

“粮油食品品质提升与安全控制” 特约专栏文章之一

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.02.001

# 茶多酚、抹茶对鲜湿米粉储藏过程中老化行为与消化性能影响的研究

唐煜括<sup>1</sup>, 郑波<sup>1</sup>, 徐捍山<sup>1</sup>, 陈洁<sup>2</sup>, 李琳<sup>1,3</sup>, 陈玲<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学 食品科学与工程学院, 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室, 淀粉与植物蛋白深加工教育部工程研究中心, 广东 广州 510640; 2. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001; 3. 东莞理工学院 化学工程与能源技术学院, 广东 东莞 523808)

**摘要:** 探究了茶多酚、抹茶对挤出型鲜湿米粉在 180 d 储藏期内老化行为和消化性能的影响。结果显示, 添加茶多酚与抹茶均能显著降低鲜湿米粉的硬度, 抑制老化程度。在室温环境中, 茶多酚在储藏前期 (0~60 d) 抑制鲜湿米粉老化的效果较为显著, 而抹茶在储藏中后期 (90~180 d) 的效果较好; 在 4 °C 冷藏环境中茶多酚与抹茶的老化抑制效果受到限制, 不同种类鲜湿米粉老化程度接近。与对照鲜湿米粉相比, 添加茶多酚与抹茶均能提高鲜湿米粉的慢消化成分 (slowly digestible components, SDC) 和抗消化成分 (resistant components, RC), 其中茶多酚的效果更为显著。在室温和 4 °C 储藏过程, 茶多酚与抹茶对鲜湿米粉中 RC 含量增加起到了显著的作用, 为营养健康鲜湿米粉的创制提供了基础数据。

**关键词:** 茶多酚; 抹茶; 鲜湿米粉; 老化行为; 消化性能

中图分类号: TS213.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)02-0001-06

网络出版时间: 2020-03-06 09:54:45

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.3863.TS.20200305.1705.001.html>

## Effect of tea polyphenols and matcha on aging behavior and digestibility of different types of fresh rice noodles during long-term storage

TANG Yu-kuo<sup>1</sup>, ZHENG Bo<sup>1</sup>, XU Han-shan<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>2</sup>, LI Lin<sup>1,3</sup>, CHEN Ling<sup>1</sup>

(1. School of Food Science and Engineering, Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, Ministry of Education Engineering Research Center of Starch & Protein Processing, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3. School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan, Guangdong 523808, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of tea polyphenols and matcha on the aging behavior and digestibility of extruded fresh wet rice noodles during 180 days of storage were explored. The results showed that adding of tea polyphenols and matcha can significantly reduce the hardness of fresh wet rice noodles and inhibit the aging degree. At room temperature, tea polyphenols had a significant effect on inhibiting the aging of fresh wet rice noodles in the early storage period (0~60 d), while matcha had a relatively better effect in the middle

收稿日期: 2019-12-23

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFD04012021); 广州市科技计划重点项目 (201804020036); 广东省“扬帆计划”引进创新创业团队专项资助 (2014YT02S029)

作者简介: 唐煜括, 1994 年出生, 男, 硕士研究生, 研究方向为食品组分结构与营养调控。

通讯作者: 陈玲, 1961 年出生, 女, 博士, 教授, 研究方向为食品组分结构与营养调控。

and late storage period (90~180 d). The aging-inhibiting effects of tea polyphenols and matcha at 4 °C were limited, and the aging degree of different types of fresh wet rice noodles was close at the end. In addition, compared with the raw fresh wet rice noodles, adding tea polyphenols and matcha could increase the slowly digestible components (SDC) and resistant components (RC) of fresh wet rice noodles. The effect of tea polyphenols was more significant. During storage at room temperature and 4 °C, tea polyphenols and matcha played a significant role in the RC increasing in fresh wet rice noodles. The results provided basic data for the development of nutritious and healthy fresh wet rice noodles.

