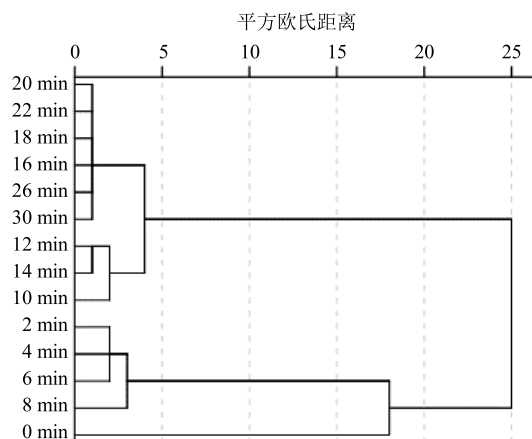


图 5 不同炒制时间麦芽 HCA 分析图

Fig. 5 HCA analysis of stir fried HGF with different time

**2.3.3 炒制过程褐变程度的表征** 取“2.3.1”项下不同炒制时间的麦芽样品各 1.0 g，精密称定，置带塞锥形瓶中，加入 70%乙醇 40 mL，超声提取 30 min，滤过后定容至 50 mL，取滤液，在 420 nm 的波长下测定吸光度（ $A_{420}$ ）值，按公式“标准化  $A_{420} = A_{420} / \text{取样量}$ ”计算单位药材质量吸光度，考察麦芽在炒制过程中的褐变程度。Maillard 反应终产物（Maillard reaction products, MRPs）是蛋白黑素类成分，在 420 nm 有强的紫外吸收，可用来表征 Maillard 反应的程度<sup>[19]</sup>。麦芽在炒制过程标准化  $A_{420}$  值结果见图 6。结果可知，随炒制时间的延长，在 0~16 min 内，麦芽样品的标准化  $A_{420}$  值整体上呈线性增加，炒制 16 min 的麦芽标准化  $A_{420}$  值达到峰值，随后标准化  $A_{420}$  基本保持稳定。

**2.3.4 炒制时间的确定** 综合 HCA 分析、标准化

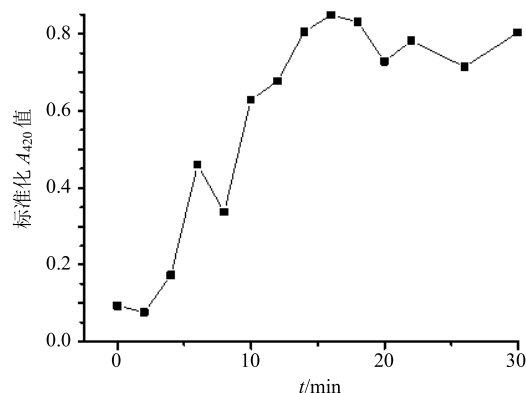


图 6 炒制时间对标准化  $A_{420}$  值的影响

Fig. 6 Effect of stir frying on value of standardized  $A_{420}$

$A_{420}$  值结果，16 min 后的炒制样品为一类，表明从糖的角度分析，炒制时间为 16、18、20、22、26、30 min 的样品不存在差异，而炒制时间越长，有效成分受热时间也长，稳定性可能受到影响；另一方面，标准化  $A_{420}$  值在 16 min 已达到峰值，表明 Maillard 反应已完全，因此，确定麦芽炒制时间为 16 min。

### 3 讨论

Maillard 反应是发生在中药炮制、制剂工艺过程中 1 种重要的反应，研究表明，MRPs 具有调节肠道菌群、清除自由基等作用<sup>[20-21]</sup>，而肠道菌群失调，自由基增多可能导致胃肠道微生态环境的改变而影响消化能力，最终影响胃肠道的“运化”功能，因此，炒制过程中形成的 MRPs 可能与炒麦芽消食作用增强有关。本实验并不从黄酮类、消化酶等成分量或活性的角度，而是基于 Maillard 反应阐释炒麦芽消食作用增强的作用机制，为麦芽“炒香醒脾”作用机制的阐述提供新的研究方法和角度。

中药的来源大部分是植物及少部分的动物和矿物，植物类中药的成分按代谢产物的生物学功能可分为 2 种，1 种为初生代谢产物，主要包括糖类、脂类、核酸以及蛋白质等，其作用是维持植物正常的生理功能；另 1 种为次生代谢产物，主要包括具有药理活性的生物碱、黄酮、萜类、皂苷等小分子化合物。在中药炮制、制剂研究中，常以中药中的次生代谢产物，即传统意义上的“有效成分”作为指标成分来评价炮制或制剂工艺，这对于中药“药效成分”明确且已得到公认的中药而言，科学、合理，也具有说服力；但对于药效成分不明确，如仍以“次生代谢产物”为评价指标，显然缺乏科学依据及说服力。本实验在研究麦芽的炒制工艺中，以

