

不同品种乌龙茶烘焙前后化学成分差异及体外活性

侯燊^{1,2}, 林隼³, 郝彬秀⁴, 祁敬杰⁴, 陈志雄⁵, 郑斌⁵, 李颂^{4*}, 应剑^{1,2*}

(1. 中粮营养健康研究院有限公司, 北京 102209) (2. 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209)

(3. 中茶六山(凤庆)茶叶有限公司, 云南临沧 675900) (4. 中茶科技(北京)有限公司, 北京 102209)

(5. 厦门茶叶进出口有限公司, 福建厦门 361013)

摘要: 为研究不同乌龙茶原料经烘焙处理后物质基础变化规律及活性差异, 分析了不同乌龙茶原料烘焙前后的总多酚、总黄酮茶多糖、儿茶素组分及咖啡碱含量差异, 采用体外酶生化反应手段, 考察不同乌龙茶原料及成品对 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶和黄嘌呤氧化酶的抑制能力。结果显示, 茶多酚含量(质量分数)由原料中的13.75%~15.59%下降至成品的12.41%~14.14%, 铁观音、肉桂高于老枞水仙、三印水仙和大红袍($P<0.05$); 原料中总黄酮含量(质量分数)在0.71%~1.00%之间, 铁观音原料总黄酮含量最低, 与其他原料相比有显著差异($P<0.05$), 除铁观音外, 其余乌龙茶样品总黄酮含量在烘焙处理前后差异不显著($P>0.05$); 原料中茶多糖含量(质量分数)为1.14%~1.82%, 烘焙后上升到成品的1.64%~2.12%。所有样品均表现出对于 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶和黄嘌呤氧化酶的抑制能力, 且烘焙后的成品对于 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶的抑制能力减弱, 肉桂表现出较高的抑制 α -葡萄糖苷酶及脂肪酶活性的能力。乌龙茶烘焙后对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力增强, IC_{50} 值由13.21~17.42 mg/mL降低为成品的10.26~14.38 mg/mL。

关键词: 乌龙茶; 烘焙; 物质基础; α -葡萄糖苷酶; 脂肪酶; 黄嘌呤氧化酶

文章编号: 1673-9078(2024)05-102-110

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.5.0581

Chemical Composition Difference and *in Vitro* Activity of Different Varieties of Oolong Tea Before and After Roasting

HOU Can^{1,2}, LIN Quan³, HAO Binxiu⁴, QI Jingjie⁴, CHEN Zhixiong⁵, ZHEN Bin⁵, LI Song^{4*}, YING Jian^{1,2*}

(1. Nutrition and Health Research Institute, Co. Ltd., Beijing 102209, China)

(2. Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing 102209, China)

(3. China Tea Liushan (Fengqing) Co. Ltd., Lincang 675900, China) (4. China Tea Technology (Beijing) Co. Ltd.,

Beijing 102209, China) (5. Xiamen Tea Import & Export Co. Ltd., Xiamen 361013, China)

Abstract: In order to study the changing trend of mass base and difference in activity of different raw oolong tea materials after roasting, the differences in the contents of total polyphenols, total flavonoids, tea polysaccharides, catechins and caffeine of different raw oolong tea materials before and after roasting were analyzed. *In vitro* enzymatic biochemical

引文格式:

侯燊, 林隼, 郝彬秀, 等. 不同品种乌龙茶烘焙前后化学成分差异及体外活性[J]. 现代食品科技, 2024, 40(5): 102-110.

HOU Can, LIN Quan, HAO Binxiu, et al. Chemical composition difference and *in vitro* activity of different varieties of oolong tea before and after roasting [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(5): 102-110.

收稿日期: 2023-05-16

基金项目: 云南省科技厅重大专项计划(202102AE090038)

作者简介: 侯燊(1988-), 女, 博士, 高级工程师, 研究方向: 食药物质基础研究, E-mail: houcan@cofco.com

通讯作者: 李颂(1985-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 茶叶及茶饮研究开发, E-mail: lisongl@cofco.com; 共同通讯作者: 应剑

(1984-), 女, 博士, 正高级工程师, 研究方向: 食药物质开发与利用, E-mail: yingjian@cofco.com

reaction was used to investigate the inhibitory abilities of different oolong tea raw materials and finished products against α -glucosidase, lipase and xanthine oxidase. The results showed that the content of tea polyphenols decreased from 13.75%~15.59% in raw materials to 12.41%~14.14% in the finished products, with the contents of Tieguanyin and Rougui being slightly higher than those of Old Fir Narcissus, Sanyin Narcissus and Dahongpao ($P<0.05$). The content (mass fraction) of total flavonoids in the raw materials ranged from 0.71% to 1.00%, and the content of total flavonoids in Tieguanyin raw materials was the lowest, which was significantly different from those of other raw materials ($P<0.05$). Except for Tieguanyin, the contents of total flavonoids in other oolong tea samples were insignificantly different before and after roasting ($P>0.05$). The contents of tea polysaccharides in the raw materials were 1.14%~1.82%, which increased to 1.64%~2.12% in the finished products after baking. All the samples showed the inhibitory abilities against α -glucosidase, lipase and xanthine oxidase, and the finished products after baking exhibited weaker inhibitory abilities against α -glucosidase and lipase. Rougui showed higher abilities to inhibit α -glucosidase and lipase activities. After roasting, oolong tea had an enhanced ability to inhibit xanthine oxidase, with the IC_{50} values decreasing from 13.21~17.42 mg/mL to 10.26 mg/mL~14.38 mg/mL for the finished product.