**Key words:** tea polyphenols; matcha; fresh rice noodles; aging behavior; digestibility

稻谷是人类的三大主粮之一,我国是世界最大的稻谷生产国与消费国,有着悠久的稻谷加工及食用历史<sup>[1]</sup>。米粉是以大米为原料,经水洗、浸泡、粉碎或磨浆、糊化、挤丝或切条等一系列工序所制成的细丝状或宽扁状米制品<sup>[2-3]</sup>,深受广大消费者欢迎。常见的米粉一般分为干米粉和鲜湿米粉两种,由于鲜湿米粉克服了干米粉复水性差、口感不佳等缺点,具有独特的优势。目前已经开发出能在室温下长期储藏(180 d)的鲜湿米粉,该产品在保留了米粉口感爽滑、柔韧的基础上对储藏条件的要求降到了最低,因此广受消费者的好评与喜爱<sup>[4]</sup>。

鲜湿米粉中主要营养物质是淀粉,在长期储藏过程食品品质主要受到两个方面的影响。一方面,老化作用使得淀粉分子结构由糊化后的无序状态转变为部分有序状态<sup>[5]</sup>,显著影响鲜湿米粉的食用品质,使米粉失去光泽,粘弹性减弱,口感变硬,风味变差<sup>[6]</sup>。环境温度是影响老化行为的重要因素<sup>[7]</sup>,对于鲜湿米粉来说,常见的储藏温度为室温和 4 °C,故不同储藏温度对鲜湿米粉的品质有不同的影响。另一方面,由于糊化后的大米淀粉极易被人体消化吸收,食用鲜湿米粉会引起人体血糖水平的快速升高<sup>[8]</sup>,不适宜糖尿病患者食用,改变淀粉消化性能的加工工艺能极大地提升鲜湿米粉的营养价值。

研究表明,多酚类物质与淀粉大分子的作用能改变淀粉分子的结晶形态、形成更多的单螺旋结构等,影响淀粉凝胶的老化行为和消化性质,起到抗老化和抗消化的作用<sup>[9-10]</sup>。因此,在鲜湿米粉挤出过程添加含有多酚类物质的食品添加剂(如茶多酚、抹茶),可以促进其中的多酚类物质与淀粉大分子发生络合作用,达到延缓鲜湿米粉

老化和提高慢消化与抗消化成分含量的目的。

目前,关于茶多酚、抹茶对鲜湿米粉储藏过程老化行为与消化性能影响仍鲜有报道,老化行为与消化性能是决定鲜湿米粉品质和营养价值的两个重要方面。研究通过向鲜湿米粉中添加茶多酚、抹茶,考察在长期储藏过程不同鲜湿米粉质构特性和营养成分的变化规律,明晰茶多酚、抹茶对鲜湿米粉的老化行为和消化性能的影响,为产品的进一步开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

成泰粳米:产自广东广州;茶多酚(纯度 99%):上海麦克林科技有限公司;抹茶粉:贵州贵茶有限公司;猪胰酶(P-7545)、淀粉葡萄糖苷酶(A3306):美国 Sigma-Aldrich 公司;葡萄糖氧化试剂盒(GOPOD):爱尔兰 Megazyme 公司;无水乙醇:天津化学试剂厂;去离子水:广州市丛源仪器有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

TA-XT Plus 质构分析仪:英国 Stable Micro Systems 公司;SHA-C 恒温水浴振荡器:金坛峥嵘仪器有限公司;TDZ5-WS 离心机:湘仪离心机有限公司;FDU-1200 冷冻干燥机:上海爱朗仪器有限公司;UV-3802 紫外可见分光光度计:美国 UNICO 公司;BS210S/BS224S 型电子分析天平:德国 Sartorius 公司;DHS20-1 快速水分测定仪:德国 Sartorius 公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 鲜湿米粉制作工艺

粳米清洗浸泡→润米→添加质量分数为 3% 的茶多酚或抹茶→挤压熟化→老化→二次熟化→

酸浸→真空包装→灭菌→成品。

### 1.2.2 鲜湿米粉质构测定

改进后的质构分析 (TPA) 方法为<sup>[11]</sup>: 取长度 5 cm 左右样品, 测试前速度 1.0 mm/s, 测试中速度 1.0 mm/s, 测试后速度 1.0 mm/s, 测试距离 5 mm, 触发力 5 g。测试重复 5 次以上, 计算结果取平均值。