麦芽药材中次生代谢产物“糖”为研究对象及工艺评价指标,相对只以传统意义上的“有效成分”即次生代谢产物为评价指标可能更加科学、合理,因为药材在炮制、制剂过程中初生代谢产物会发生相互作用,其产物可能具有一定的药理活性,从一定意义上说,初生代谢产物在炮制、制剂过程中由于化学作用生成的产物,等同于植物生理作用产生的次生代谢产物;另一方面,初生代谢产物一般为营养物质,其服用后可能影响胃肠道微环境而间接发挥作用。因此,在中药在炮制、制剂过程中,初生代谢产物亦是不可忽视的研究对象及工艺评价指标。

中药炒制时“火候”的掌握很重要,“火候”是指炒制时火力的强弱和时间的长短,炒制“火候”不同,其性味、功效必然会存在差异。本实验中采用 HCA、PLS-DA 研究“火候”对成分的影响,结果表明,基于 HCA 分析,在 220 °C 炒制时间分别为 16、18、20、22、26、30 min 得到的样品,其中 *D*-果糖、*D*-葡萄糖、*D*-麦芽糖以及蔗糖的量并不存在显著差异。验证试验表明,生麦芽在 220 °C,炒制 16 min 后,可见麦芽颜色变深,且有香气溢出,这与《中药炮制学》<sup>[22]</sup>中记载的炒麦芽方法“……炒至表面棕黄色,鼓起并有香气时,取出……”描述一致。因此在中药炮制或制剂工艺研究中,应有效应用 HCA、PLS-DA 等分析方法,优选影响产品质量的工艺参数值范围,全面科学评价工艺的优劣。

#### 参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] 朱建龙. 麦芽不同炮制品的功效研究 [J]. 长春中医药大学学报, 2011, 27(4): 659-660.
- [3] 邱 孟, 刘 庆. 综合评分法优化麦芽炮制工艺 [J]. 中药材, 2007, 30(7): 778-780.
- [4] 凌俊红. 麦芽的化学成分及炮制学研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2005.
- [5] 贺丹霞, 荣 亮, 秦民坚, 等. 大麦籽粒、生麦芽、炒麦芽和焦麦芽中黄酮类化合物的含量分析 [J]. 中药材, 2012, 35(11): 1747-1751.
- [6] 叶定江, 原思通. 中药炮制学辞典 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
- [7] 柳 清, 洪 燕, 汪永忠, 等. 苍耳子清炒改砂炒炮制工艺研究 [J]. 中草药, 2016, 47(15): 2656-2662.
- [8] 巩 璇. 基于聚类分析的 2 型糖尿病证候规律的研究 [D]. 大连: 大连医科大学, 2014.
- [9] 王元清, 韩 彬, 向 荣, 等. 总量统计矩结合聚类分析与主成分分析评价虎杖饮片一致性与差异性 [J]. 中草药, 2015, 46(19): 2863-2869.
- [10] 李亚琼. 基于优化的偏最小二乘一判别分析和核磁共振波谱的肺癌血清代谢组学研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2014.
- [11] 王曦烨, 李 丹, 唐兴盟, 等. 基于组学方法的蒙药复方森登-4 配伍机制研究 [J]. 中草药, 2016, 47(5): 736-740.
- [12] 宋晓晖, 谢 凯, 李艳丽, 等. HPLC-ELSD 法测定梨果实中不同种类可溶性糖含量 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 32(2): 87-91.
- [13] 钟 可, 王文全, 靳风云, 等. 知母的 HPLC-ELSD 指纹图谱研究 [J]. 中草药, 2016, 47(15): 2747-2750.
- [14] 方向梅, 吕红叶. 麦芽的研究进展 [J]. 中国伤残医学, 2010, 18(5): 167-168.
- [15] 杨华生, 吴维刚, 谭丽霞, 等. 麦芽炒制过程中近红外在线监测模型的建立及“炒香”终点判断研究 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(3): 478-485.
- [16] 崔福德. 药剂学 [M]. 第 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- [17] 周逸群, 贺福元, 杨岩涛, 等. 美拉德反应研究现状及对中药炮制和制剂工艺研究方法的影响 [J]. 中草药, 2014, 45(1): 125-130.
- [18] 孟祥龙, 马俊楠, 张朔生, 等. 熟地黄炮制 (九蒸九晒) 过程中药效化学成分变化及炮制辅料对其影响研究 [J]. 中草药, 2016, 47(5): 752-759.
- [19] 孔保华, 李 菁, 刘 骞. 美拉德反应产物抗氧化机理及影响因素的研究进展 [J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(11): 9-11.
- [20] 傅紫琴, 王明艳, 蔡宝昌. 5-羟甲基糠醛 (5-HMF) 在中药中的研究现状探讨 [J]. 中华中医药学刊, 2008, 26(3): 508-510.
- [21] 刘苗苗, 陈祥胜, 陈琪瑶, 等. 苍术麸炒过程中 5-羟甲基糠醛的转化机制研究 [J]. 中草药, 2016, 47(8): 1327-1331.
- [22] 吴 皓, 胡昌江. 中药炮制学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.