Key words: oolong tea; roast; material basis; α -glucosidase; lipase; xanthine oxidase

乌龙茶属半发酵茶，是中国特有的茶类，素有“绿叶红镶边”“三红七绿”的品质特征。烘焙型乌龙茶制作过程中，“焙火”工序尤为重要，即初制后的毛茶通过 160~170 °C 烘焙，促进乌龙茶独特品质的形成^[1]。烘焙精制是乌龙茶传统制茶工艺中关键工序之一，合理的火功、恰当的烘焙技术是提高精制乌龙茶品质的关键^[2-5]。

武夷山是乌龙茶的发源地，武夷岩茶以独特的“岩骨花香”闻名。武夷岩茶国家标准以鲜叶的茶树品种作为划分依据，将武夷岩茶分为武夷大红袍、肉桂、名枞、水仙和奇种等几种类型。不同的原料品种，其内含物差异较大，从而在后续工艺作用下表现出不同的产品品质特性及感官特点。大红袍既是茶树名，也属于商品名，通常以无性繁殖的大红袍茶树为主进行乌龙茶产品的加工制作^[6]。肉桂是武夷岩茶的当家品种之一，具有香气辛锐持久、特殊桂皮香等品质特点^[7]。武夷水仙属小乔木型、大叶类、晚生茶品种，是武夷岩茶的主栽品种，种植面积广泛，仅次于肉桂^[8,9]。老枞水仙是武夷岩茶的当家品种名枞之一，叶质绵柔、内含物丰富，茶汤浓厚、岩韵突出。安溪铁观音属乌龙茶的一种，有自己独特的韵风，以特有的兰花香味为特征^[10]。

不同细分产地的原料、独特的烘焙工艺参数，赋予了烘焙型乌龙茶的复杂多样的品质特征，从而表现出茶香多变、品质多样等特点。茶叶受热后，其内含物质发生变化，进一步表现出活性的差异。近年来，加工工艺对于烘焙型乌龙茶品质变化的影响、烘焙型乌龙茶抗炎、抗氧化活性的研究报道较

多^[11-15]，关于不同乌龙茶原料品种烘焙前后的 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶、黄嘌呤氧化酶抑制能力变化鲜见报道。本研究以不同乌龙茶原料及成品为研究对象，从化学物质组方面阐明不同乌龙茶的物质基础及烘焙前后的成分变化规律，利用体外活性评价模型（ α -葡萄糖苷酶、脂肪酶和黄嘌呤氧化酶）对乌龙茶体外活性进行研究，从不同角度考揭示烘焙型乌龙茶的功效作用，探索成分与功效之间的关系，为开发具有营养健康属性的产品提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

表 1 样品信息表

Table 1 Sample information sheet

品种	样品编号	原料季节/ 成品工艺参数	生产年份 /年
铁观音原料	1	春茶一级	2021
铁观音成品	1R	165 °C、75 min	2021
老枞水仙原料	2	春茶一级	2021
老枞水仙成品	2R	163 °C、72 min	2021
三印水仙原料	3	春茶一级	2021
三印水仙成品	3R	163 °C、72 min	2021
大红袍原料	4	春茶一级	2021
大红袍成品	4R	163 °C、70 min	2021
肉桂原料	5	春茶一级	2021
肉桂成品	5R	161 °C、65 min	2021

表 2 乌龙茶样品感官评审结果

Table 2 Sensory evaluation of oolong tea

品种	样品编号	外形	香气	滋味	汤色
铁观音原料	1	稍肥壮, 较结实	较清高	醇正, 音韵轻微	橙黄
铁观音成品	1R	稍肥壮, 较结实	焦糖香、略显甜味	醇和	深橙黄
老枞水仙原料	2	壮结, 油润	浓郁, 兰香特征显	醇厚、品种特征显	金黄
老枞水仙成品	2R	较壮结	浓郁, 木质炭香、甜香纯正	醇厚、顺滑, 品种特征显、岩韵明	橙红明亮
三印水仙原料	3	尚壮结	清香细长	醇厚	橙黄清澈
三印水仙成品	3R	尚壮结	较浓郁, 炭香、火功香显	醇厚	橙红亮
大红袍原料	4	紧结、壮实	浓长、清远	醇厚、回甘快	较清澈、艳丽、橙黄色
大红袍成品	4R	紧结、壮实	炭香、显甜花香味	岩韵尚显杯底有余香、醇厚、回甘	橙红明亮
肉桂原料	5	肥壮紧结、沉重	浓郁持久桂皮香、花香	醇厚、鲜爽, 岩韵明	金清澈明亮
肉桂成品	5R	肥壮紧结、沉重	浓郁持久, 炭香, 木质香、略带辛香	醇厚甘甜、特征明显	橙红明亮

样品: 乌龙茶原料经初制、萎凋、摇青、炒青、揉捻、烘焙等工序制成乌龙茶成品, 本次实验涉及乌龙茶品种有铁观音、老枞水仙、三印水仙、大红袍、肉桂, 分别取不同品种原料及成品进行后续实验(表 1), 各样品感官特征如表 2 所示, 不同品种乌龙茶原料特征明显。

试剂: 去离子水、蒽酮、硫酸、氯化镁、无水乙醇, 分析纯; 甲醇、乙腈, 色谱纯; 维生素 C 稳定液(10 mg/mL)、福林酚试剂、碳酸钠; 4-甲基伞形酮酯(4-Metylumbelliferone, 4MUO)、对硝基苯基- α -D-吡喃葡萄糖苷(P-Nitrophenyl α -D-Glucopyranoside, PNPG)、猪胰脂肪酶、 α -葡萄糖苷酶(α -Glucosidase)、黄嘌呤氧化酶(Xanthine Oxidase, XOD)、黄嘌呤、别嘌呤醇, Sigma 试剂公司; 二水磷酸二氢钠、十二水磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、三水合磷酸氢二钾、乙二胺四乙酸、阿卡波糖、奥利司他(Acarbose), 国药集团; 植物总糖和还原糖检测试剂盒(DNS 试剂盒, 硝基水杨酸法, LEAGENE), 北京雷根生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