### 1.2.3 鲜湿米粉消化性能测定

参考 Englyst<sup>[12]</sup>的方法并做适当调整, 作为体外模拟测定样品消化性能的实验方法。将猪胰酶 (3 g) 与 20 mL 去离子水均匀混合, 在 3 000 g 下离心 15 min。将 13.5 mL 上清液与 225 U 的淀粉葡萄糖苷酶和 1 mL 的去离子水混合, 制备酶溶液。将 1 g 干基样品粉末分散在 20 mL 乙酸盐缓冲溶液 (0.1 M, pH 5.2) 中, 该溶液含有 4 mM CaCl<sub>2</sub>, 然后加入 5 mL 含有胰酶和淀粉葡萄糖苷酶的新鲜酶溶液。将样品放在 37 °C 水浴中连续摇动 (190 r/min) 孵育, 在 20 和 120 min 时, 分别取出 0.5 mL 等分试样的水解溶液, 立即与 20 mL 70% 乙醇混合。用离心机以 3 000 g 的速度离心 5 min, 收集上清液, 用 GOPOD 法测定消化期间释放的葡萄糖含量。每个样品进行三次重复实验。

### 1.3 数据分析

所有数据均至少独立平行测定 3 次, 数据结果以平均值±标准差 (mean±SD) 的形式表示, 使用 Origin 8.5 软件绘图, 采用 SPSS 24.0 软件对试验数据进行统计学分析, 通过独立样本 t-检验进行显著性分析,  $P < 0.05$  为有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶多酚和抹茶对鲜湿米粉储藏过程老化行为影响

#### 2.1.1 室温储藏过程茶多酚和抹茶对鲜湿米粉老化行为的影响

质构分析 (Texture Profile Analysis, TPA) 中的硬度值 (Hardness) 可以表征鲜湿米粉储藏过程淀粉的老化行为, 硬度值越大, 老化程度越高<sup>[13-15]</sup>。图 1a 显示, 在储藏的起始阶段 (0 d) 对照鲜湿米粉具有较大的硬度值, 添加茶多酚的鲜湿米粉硬度值显著下降, 说明挤出工艺能有效促进多酚与淀粉分子中的直链淀粉螺旋结构和支链淀粉长

侧链结构的相互作用, 形成分子间与分子内氢键<sup>[10]</sup>, 降低鲜湿米粉的老化程度。添加抹茶不会降低硬度值, 在 0 d 时对于抑制老化没有显著作用, 可能与抹茶中茶多酚含量较低 (约 20%) 有关<sup>[16]</sup>。

