

茶多酚在不同加工条件下的稳定性及功能活性变化研究

熊致远

攀枝花学院, 四川 攀枝花 617000

[摘要] 围绕茶多酚在热处理、酸碱环境、光氧暴露和储藏过程中的结构转化, 分析其含量与功能活性的变化规律。文献数据显示, 绿茶加工使总酚由 119.91 降至 100.33 毫克每克, 但总抗氧化能力仅下降约百分之 7.2; 酸碱值 7.4 条件下, 两类主要儿茶素在室温 6 小时内完全降解; 400 至 800 毫克每升茶多酚溶液在 4 摄氏度下相对稳定。研究表明, 高温、偏碱和氧暴露会促进氧化、异构化与聚合, 而功能活性变化并不与总酚损失线性同步。短时加热、弱酸调节、低温避光和阻氧包装是保持品质的关键。

[关键词] 茶多酚; 加工稳定性; 抗氧化活性; 儿茶素

DOI: 10.64635/ja.2026.1566

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

Study on the Stability and Functional Activity Changes of Tea Polyphenols under Different Processing Conditions

Xiong Zhiyuan

Panzhihua University, Panzhihua, Sichuan 617000, China

Abstract: This study focuses on the structural transformations of tea polyphenols during heat treatment, exposure to acidic and alkaline environments, light and oxygen, and storage, and analyzes the corresponding changes in their content and functional activity. Literature data show that green tea processing reduces total phenolic content from 119.91 to 100.33 mg/g, while total antioxidant capacity decreases by only approximately 7.2%. At pH 7.4, two major catechins are completely degraded within 6 h at room temperature. Tea polyphenol solutions at concentrations of 400–800 mg/L remain relatively stable at 4°C. The results indicate that high temperature, alkaline conditions, and oxygen exposure promote oxidation, isomerization, and polymerization, whereas changes in functional activity are not linearly synchronized with losses in total phenolic content. Short-term heating, mildly acidic adjustment, low-temperature and light-protected storage, and oxygen-barrier packaging are key measures for maintaining product quality.

Keywords: tea polyphenols; processing stability; antioxidant activity; catechins

引言

茶多酚是茶叶中多种酚类化合物的总称, 也是影响茶汤色泽、滋味和功能活性的主要成分。茶多酚具有较强的还原性, 但这一性质也使其在加热、偏碱、光照和氧气存在时容易发生氧化、异构化及聚合反应。

食品加工既能促进茶多酚溶出, 也可能造成活性成分损失。仅依据总酚含量评价加工效果, 难以反映儿茶素组成及抗氧化能力的变化。本文结合公开试验数据, 分析不同加工条件对茶多酚稳定性和功能活性的影响, 并提出相应的工艺调控路径。

1 茶多酚的组成与稳定性基础

1.1 茶多酚组成及功能特征

茶多酚主要包括儿茶素、黄酮及其糖苷、酚酸和花色苷, 其中儿茶素是绿茶多酚的重要组成部分。儿茶素又可分为酯型和非酯型, 不同结构的氧化稳定性、溶解性及自由基清除能力并不相同。表没食子儿茶素没食子酸酯通常具有较强的还原能力, 但由于羟基数

量较多, 对温度、氧气和酸碱环境也更加敏感。

茶多酚的抗氧化作用主要体现为提供氢原子或电子、清除自由基、结合金属离子以及抑制脂质氧化链式反应。不同检测方法反映的活性环节并不相同。因此, 同一样品在自由基清除能力、总抗氧化能力和脂质氧化抑制试验中可能得到不同结果, 不能用单一指标概括全部功能。

茶叶发酵过程中, 部分儿茶素在多酚氧化酶作用下转化为茶黄素、茶红素等产物。这一过程会降低游离儿茶素含量, 却不一定完全消除抗氧化能力。新形成的氧化聚合物仍可能具有电子转移或自由基终止能力, 只是活性强度和作用方式发生改变。

1.2 加工过程中的主要转化途径

茶多酚在加工中的变化主要包括氧化、异构化、水解和聚合。氧化反应通常从酚羟基开始, 形成醌类中间体, 随后进一步缩合为褐色聚合物, 表现为茶汤亮度下降、黄色和红色加深。氧化程度较低时可能形

成具有一定抗氧化活性的中间产物, 过度氧化则会造成活性基团减少。

加热可使天然构型儿茶素转化为对应异构体。短时加热有利于细胞结构破坏和多酚溶出, 但温度过高或时间过长会加速异构化与降解。酯型儿茶素还可能发生水解, 形成非酯型儿茶素和没食子酸。因而, 加工后检测到某种儿茶素减少, 并不代表全部转化产物已经失去功能。