水处理系统(Milli-Q Integral5), 德国默克集团有限公司; 水浴锅(2842), 赛默飞世尔科技(中国)有限公司; 多功能高速冷冻离心机(Allegra 25R), 贝克曼库尔特有限公司; 全自动酶标仪(BioTek Synergy Mx), 美国伯腾仪器有限公司; 移液枪(Eppendorf), 艾本德中国有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 茶多糖的测定

茶叶中的茶多糖测定参见侯粲等^[16], 精密称取 0.2 g 茶粉, 加入 0.45 g 氯化镁, 准确加入 30 mL 沸水, 沸水浴中浸提 45 min, 每隔 10 min 震荡一次, 3 000 r/min 离心 5 min 后, 取上清液。50 mL 离心管中加入 5 mL 水提样品溶液, 缓慢加入 20 mL 无水乙醇, 边加边摇匀, 涡旋震荡 1 min, 4 000 r/min 离心 10 min, 去掉上清液, 沉淀用 10 mL $\phi=80\%$ 乙醇溶液涡旋洗涤, 按上述方法离心, 吸去上清。沉淀加入 5 mL 去离子水, 超声溶解, 待测。

2 mL 深孔板中加入 200 μ L 去离子水(空白组)、0.4 mg/mL 葡萄糖(对照组)、样品, 将深孔板置于冰水浴中, 缓慢加入 800 μ L 蒽酮硫酸溶液, 加盖摇匀, 沸水浴中反应 10 min, 冰水冷却至室温, 转移至透明酶标板中, 620 nm 处比色, 计算方法参见曹永等^[17]。

1.3.2 总黄酮的测定

茶叶中的总黄酮根据 NYT 1295-2007 方法优化、采用三氯化铝法测定^[18]。

1.3.3 总多酚的测定

茶叶中的总多酚根据 GB/T 8313-2018 方法优化测定^[19]。

1.3.4 儿茶素组分、咖啡碱的测定

茶叶中儿茶素组分、咖啡碱根据 GB/T 30483-2013 方法测定^[20]。

1.3.5 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力的测定

α -葡萄糖苷酶活性抑制能力的测定参见侯聚等^[16]。精密称取 2 g 茶样, 置于 100 mL 具塞锥形瓶中, 加入 30 mL 沸水, 沸水浴浸提 45 min, 期间每 10 min 摇匀一次, 冷却后 3 000 r/min 离心 10 min 后, 取上清液。

α -葡萄糖苷酶使用 pH 值 6.8 的 20 mmol/L PB 溶液稀释至 125 U/mL, 现配现用。测试样品设置 4 个浓度, 反应体系为: 待测样品 60 μ L + α -葡萄糖苷酶 50 μ L + PNPG 50 μ L, 37 $^{\circ}$ C、405 nm 发射光条件下, 每 1 min 测定一次吸光度值, 共测定 20 min。按公式 (1) 计算 α -葡萄糖苷酶活性抑制率, 并以样品浓度为横坐标, 抑制率为纵坐标, 绘制抑制曲线, 计算 IC₅₀ 值。

$$B = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

B— α -葡萄糖苷酶活性抑制率, %;

A₁—空白对照在 405 nm 波长处的吸光度值;

A₂—不同样品溶液在 405 nm 波长处的吸光度值。

1.3.6 脂肪酶活性抑制能力的测定

脂肪酶活性抑制能力的测定参见侯聚等^[16]。精密称取 2 g 茶样, 置于 100 mL 具塞锥形瓶中, 加入 30 mL 沸水, 沸水浴浸提 45 min, 期间每 10 min 摇匀一次, 冷却后 3 000 r/min 离心 10 min, 取上清液。

猪胰脂肪酶使用 pH 值为 7.4 的 0.2 mol/L PB 溶液配置成浓度为 0.6 mg/mL 的溶液, 现配现用。反应体系为: 20 μ L 待测样品 (阳性对照) 加 20 μ L 4-MUO 溶液加 130 μ L 酶溶液, 37 $^{\circ}$ C 条件下, 激发光 327 nm, 发射光 449 nm, 每 5 min 读取吸光度值, 测定 30 min。按公式 (2) 计算脂肪酶活性抑制率, 并在抑制率为 50% 处得出 IC₅₀ 值。

$$C = \left(1 - \frac{A_3}{A_4}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

C—脂肪酶活性抑制率, %;

A₃—扣除本底之后的样品吸光度值;

A₄—扣除本底之后的空白对照的吸光度值。

1.3.7 黄嘌呤氧化酶活性抑制能力的测定

精密称取 2 g 茶样, 置于 100 mL 具塞锥形瓶中, 加入 30 mL 沸水, 沸水浴浸提 45 min, 期间每 10 min 摇匀一次, 冷却后经 3 000 r/min 离心 10 min, 取上清液备用。

黄嘌呤氧化酶使用 pH 值为 7.4 的 0.2 mmol/L

PB 溶液配置成浓度为 0.08 U/mL 的溶液, 现配现用。反应体系为: 30 μ L 待测样品 (阳性对照) 加 15 μ L 黄嘌呤氧化酶溶液加 105 μ L 黄嘌呤溶液, 37 $^{\circ}$ C 条件下, 295 nm, 每 1 min 读取吸光度值, 测定 10 min。按公式 (3) 计算黄嘌呤氧化酶活性抑制率, 并在抑制率为 50% 处得出 IC₅₀ 值。

$$D = \left(1 - \frac{A_5}{A_6}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

D—黄嘌呤氧化酶活性抑制率, %;

A₅—扣除本底之后的样品吸光度值;

A₆—扣除本底之后的空白对照的吸光度值。

1.5 数据处理

数据结果采用平均数 \pm 标准差表示, 使用 SPSS 20.0 进行 ANOVA 分析, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。采用 GraphPad Prism 9.0 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 不同乌龙茶茶多酚、总黄酮、茶多糖含量差异及烘焙前后变化规律