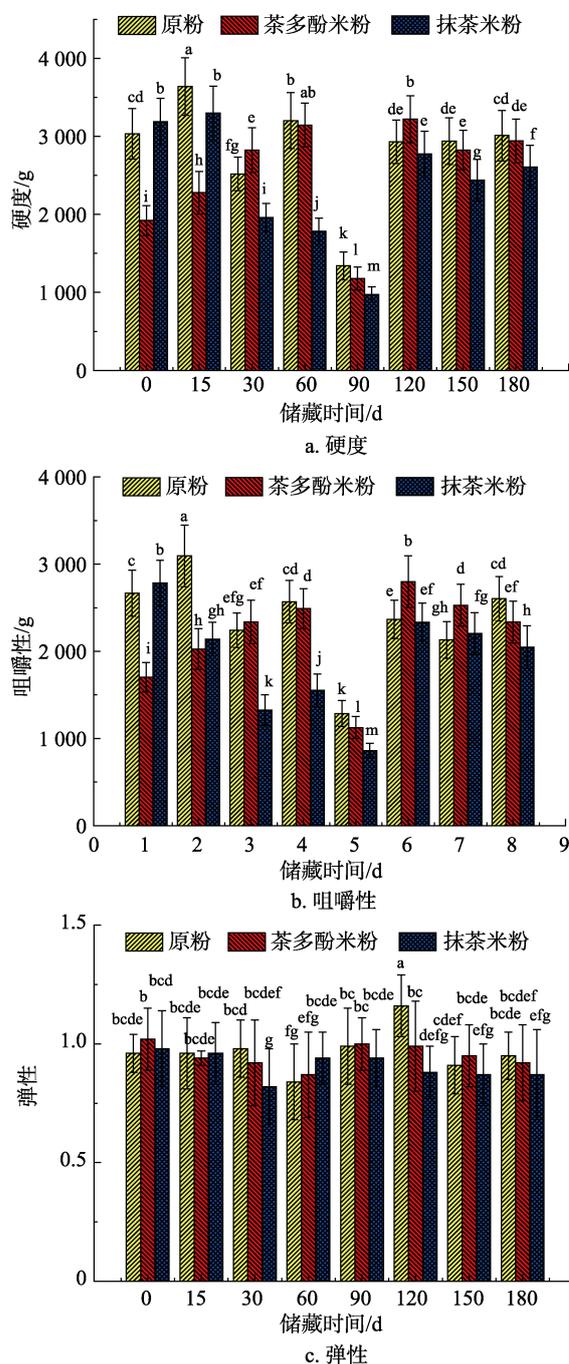


图 1 室温储藏过程不同种类鲜湿米粉的 TPA 参数变化

在 0~180 d 的室温储藏过程, 茶多酚能在储藏初期 (15 d 内) 显著降低鲜湿米粉的老化作用 ( $P < 0.05$ ), 而在储藏时间为 30~180 d 的时段内, 添加茶多酚的米粉与对照米粉的硬度值 (老化程度) 基本一致。添加抹茶米粉在储藏前期表现较弱的老化抑制能力, 在储藏后期抑制老化的效果

较为明显,可能由于抹茶粉中除茶多酚外还含有其他如氨基酸、单宁以及咖啡因等物质<sup>[17]</sup>,这些物质与淀粉分子的相互作用形式与茶多酚不同有关。

如图 1b 所示,通过分析鲜湿米粉样品的咀嚼性变化可以发现,所有样品的咀嚼性值与硬度值基本保持了相同的变化趋势,相关性较好 ( $R^2 \geq 0.8000$ ),因此咀嚼性也可用来表征鲜湿米粉储藏过程淀粉老化行为的变化情况。弹性是样品经过第一次压缩后能够恢复成初始状态的程度,对比不同样品的弹性值,如图 1c,随储藏时间的延长不同样品的弹性值变化程度较小,说明茶多酚、抹茶的添加对鲜湿米粉在储藏过程弹性口感的影响较小,鲜湿米粉能够保持爽弹的口感。

### 2.1.2 4 °C 储藏过程多酚和抹茶对鲜湿米粉老化行为的影响

研究表明,在 4 °C 环境下,大米淀粉凝胶表现出最快的老化速度<sup>[15,18-20]</sup>。实验对三种不同鲜湿米粉在 4 °C 下进行长期储藏,图 2a 为硬度值变化情况。添加茶多酚的鲜湿米粉在储藏中期(90~120 d)硬度值显著下降 ( $P < 0.05$ ),而添加抹茶的鲜湿米粉硬度值则在 30 d 和 120 d 时大幅降低 ( $P < 0.05$ )。但从整体看,与室温储藏条件对比,4 °C 储藏能加速米粉老化。说明 4 °C 冷藏环境在一定程度上减弱了茶多酚、抹茶对鲜湿米粉老化行为的抑制效果。

图 2b 和图 2c 为 4 °C 冷藏过程不同种类鲜湿米粉在 0~180 d 内咀嚼性和弹性的变化情况。结果显示,不同样品咀嚼性值与硬度值之间的相关性依然较强 ( $R^2 \geq 0.8000$ ),说明在 4 °C 可以用咀嚼性数值表征鲜湿米粉的老化程度。同时,在该储藏条件下,对同一种样品,弹性变化基本也不显著。综合分析 TPA 参数变化可以发现,4 °C 环境条件对鲜湿米粉的质构参数和淀粉老化行为有显著影响,样品表现出均一化的特点。茶多酚和抹茶对鲜湿米粉的抑制老化作用在室温环境下表现更明显。