茶多酚还会与蛋白质、多糖、矿物离子及其他食品成分结合。此类相互作用可能减缓氧化, 也可能形成沉淀, 使可溶性茶多酚检测值下降。在茶饮料、乳制品和复合食品中, 茶多酚稳定性不能只依据纯水体系推断。

2 不同加工条件对茶多酚稳定性的影响

2.1 热处理与储藏温度

温度影响茶多酚的溶出速度和降解速度。冲泡、杀青和灭菌需要一定温度, 但长时间高温会促进氧化、异构化和聚合。茶多酚水溶液试验表明, 25 摄氏度储藏时, 色差、透光率、酸碱值和儿茶素含量的变化均明显大于 4 摄氏度储藏; 质量浓度为 400 至 800 毫克每升的溶液在 4 摄氏度下具有相对较好的稳定性^[1]。

传统绿茶加工过程中, 总酚含量由鲜叶的 119.91 毫克每克降至成品的 100.33 毫克每克, 降幅约为百分之 16.3; 总黄酮由 2.90 降至 2.04 毫克每克, 降幅约为百分之 29.7; 抗坏血酸由 4.17 降至 2.95 毫克每克, 降幅约为百分之 29.3^[2]。研究还发现, 总酚和黄酮损失主要发生在回潮阶段, 说明含水量升高后, 即使温度并非最高, 多酚氧化仍可能加快。

热加工应同时控制温度和时间。采用较高温度完成短时灭酶, 通常比在中高温下长时间保温更有利于减少持续氧化。对于茶饮料, 杀菌后应快速冷却, 避免产品在冷却段时间处于高温状态。储藏过程中, 低温能够降低反应速率, 但还需结合氧含量和包装透光性进行控制。

2.2 酸碱环境及食品基质

茶多酚通常在酸性环境中相对稳定, 在接近中性或偏碱环境中更容易发生氧化。试验显示, 在酸碱值 7.4 的缓冲体系中室温放置 6 小时后, 表没食子儿茶素和表没食子儿茶素没食子酸酯完全降解; 表儿茶素和表儿茶素没食子酸酯的降解程度则低于百分之 35^[4]。这表明不同儿茶素对酸碱条件的敏感性存在明显差异。

偏碱条件会使酚羟基更容易失去氢并发生氧化, 茶汤可能快速变黄或变褐。适度降低酸碱值有利于提高稳定性, 但不能无限酸化。过强酸味会影响产品感官质量, 也可能改变其他配料的稳定性。茶饮料的酸碱调节应综合考虑儿茶素保留、风味、微生物控制和包装材料适用性。

食品基质会改变酸碱条件的实际作用。糖、有机酸、蛋白质、维生素和金属离子均可能与茶多酚发生相互作用。在纯水中稳定的茶多酚, 加入其他配料后未必保持相同稳定性。相关研究发现, 儿茶素和茶黄素在部分溶液及软饮料中室温储藏一个月, 降解程度可达到百分之 50 以上^[4]。因此, 复合饮料必须以完整配方开展稳定性试验。

2.3 光照、氧气与质量浓度

光照能够促进茶多酚的光氧化, 使酚类化合物形成自由基和醌类中间体。透明包装长期处于自然光或货架照明环境时, 茶汤颜色加深速度通常快于避光储藏。光照与氧气还具有协同作用: 光反应产生的活性中间体可进一步与溶解氧反应, 加快儿茶素消耗。

氧气主要来自原料组织、加工设备、灌装空间和包装材料透过。搅拌、均质和输送会增加茶汤与空气的接触面积。杀菌前若溶液中含有较高溶解氧, 高温会进一步加速氧化。因此, 可在配料水处理、真空脱气、惰性气体置换和密封灌装等环节降低氧暴露。

茶多酚质量浓度也会影响稳定性。在特定水溶液试验中, 质量浓度升高后, 溶液色泽、透光率和儿茶素含量变化更加明显; 400 至 800 毫克每升在 4 摄氏度下相对稳定^[1]。但浓度效应会受到溶剂、酸碱值和其他配料影响, 不能把该区间直接作为所有食品的通用添加范围。

3 茶多酚功能活性的变化规律

3.1 含量变化与抗氧化活性的非同步性

茶多酚含量下降通常会削弱部分自由基清除能力, 但二者并非严格线性关系。传统绿茶加工使总抗氧化能力由每克 524.94 微摩尔降至 487.03 微摩尔, 降幅约为百分之 7.2, 明显低于总酚和总黄酮的下降幅度。与此同时, 抗自动氧化抑制率由百分之 52.45 提高至百分之 78.12^[2]。该结果说明, 加工形成的新成分可能继续参与氧化链终止反应。