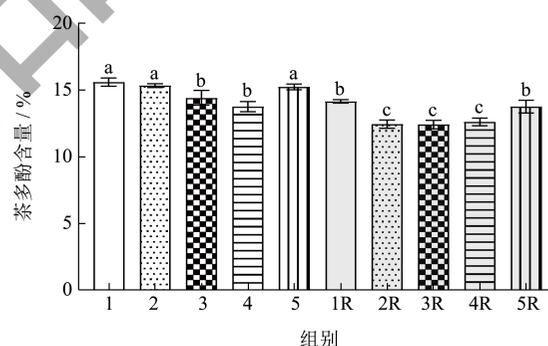


图 1 不同乌龙茶样品茶多酚含量结果

Fig.1 The content of tea polyphenol in different kinds of oolong tea

注: 不同字母表示差异显著, $P < 0.05$, 下同。

由结果 (图 1) 可以看出, 原料中茶多酚含量 (质量分数) 为 13.75%~15.59%, 其中铁观音原料中的含量最高, 老枳水仙和肉桂原料中的茶多酚含量略低, 三者无显著差异 ($P > 0.05$), 大红袍原料中茶多酚含量最低。烘焙处理后, 茶多酚呈现出下降的趋势, 在高温条件下, 茶多酚极易发生异构化、氧化、裂解等反应, 同时易与蛋白质结合生成不溶于水的物质^[21], 从而表现出茶多酚含量的下降, 烘焙后成品茶多酚含量 (质量分数) 在 12.41%~14.14% 之间, 其中铁观音成品、肉桂成品

的含量略高于老枳水仙成品、三印水仙成品和大红袍成品，差异具有显著性 ($P < 0.05$)。

原料中总黄酮含量(质量分数)在 0.71%~1.00% 之间(图 2)，其中肉桂含量最高，三印水仙次之，老枳水仙、大红袍总黄酮含量略低于前者，但无显著差异 ($P > 0.05$)，铁观音原料中总黄酮含量最低，与其他原料相比有显著差异 ($P < 0.05$)。除铁观音外，其余乌龙茶样品中总黄酮含量在烘焙前后差异不显著 ($P > 0.05$)。铁观音在烘焙后，总黄酮含量(质量分数)由原料中的 0.71% 升高为烘焙后的 0.83% ($P < 0.05$)。烘焙后肉桂成品中总黄酮含量(质量分数)最高(达到 1.01%)，其余乌龙茶成品间总黄酮含量无显著差异。

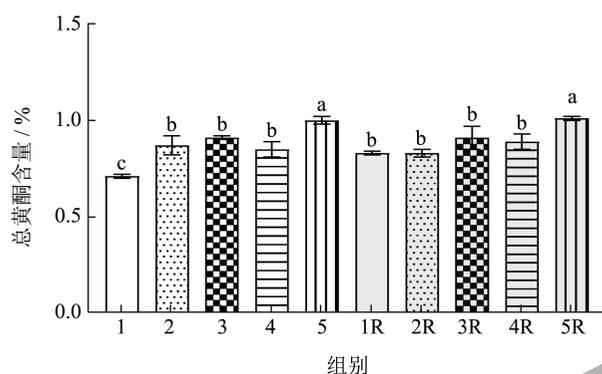


图 2 不同乌龙茶样品总黄酮结果

Fig 2 The content of flavonoids in different kinds of oolong tea

由结果可以看出，原料中茶多糖含量(质量分数)为 1.14%~1.82% 之间，烘焙后呈现上升的趋势，上升为烘焙后成品的 1.64%~2.12% 之间(图 3)，这与孙君等^[22]的研究结果趋势一致，烘焙过程中毛茶中

的多糖类物质发生脱水缩合/聚合等反应，其含量升高^[23]，其中三印水仙成品最高，大红袍、老枳水仙次之。

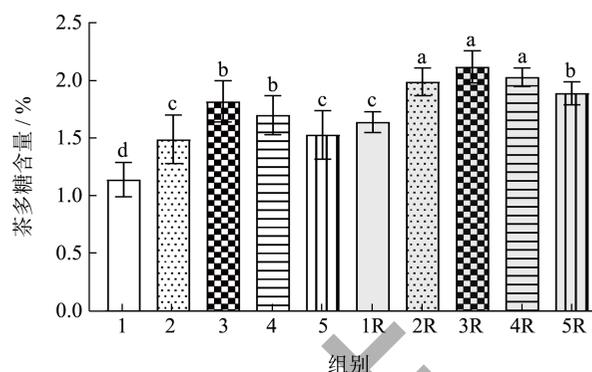


图 3 不同乌龙茶样品茶多糖结果

Fig.3 The content of tea polysaccharide in different kinds of oolong tea

2.2 不同乌龙茶儿茶素组分含量差异及烘焙前后变化规律

由表 3 可以看出，乌龙茶样品儿茶素组分中，表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素(EC)含量占比较高，儿茶素(C)含量占比最低。除儿茶素(C)外，儿茶素组分在烘焙后均呈现下降趋势，没食子酸含量在烘焙后含量升高，咖啡碱含量烘焙前后变化不大，研究显示没食子酸由儿茶素水合及儿茶素二聚体分解产生，在烘焙过程中含量增加^[24]。酯型儿茶素(ETC)在烘焙后含量下降，降幅 31.16% 至 51.74% 不等，其中老枳水仙原料烘焙后酯型儿茶素下降最多，由 12.82 mg/g 下降为 6.19 mg/g。

表 3 不同乌龙茶样品儿茶素组分、没食子酸及咖啡碱结果 (mg/g)

Table 3 Content of catechin components, gallic acid and caffeine in oolong tea (mg/g)