## 2.2 茶多酚和抹茶对鲜湿米粉储藏过程消化性能的影响

### 2.2.1 室温储藏过程茶多酚和抹茶对鲜湿米粉消化性能的影响

鲜湿米粉消化性能的变化决定了其营养功

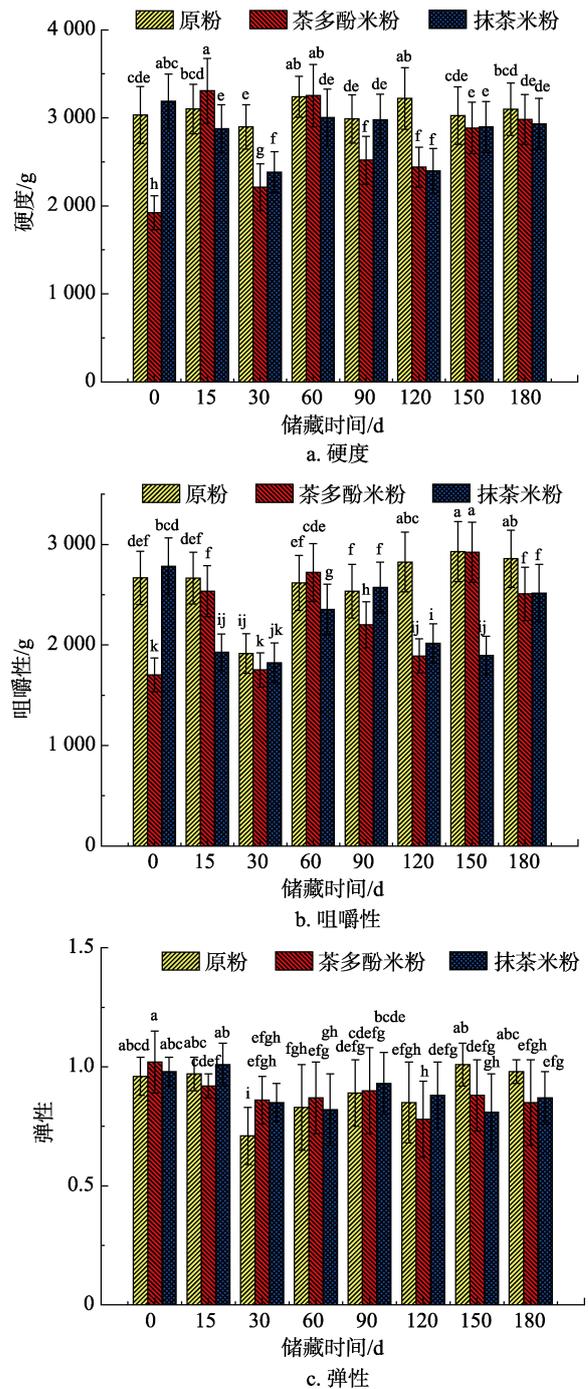


图 2 4 °C 冷藏储藏过程不同种类鲜湿米粉的 TPA 参数变化

能。由于淀粉为鲜湿米粉中的主要成分,因此鲜湿米粉的消化性能可认为由淀粉的消化性能所决定。依据鲜湿米粉在体外模拟环境中消化速率不同,可被分类为快消化成分 (rapidly digestible components, RDC),慢消化成分 (slowly digestible components, SDC) 和抗消化成分 (resistant components, RC) <sup>[21-22]</sup>。室温储藏过程不同种类鲜湿米粉消化性能的变化情况如表 1 所示。

在储藏期为 0 d 时,与对照米粉相比,添加茶多酚与抹茶均能降低鲜湿米粉中 RDC 的含量,

由 91.89% 分别降至 82.97% 和 85.52%。RC 含量升高幅度大于 SDC，可能是由于多酚类物质主要参与了淀粉单螺旋的形成导致的。

在储藏过程的各个阶段，添加茶多酚和抹茶样品的 SDC+RC 含量均高于对照鲜湿米粉。储藏前期 (0~60 d)，添加茶多酚鲜湿米粉的 RDC 含量持续降低，RC 含量不断升高，在 60 d 时达到 23.11%。在室温储藏的后期 (120~180 d)，样品的 RDC 含量又显著下降，同时 SDC 含量比 RC 含量升高幅度更大。说明添加茶多酚的鲜湿米粉在储藏前期主要生成 RC 而在储藏后期则主要生成 SDC。对于添加抹茶的鲜湿米粉，其变化规律与添加茶多酚的样品类似，但在储藏的最后阶段 (150~180d)，SDC 向 RDC 和 RC 转化，使得 RC 的含量 (24.97%) 最终大于 SDC 的含量 (20.54%)。