相关分析显示, 总酚、总黄酮与总抗氧化能力的相关程度较低, 而与另一类自由基清除指标的相关程度相对较高^[2]。这意味着不同抗氧化试验对茶多酚结构变化的响应不同。加工评价不能只检测总酚, 而应

结合儿茶素组成和多种活性指标。

相同鲜叶加工成不同茶类后, 抗氧化活性也存在显著差异。绿茶和红茶清除稳定自由基的半数抑制浓度分别为每毫升 0.019 和 0.038 毫克干茶浸出物, 数值越低代表活性越强; 清除羟自由基的半数抑制浓度分别为每毫升 1.438 和 6.847 毫克^[3]。这表明不发酵加工总体上更有利于保持儿茶素型抗氧化活性。

不过, 体外自由基清除能力不能直接等同于人体功能。加工产生的聚合物可能在体外试验中具有活性, 但其消化稳定性和吸收方式与单体儿茶素不同。因此, 食品功能评价应明确区分化学抗氧化能力、消化后活性和实际生物利用程度。

4 茶多酚加工稳定性调控

4.1 加工参数与包装条件优化

茶叶和茶饮料加工应控制总体热负荷。杀青或灭菌可以采用短时处理, 并在完成后迅速降温; 提取阶段应在保证有效溶出的前提下避免长时间煮沸。对需要反复浓缩的产品, 可采用低温浓缩或缩短物料在高温设备中的停留时间。

液体产品可保持适度酸性, 并通过脱气和密闭输送减少溶解氧。包装材料宜具有较好的阻氧和遮光性能, 灌装时减少顶部空间空气。对于即饮茶和茶多酚配料, 4 摄氏度储藏比 25 摄氏度更有利于保持色泽和儿茶素含量^[1]。粉体产品则应重点控制水分、环境湿度和包装密封性。

稳定剂或包埋体系可在一定程度上隔离光、氧和金属离子, 但不能只根据初始包埋率判断效果。蛋白质和多糖包埋可能提高储藏稳定性, 也可能降低茶多酚即时释放率, 需要同时考察储藏保留率与消化释放情况。

4.2 稳定性评价体系的完善

茶多酚稳定性评价应至少包括总酚含量、主要儿茶素组成、色泽、透光率、酸碱值和溶解氧。总酚测定操作简便, 但无法区分单体儿茶素、氧化产物和其他还原性成分; 色泽变化能够反映氧化聚合, 却不能代替成分分析。

功能评价宜同时采用两种以上抗氧化方法, 并报告具体样品质量浓度。不同茶类或不同加工阶段之间, 应在相同干物质量、相同提取条件和相同反应时间下比较。若样品颜色较深, 还应设置背景吸收校正, 避免把色素吸收误认为自由基清除效果。

企业进行工艺验证时, 可设置温度、酸碱值、氧含量、光照和储藏时间组合试验, 并以儿茶素保留、颜色变化和感官接受度为综合判定依据。这样才能避免单纯提高成分保留率, 却造成滋味过涩、颜色异常或货架期不足。

5 结语

茶多酚在加工和储藏过程中会发生氧化、异构化、水解及聚合, 其稳定性受到温度、酸碱值、氧气、光照、质量浓度和食品基质共同影响。低温、适度酸性、避光和低氧环境总体上有利于儿茶素保存, 长时间高温和偏碱条件则会显著加快降解。

茶多酚含量损失与功能活性下降并不完全同步, 部分氧化或聚合产物仍可能保留特定抗氧化能力。因此, 加工评价应从单一总酚检测转向儿茶素组成、色泽、储藏稳定性和多维活性联合分析。通过缩短热处理时间、快速冷却、脱气灌装和阻氧避光包装, 可在产品安全、感官品质与功能活性之间取得较好平衡。

[参考文献]

- [1] 马梦君, 胡文卿, 傅丽亚, 等. 温度和质量浓度对茶多酚水溶液稳定性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 11-16.
- [2] 申琳, 刘开朗, 邓丽莉, 等. 中国绿茶传统加工过程中抗氧化物质含量及抗氧化活性的变化[J]. 食品科学, 2012, 33(5): 83-87.
- [3] 林玲, 龚志华, 袁冬寅, 等. 相同加工原料下的六大茶类体外抗氧化性能比较[J]. 中国农学通报, 2018, 34(2): 107-112.
- [4] SU Y L, LEUNG L K, HUANG Y, et al. Stability of tea theaflavins and catechins[J]. Food Chemistry, 2003, 83(2): 189-195.