组别	表没食子儿茶素 EGC	儿茶素 C	表没食子儿茶素没食子酸酯 EGCG	表儿茶素 EC	表儿茶素没食子酸酯 ECG	酯型儿茶素 ETC	没食子酸 GA	咖啡碱 CAF
1	2.07 ± 0.10	0.04 ± 0.02	11.24 ± 0.25	9.77 ± 0.13	0.94 ± 0.08	12.18 ± 0.17	0.15 ± 0.07	4.83 ± 0.10
1R	0.92 ± 0.11	0.10 ± 0.05	7.40 ± 1.07	9.76 ± 1.03	0.68 ± 0.14	8.07 ± 0.99	0.40 ± 0.12	4.93 ± 0.46
2	1.48 ± 0.21	0.02 ± 0.01	11.89 ± 0.32	8.79 ± 0.14	0.93 ± 0.10	12.82 ± 0.25	0.49 ± 0.06	6.86 ± 0.37
2R	0.44 ± 0.30	0.11 ± 0.07	5.63 ± 0.89	5.10 ± 0.45	0.55 ± 0.31	6.19 ± 1.21	0.83 ± 0.27	6.43 ± 0.81
3	0.89 ± 0.11	0.06 ± 0.02	9.01 ± 0.34	9.77 ± 0.29	0.89 ± 0.20	9.90 ± 0.31	0.66 ± 0.03	7.28 ± 0.51
3R	0.41 ± 0.07	0.08 ± 0.01	5.68 ± 0.61	9.52 ± 0.24	0.58 ± 0.12	6.26 ± 1.02	0.84 ± 0.28	6.83 ± 0.79
4	1.26 ± 0.34	0.19 ± 0.05	9.55 ± 0.71	13.56 ± 0.29	0.65 ± 0.07	10.20 ± 0.41	0.44 ± 0.09	5.94 ± 0.29
4R	0.56 ± 0.12	0.07 ± 0.03	5.29 ± 0.68	10.28 ± 1.27	0.43 ± 0.17	5.72 ± 0.59	0.74 ± 0.11	5.94 ± 0.73
5	1.43 ± 0.50	0.18 ± 0.07	13.80 ± 1.30	13.83 ± 1.09	0.74 ± 0.20	14.54 ± 0.99	0.44 ± 0.10	6.65 ± 0.74
5R	0.70 ± 0.15	0.09 ± 0.03	9.39 ± 1.06	11.11 ± 0.98	0.61 ± 0.21	10.01 ± 1.04	0.68 ± 0.24	6.41 ± 0.96

2.3 不同乌龙茶原料及成品对 α -葡萄糖苷酶的抑制能力分析

从结果图4中可以看出,本次实验涉及的不同乌龙茶原料对于 α -葡萄糖苷酶的抑制作用, IC_{50} 值在 4.36 mg/mL 至 6.72 mg/mL 之间(图4), 其中肉桂原料的 IC_{50} 值最低, 表示肉桂原料对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力最强, 大红袍原料、铁观音原料的 IC_{50} 值较高, 表示相比之下, 大红袍和铁观音对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力较弱。乌龙茶成品(烘焙后)的 IC_{50} 值在 6.74~7.96 mg/mL 之间, 其中三印水仙成品和肉桂成品的 IC_{50} 值较低, 表示三印水仙成品、肉桂成品对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力较强, 大红袍成品的 IC_{50} 值最高, 表示大红袍成品对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力最弱。

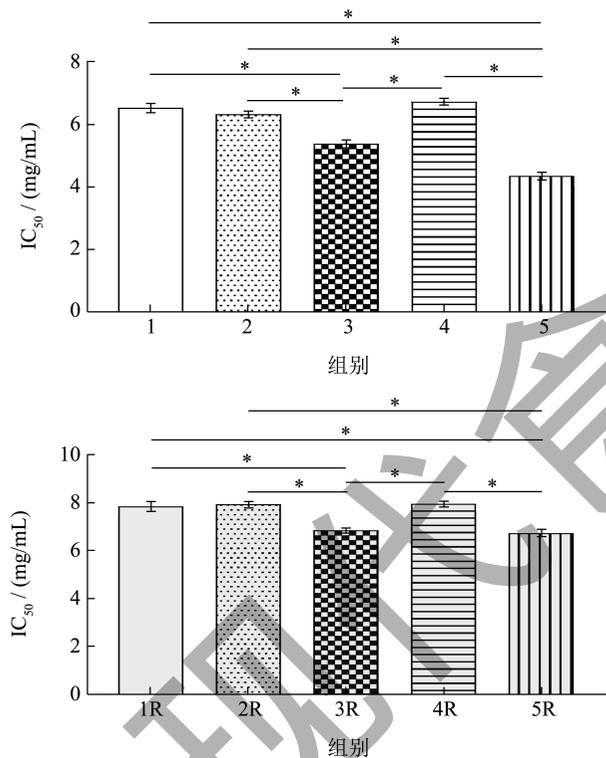


图4 不同乌龙茶原料及成品对 α -葡萄糖苷酶抑制作用 IC_{50} 结果

Fig.4 IC_{50} of different oolong tea raw materials and products for α -glucosidase

注: *表示差异显著, $P < 0.05$, 下同。

费群勤等^[25]指出茶多酚和EGCG对 α -葡萄糖苷酶有较强的抑制作用, 经烘焙工艺处理后, 高温引起内含物在短时间内产生快速变化, 发生氨基酸氧化、多酚类氧化、酯型儿茶素水解等热化学作用。样品对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力有所减弱, 其原因可能是在烘焙的高温条件下, 茶多酚及儿茶素类

易发生异构化、氧化及裂解等反应, 导致茶多酚、儿茶素等的含量下降, 从而表现为 IC_{50} 值的升高, 即对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力有下降趋势。相关性分析结果显示, α -葡萄糖苷酶抑制作用 IC_{50} 值与茶多酚呈显著负相关 ($P < 0.05$, 皮尔逊相关系数为 -0.645)、与EGCG呈显著负相关 ($P < 0.05$, 皮尔逊相关系数为 -0.659)。肉桂原料及其成品表现出较高的抑制 α -葡萄糖苷酶活性的能力, 从检测数据可以看出, 肉桂中茶多酚以及EGCG含量较其他几种乌龙茶样品高, 因此其对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力较强; 大红袍中茶多酚及EGCG含量较其他乌龙茶样品低, 其对于 α -葡萄糖苷酶的抑制能力较弱, 即 IC_{50} 值较高。