## 2.2.2 4 °C 冷藏储藏过程鲜湿米粉消化性能的变化

表 2 为 4 °C 冷藏过程不同种类鲜湿米粉消化性能的变化情况。结果显示在 4 °C 冷藏过程中，不同样品均表现出了 RDC 含量持续、显著下降的趋势 ( $P<0.05$ )。其中对照鲜湿米粉的 SDC 含量持续升高，RC 含量在冷藏期为第 60 d 时达到最高 18.80%。而添加茶多酚和抹茶的鲜湿米粉，RC 含量均在第 180 d 时达到最高，分别为 23.61% 和 23.57%，可见在 4 °C 环境中茶多酚与抹茶也能提升鲜湿米粉抗消化性能。在相同时间点进行横向比较可以发现，添加茶多酚的鲜湿米粉 RC 含量均高于其他两种样品，可能是由于较多的多酚类物质对淀粉水解酶活性形成了竞争抑制，也有可能小分子进入淀粉分子螺旋空腔或改变了聚集态结构，使其更不容易被消化酶水解所导致的<sup>[23-24]</sup>。

表 1 室温储藏过程不同种类鲜湿米粉消化性能的变化

时间/d	对照米粉			茶多酚米粉			抹茶米粉		
	RDC	SDC	RC	RDC	SDC	RC	RDC	SDC	RC
0	91.89±0.26 <sup>a</sup>	3.49±0.36 <sup>d</sup>	4.62±0.47 <sup>c</sup>	82.97±0.57 <sup>a</sup>	4.91±0.56 <sup>c</sup>	12.13±2.73 <sup>d</sup>	85.52±1.06 <sup>a</sup>	6.04±0.74 <sup>c</sup>	8.43±0.95 <sup>c</sup>
15	75.44±1.37 <sup>bc</sup>	14.22±1.17 <sup>bc</sup>	10.34±0.79 <sup>d</sup>	69.60±0.93 <sup>b</sup>	12.45±2.08 <sup>b</sup>	17.95±1.26 <sup>c</sup>	78.21±0.62 <sup>b</sup>	8.16±2.08 <sup>de</sup>	13.64±1.47 <sup>d</sup>
30	76.62±1.45 <sup>b</sup>	10.19±2.26 <sup>cd</sup>	13.20±1.23 <sup>b</sup>	66.59±1.07 <sup>c</sup>	13.87±1.08 <sup>b</sup>	19.53±0.03 <sup>c</sup>	71.68±1.90 <sup>c</sup>	11.76±1.62 <sup>d</sup>	16.55±0.28 <sup>cd</sup>
60	65.75±0.34 <sup>e</sup>	9.66±0.29 <sup>d</sup>	24.59±0.63 <sup>a</sup>	65.98±2.28 <sup>c</sup>	10.91±2.20 <sup>b</sup>	23.11±0.26 <sup>b</sup>	68.59±1.69 <sup>d</sup>	11.31±1.22 <sup>d</sup>	20.10±0.51 <sup>b</sup>
90	68.14±0.29 <sup>d</sup>	16.70±2.07 <sup>b</sup>	15.17±1.79 <sup>c</sup>	68.85±0.76 <sup>c</sup>	10.66±2.82 <sup>b</sup>	20.48±2.16 <sup>bc</sup>	72.28±1.16 <sup>c</sup>	11.21±2.29 <sup>d</sup>	16.51±1.67 <sup>cd</sup>
120	73.53±2.49 <sup>c</sup>	12.12±4.48 <sup>cd</sup>	14.35±2.04 <sup>c</sup>	69.50±0.80 <sup>b</sup>	10.27±0.65 <sup>b</sup>	20.23±0.41 <sup>c</sup>	63.97±2.26 <sup>c</sup>	18.54±4.98 <sup>c</sup>	17.49±3.59 <sup>bc</sup>
150	50.12±1.70 <sup>e</sup>	35.48±3.46 <sup>a</sup>	14.39±2.11 <sup>c</sup>	47.86±1.45 <sup>d</sup>	26.49±3.50 <sup>a</sup>	25.64±2.27 <sup>a</sup>	49.71±1.80 <sup>e</sup>	27.68±1.70 <sup>a</sup>	22.61±1.61 <sup>a</sup>
180	54.64±1.67 <sup>f</sup>	28.28±1.89 <sup>b</sup>	17.07±2.05 <sup>b</sup>	46.62±1.66 <sup>d</sup>	29.58±2.51 <sup>a</sup>	23.79±1.2 <sup>a</sup>	54.48±1.96 <sup>f</sup>	20.54±1.83 <sup>b</sup>	24.97±1.50 <sup>a</sup>