2.4 不同乌龙茶原料及成品对脂肪酶的抑制能力分析

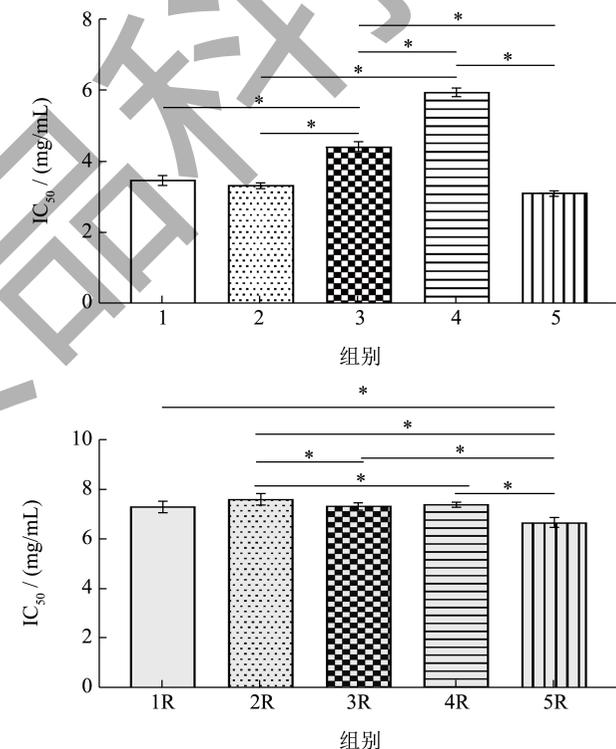


图5 不同乌龙茶原料及成品对脂肪酶抑制作用 IC_{50} 结果

Fig.5 IC_{50} of different oolong tea raw materials and products for lipase

本次实验涉及的乌龙茶烘焙前(原料)的 IC_{50} 值为 3.11~5.94 mg/mL 之间(图5), 其中肉桂原料的 IC_{50} 值最低, 表示肉桂原料对于脂肪酶的抑制能力最强, 大红袍原料的 IC_{50} 值最高, 表示相比之下, 大红袍原料对于脂肪酶的抑制能力较弱。乌龙茶成品(烘焙后)的 IC_{50} 值在 6.69~7.64 mg/mL 之间, 其中肉桂成品的 IC_{50} 值最低, 表示肉桂成品对于脂肪酶的抑制能力最强。铁观音和三印水仙成品的

IC₅₀ 值略高于肉桂成品。研究表明, 茶褐素、茶多糖等化合物与抑制脂肪酶活性能力呈显著相关^[26], 同时茶多酚、花色苷等对脂肪酶的抑制具有一定的协同作用^[27]。相关性分析结果显示, 脂肪酶抑制作用 IC₅₀ 值与游离氨基酸呈显著负相关 ($P < 0.05$, 皮尔逊相关系数为 -0.671)、与茶多酚呈极显著负相关 ($P < 0.01$, 皮尔逊相关系数为 -0.908)。烘焙工艺处理后, 茶多酚、游离氨基酸等的含量呈下降趋势^[28], 表现为烘焙处理后, IC₅₀ 值的升高, 即对于脂肪酶的抑制作用有所减弱。由成分数据可知, 不同品种之间, 肉桂中茶多糖及茶多酚含量相对较高, 可能是其对于脂肪酶有较高抑制能力的原因之一。

2.5 不同乌龙茶原料及成品对黄嘌呤氧化酶的抑制能力分析

黄嘌呤氧化酶能够催化黄嘌呤、次黄嘌呤的氧化, 生成尿酸, 引起痛风的发生, 同时产生过氧化自由基, 涉及炎症、硬化、癌症及衰老等病理过程。黄嘌呤氧化酶是尿酸生成的关键, 通过抑制其多黄嘌呤和次黄嘌呤的催化转化, 能够一定程度上减少自由基造成的应激反应和对组织的伤害, 减少一些致命性的痛风并发症^[29,30]。

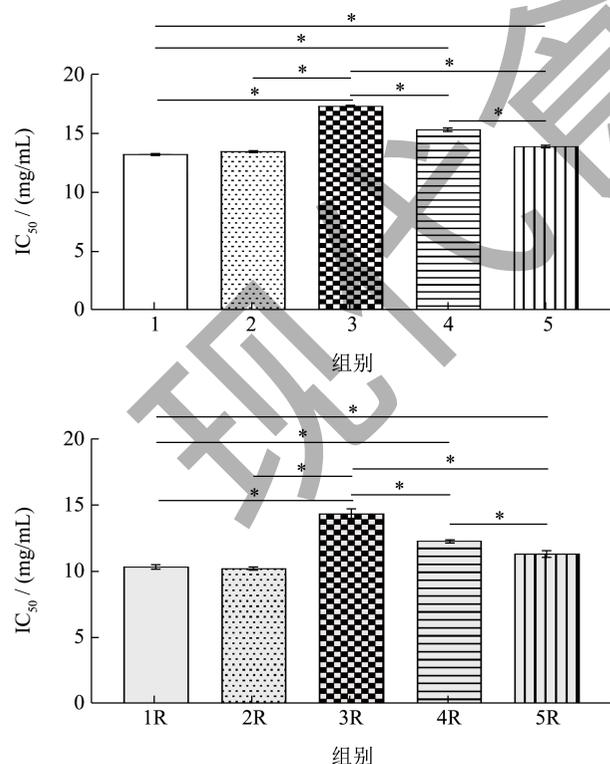


图6 不同乌龙茶原料及成品对黄嘌呤氧化酶抑制作用 IC₅₀ 结果
Fig.6 IC₅₀ of different oolong tea raw materials and products for xanthine oxidase