注：数据表示为平均值 ± 标准偏差，同一列中不同的字母表示有显著性差异 ( $P<0.05$ )

表 2 4 °C 冷藏储藏过程不同种类鲜湿米粉消化性能的变化

时间/d	对照米粉			茶多酚米粉			抹茶米粉		
	RDC	SDC	RC	RDC	SDC	RC	RDC	SDC	RC
0	91.89±0.26 <sup>a</sup>	3.49±0.21 <sup>c</sup>	4.62±0.47 <sup>d</sup>	82.97±0.57 <sup>a</sup>	4.91±0.56 <sup>c</sup>	12.13±2.73 <sup>d</sup>	85.52±1.06 <sup>a</sup>	6.04±0.74 <sup>c</sup>	8.43±0.95 <sup>d</sup>
15	82.26±0.25 <sup>b</sup>	8.98±0.08 <sup>d</sup>	8.76±0.17 <sup>b</sup>	74.12±1.07 <sup>c</sup>	7.59±1.77 <sup>d</sup>	18.29±1.45 <sup>b</sup>	72.02±2.04 <sup>d</sup>	9.36±2.54 <sup>d</sup>	18.62±1.61 <sup>b</sup>
30	73.87±1.37 <sup>bc</sup>	12.51±0.17 <sup>c</sup>	13.62±1.66 <sup>b</sup>	71.14±0.05 <sup>c</sup>	6.36±0.29 <sup>de</sup>	22.50±0.28 <sup>a</sup>	82.48±1.29 <sup>b</sup>	2.24±0.22 <sup>f</sup>	15.27±0.63 <sup>c</sup>
60	68.63±2.93 <sup>c</sup>	12.56±3.34 <sup>cd</sup>	18.80±0.40 <sup>a</sup>	68.47±0.75 <sup>f</sup>	12.12±0.70 <sup>c</sup>	19.41±0.55 <sup>b</sup>	65.38±0.92 <sup>c</sup>	16.22±2.08 <sup>c</sup>	18.40±1.16 <sup>b</sup>
90	77.97±2.46 <sup>cd</sup>	15.89±3.15 <sup>bc</sup>	6.14±0.95 <sup>cd</sup>	76.39±0.31 <sup>b</sup>	8.06±1.14 <sup>d</sup>	15.55±1.37 <sup>c</sup>	62.83±2.03 <sup>f</sup>	28.23±1.84 <sup>a</sup>	8.93±0.56 <sup>d</sup>
120	75.76±1.23 <sup>d</sup>	17.66±2.17 <sup>b</sup>	6.58±0.93 <sup>c</sup>	72.95±0.52 <sup>d</sup>	4.08±0.05 <sup>c</sup>	22.96±0.09 <sup>a</sup>	74.62±0.46 <sup>c</sup>	10.63±0.63 <sup>d</sup>	14.74±0.73 <sup>c</sup>
150	47.67±1.08 <sup>f</sup>	36.67±2.08 <sup>a</sup>	15.66±2.39 <sup>b</sup>	45.90±1.96 <sup>h</sup>	30.63±2.91 <sup>a</sup>	23.46±2.14 <sup>a</sup>	55.53±1.07 <sup>e</sup>	20.91±3.17 <sup>b</sup>	23.55±2.09 <sup>a</sup>
180	48.36±1.84 <sup>f</sup>	37.04±2.72 <sup>a</sup>	14.60±1.41 <sup>b</sup>	50.87±2.85 <sup>e</sup>	26.51±2.48 <sup>b</sup>	23.61±1.78 <sup>a</sup>	53.83±1.09 <sup>e</sup>	22.79±2.75 <sup>b</sup>	23.57±1.84 <sup>a</sup>

注：数据表示为平均值 ± 标准偏差，同一列中不同的字母表示有显著性差异 ( $P<0.05$ )