从图6中可以看出, 本次实验涉及的不同乌龙茶原料对于黄嘌呤氧化酶的具有抑制作用, IC₅₀ 值在 13.21 ~ 17.42 mg/mL 之间, 其中铁观音原料、老枳水仙原料的 IC₅₀ 值最低, 表示相比之下, 铁观音原料、老枳水仙原料对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力较强, 三印水仙原料对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力较弱 (IC₅₀ 值为 17.34 mg/mL)。乌龙茶成品 (烘焙后) 的 IC₅₀ 值在 10.26 ~ 14.38 mg/mL 之间, 其中老枳水仙成品的 IC₅₀ 值最低, 表示其对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力最强, 推测其减少尿酸生成的作用较为突出, 有待后续进行深入研究。

烘焙后乌龙茶成品对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力相比原料有所增强, IC₅₀ 值下降 17.07% ~ 23.91%。研究显示黄烷醇类、酚酸类、黄酮类及生物碱类化合物在体外对于黄嘌呤氧化酶的活性具有抑制作用^[31]。临床前研究表明, 普洱茶能够降低黄嘌呤氧化酶的活性, 同时还能抑制肾尿酸相关转运蛋白的表达, 与其中的茶多酚、儿茶素等物质有关^[32,33]。槲皮素对于高尿酸血症大鼠的血清尿酸水平具有一定的控制作用, 同时能够增强高尿酸血症大鼠的抗氧化及清除自由基的能力^[34]。茶黄素能够抑制 XOD 活性, 降低血尿酸水平, 减少炎症细胞和激活 Nfr2/HO-1 通路^[35]。本实验结果表明, 不同品种乌龙茶均能够抑制黄嘌呤氧化酶的活性, 烘焙后其抑制黄嘌呤氧化酶的能力增加, 推测与乌龙茶中的茶多酚、儿茶素类、粗色素、酚酸类、生物碱等成分变化有关, 有待后续进行进一步的验证。

2.6 不同原料烘焙前后活性差异分析

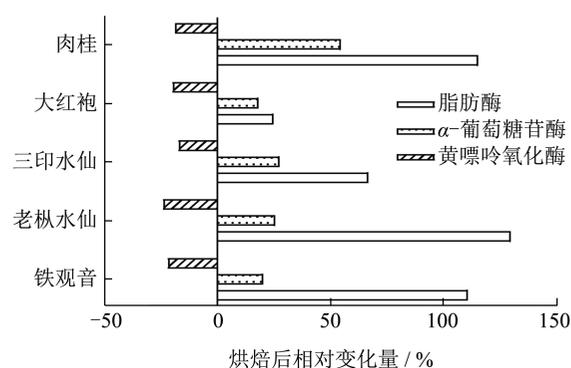


图7 烘焙前后乌龙茶对三种酶活力抑制作用 IC₅₀ 结果变化情况
Fig.7 Changes of IC₅₀ of inhibitory effect in oolong tea before and after roasting

通过对不同原料烘焙前后 IC₅₀ 值的相对变化量 (百分比) 发现 (见图7), 肉桂在烘焙前后对

于 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶、黄嘌呤氧化酶的抑制能力变化相对较大,原因之一可能是工艺处理对于肉桂的部分成分影响较大,从而导致活性变化较其他品种乌龙茶较大。而三印水仙则与之相反,烘焙前后的相对变化量较其他品种乌龙茶小。

3 结论

本研究以不同乌龙茶原料为研究对象,探究其物质基础及可能的功效作用,并探讨烘焙工艺对于其关键成分和活性的影响。主要成分变化规律为:茶多酚含量由原料中的13.75%~15.59%下降至烘焙后成品的12.41%~14.14%,其中铁观音成品、肉桂成品的含量略高于老枞水仙成品、三印水仙成品和大红袍成品,差异具有显著性($P<0.05$);原料中总黄酮含量在0.71%~1.00%之间,铁观音原料总黄酮含量最低,与其他原料相比有显著差异($P<0.05$),除铁观音外,其余乌龙茶样品总黄酮含量在烘焙前后差异不显著($P>0.05$)。铁观音在烘焙后,总黄酮含量由原料中的0.71%升高为烘焙后的0.83%($P<0.05$);原料中茶多糖含量为1.14%~1.82%之间,烘焙后呈现上升的趋势,上升为烘焙后成品的1.64%~2.12%之间;原料中EGCG含量为9.01~13.8 mg/g之间,烘焙后下降为成品中的5.29~9.39 mg/g之间,其中肉桂中含量最高;没食子酸含量由原料中的0.15~0.66 mg/g上升为成品中的0.40~0.84 mg/g之间。

不同原料来源的烘焙型乌龙茶,对于 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶和黄嘌呤氧化酶的抑制能力有所不同。所有样品均表现出对于 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶和黄嘌呤氧化酶的抑制能力,且烘焙后的成品对于 α -葡萄糖苷酶、脂肪酶的抑制能力减弱,表现为 IC_{50} 值的升高。肉桂表现出较高的抑制 α -葡萄糖苷酶及脂肪酶活性的能力,推测与其中的茶多酚EGCG、茶多糖、茶褐素等含量相对较高有关。烘焙后乌龙茶对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力增强,表现为 IC_{50} 值由13.21~17.42 mg/mL降低为成品的10.26~14.38 mg/mL,其中老枞水仙成品的 IC_{50} 值最低,表示其对于黄嘌呤氧化酶的抑制能力最强。

结果表明,不同原料品种、加工工艺处理等因素会导致化学成分的差异,并进一步导致功效的差别。采用临床前或临床试验进行功效作用及量效关系的考察,通过关键成分的差异阐明其作用机制,将是后续研究的方向和重点。

参考文献

- [1] 李良清.武夷岩茶传统精制工艺的演变和传承[J].福建茶叶,2019,41(10):11,18.
- [2] 邵静娜,孙威江,葛国平,等.微波、远红外技术烘焙乌龙茶的工艺研究[J].中国食品学报,2017,17(8):34-35.
- [3] 郝志龙,陈贤玉,金心怡,等.造型工艺中烘焙时机对闽南乌龙茶品质的影响[J].福建农林大学学报:自然科学版,2013,42(4):17-21.
- [4] 程权,杨方,王丹红,等.近红外光谱技术对闽南乌龙茶品种的识别研究[J].光谱学与光谱分析,2014,34(3):78-79.
- [5] 张伟,师大亮.焙火工序对传统铁观音茶品质的影响[J].浙江农业科学,2012,9:1288-1290.
- [6] 叶琳.不同产地武夷岩茶大红袍感官品质的分析[J].现代食品,2021,15:170-172,175.
- [7] 詹宝珍,吴志锋,马春华,等.焙火时间对武夷岩茶肉桂香气品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2022,13(3):811-819.
- [8] 《中国茶树品种志》编写委员会.中国茶树品种志[M].上海科学技术出版社,2001.
- [9] 邱晓红,陈思彤,张钊,等.武夷水仙茶的品质化学特征[J].茶叶学报,2018,59(1):47-52.
- [10] 王灿明.乌龙茶安溪铁观音的审评探索[J].福建茶叶,2022,44(1):37-39.
- [11] LI D, LI C Y, HU C J, et al. Study on the accumulation mechanism of amino acids during bruising and withering treatment of oolong tea [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(47): 14071-14080.
- [12] WANG Q, HUANG J Q, ZHENG Y F, et al. Selenium-enriched oolong tea (*Camellia sinensis*) extract exerts anti-inflammatory potential via targeting NF- κ B and MAPK pathways in macrophages [J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(3): 635-642.
- [13] ZHENG Y C, HU Q C, YANG Y, et al. Architecture and dynamics of the wounding-induced gene regulatory network during the oolong tea manufacturing process (*Camellia sinensis*) [J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 12: 788469-788469.
- [14] PENG J K, DAI W D, LU M L, et al. New insights into the influences of baking and storage on the nonvolatile compounds in oolong tea: A nontargeted and targeted metabolomics study [J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131872-131872.
- [15] KANG H N, ZHOU H, YE Y S, et al. Tieguanyin oolong tea extracts alleviate behavioral abnormalities by modulating neuroinflammation in APP/PS1 mouse model of alzheimer's disease [J]. Foods, 2021, 11(1): 81-97.
- [16] 侯粲,杜昱光,王曦,等.发酵陈皮黑茶的化学成分差异及体外活性[J].食品科学,2020,41(18):226-232.
- [17] 曹永,赵谋明,赵甜甜,等.不同黑茶提取物功能性成分分

- 析及活性评价[J].食品科学,2017,38(18):54-59.
- [18] 农业部. NYT 1295-2007,荞麦及其制品中总黄酮含量的测定[S].
- [19] 国家质量监督检验检疫总局.GB/T 8313-2018,茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].
- [20] 国家质量监督检验检疫总局.GB/T 30483-2013,茶叶中茶黄素的测定-高效液相色谱法[S].
- [21] 罗学平,李丽霞,赵先明,等.不同焙火处理对四川乌龙茶香味与化学品质的影响[J].食品科学,2016,37(17):104-108.
- [22] 孙君,朱留刚,林志坤,等.不同烘焙温度对丹桂乌龙茶品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(15):11-14,19.
- [23] 黄瑜萍,王赞,郭雅玲.乌龙茶烘焙技术原理分析[J].福建茶叶,2017,39(2):24-26.
- [24] CHEN Y J, KUO P C, YANG M L, et al. Effects of baking and aging on the changes of phenolic and volatile compounds in the preparation of old Tieguanyin oolong teas [J]. *Food Research International*, 2013, 53: 732-743.
- [25] 费群勤,秦一禾,杨孟伽,等.乌龙茶粗多酚、EGCG和EGCG3”Me体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性[J].食品科学,2014,35(21):10-15.
- [26] 郭爽爽,唐磊,黄荣浩,等.陈化时间对泾阳茯砖茶品质及抑制 α -淀粉酶与脂肪酶效应的影响[J].西北林学院学报,2018,33(5):179-184.
- [27] 赵瑜,周家春,张靖伟,等.紫娟茶提取物对血管紧张素转换酶、 α -淀粉酶和胰脂肪酶的体外抑制作用[J].食品工业科技,2017,38(19): 11-20.
- [28] 林燕萍,刘宝顺,黄毅彪,等.焙火程度对武夷岩茶“大红袍”品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(22):49-54.
- [29] 黎莉.七种卷柏属药用植物抑制黄嘌呤氧化酶、脂氧化酶和环氧化酶的活性作用研究[D].武汉:湖北中医学院,2008.
- [30] 杨锐,邹小林,符宗林,等.益原素配方茶对黄嘌呤氧化酶活性的影响[J].热带农业科技,2021,44(4):38-40.
- [31] MEHMOOD A, ISHAQ M, ZHAO L, et al. Natural compounds with xanthine oxidase inhibitory activity: a review [J]. *Chemical Biology & Drug Design*, 2019, 93(4): 387-418.
- [32] ZHAO R, CHEN D, WU H L. Effects of Pu-erh ripened tea on hyperuricemic mice studied by serum metabolomics [J]. *Journal of Chromatography B*, 2017, 1068: 149-156.
- [33] ZHAO R, CHEN D, WU H L. Pu-erh ripened tea resists to hyperuricemia through xanthine oxidase and renal urate transporters in hyperuricemic mice [J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 29(C): 201-207.
- [34] 王友兰,邹雁宁,张慧.普洱茶提取物对高尿酸血症模型小鼠血尿酸的影响[J].内蒙古中医药,2016,35(4):98.
- [35] 杨锐,陈丹丹,邓晓翠,等.普洱茶降尿酸成分及其作用机制研究进展[J].中国茶叶加工,2022,1:29-36.