## 3 结论

主要探究了茶多酚和抹茶对鲜湿米粉储藏过程老化行为与消化性能影响。实验结果显示茶多

酚能显著降低鲜湿米粉的硬度和咀嚼性，保持湿米粉的弹性。在室温储藏过程茶多酚和抹茶均能抑制鲜湿米粉的老化行为，且茶多酚的效果更明

显,而 4℃冷藏环境会减弱这种抑制作用。其次,在制作过程中添加茶多酚与抹茶均能显著提高鲜湿米粉中 SDC 和 RC 含量;在储藏的不同阶段,添加茶多酚和抹茶具有促进 RDC 向 SDC 与 RC 转化的作用,添加茶多酚的鲜湿米粉具有最高的 RC 含量。研究结果可为营养健康米粉的创制提供基础数据,有助于推动米粉等主粮食品产业化发展。

#### 参考文献:

- [1] 李哲,丁士军,陈风波. 世界主要稻米生产国和进出口国的稻米生产贸易分析[J]. 国际贸易问题, 2005(6): 49-53.
- [2] HORMDOK R, NOOMHORM A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(10): 1723-1731.
- [3] BHATTACHARYA M, ZEE S, CORKE H. Physicochemical properties related to quality of rice noodles[J]. Cereal chemistry, 1999, 76(6): 861-867.
- [4] 向忠琪,刘曼,周文化,等. 米糠膳食纤维对鲜湿米粉食用品质的影响[J]. 粮食与油脂,2016(11):58-61.
- [5] 曹立松,刘亚伟,刘洁,等. 淀粉老化测定技术研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2014, 12(3): 30-34.
- [6] 章焰. 方便米粉的抗老化及品质控制研究[D]. 华中农业大学, 2004.
- [7] CHUNG H J, LIM S-T. Physical aging of glassy normal and waxy rice starches: effect of aging temperature on glass transition and enthalpy relaxation[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(2): 205-211.
- [8] FREI M, SIDDHURAJU P, BECKER K. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines[J]. Food Chemistry, 2003, 83(3): 395-402.
- [9] FORESTER S C, GU Y, LAMBERT J D. Inhibition of starch digestion by the green tea polyphenol, (-)-epigallocatechin-3-gallate[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2012, 56(11): 1647-1654.
- [10] XIAO H, QINLU L, GAO-QIANG L, et al. Evaluation of black tea polyphenol extract against the retrogradation of starches from various plant sources[J]. Molecules, 2012, 17(7): 8147-8158.
- [11] 赵敏. 淀粉类凝胶食品制备及特性研究[D]. 陕西科技大学, 2014.
- [12] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(Suppl 2): S33.
- [13] XIA W, FU G, LIU C, et al. Effects of cellulose, lignin and hemicellulose on the retrogradation of rice starch[J]. Food Science & Technology Research, 2014, 20(2): 375-383.
- [14] 邓峰. 糯米淀粉老化特性及影响因素研究[D]. 河南工业大学, 2014.
- [15] 夏文. 低温贮藏下轻碾米老化特性的研究及机理初探[D]. 南昌大学, 2014.
- [16] WEISS D J, ANDERTON C R. Determination of catechins in matcha green tea by micellar electrokinetic chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2003, 1011(1-2): 173-180.
- [17] GOTO T, HORIE H, OZEKI Y, et al. Chemical composition of Japanese green teas on market[J]. Chagyo Kenkyu Hokoku (Tea Research Journal), 1994(80): 23-28.
- [18] 杜先锋,宛晓春,许时婴,等. 葛根淀粉老化动力学的研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1145-1149.
- [19] 周显青,邓峰,陈志芳,等. 糯米淀粉的老化及其调控技术研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014(2): 104.
- [20] 赖健,吴冰,张渭. 储藏温度对膨化马铃薯α淀粉老化变化的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2005(6): 26-27.
- [21] ENGLYST K N, ENGLYST H N. Carbohydrate bioavailability[J]. British Journal of Nutrition, 2005, 94(1): 1-11.
- [22] ENGLYST H N, KINGMAN S, CUMMINGS J. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European journal of clinical nutrition, 1992, 46: 33-50.
- [23] WU Y, CHEN Z, LI X, et al. Effect of tea polyphenols on the retrogradation of rice starch[J]. Food Research International, 2009, 42(2): 221-225.
- [24] ]FORESTER S C, GU Y, LAMBERT J D. Inhibition of starch digestion by the green tea polyphenol,(-)-epigallocatechin-3-gallate[J]. Molecular nutrition & food research, 2012, 56(11): 1647-1654. ☞

(审核:林家永)