



论著 • Article

马茶口含片的加工工艺及其抗氧化活性研究

黄明秀 李小龙 孙万基 黄双全

(贺州学院 食品与生物工程学院 广西 贺州 542899)

摘要 以马蹄淀粉为原料，辅以昭平红茶粉、马蹄皮提取物、蔗糖及硬脂酸镁，采用湿颗粒法制备红茶含片，在传统茶含片的基础上进行原料及风味的创新，以期望开发一款兼具马蹄风味和红茶香气，又具有保健功能的口含片。以感官评分为主要指标来确定马茶口含片的最佳工艺；采用清除 DPPH 自由基，探索其抗氧化活性。结果表明，成品含 27% 马蹄皮提取物、5% 红茶粉、30% 蔗糖、0.6% 硬脂酸镁和 37.4% 马蹄淀粉口感最佳。最佳口感的口含片在浓度为 0.032 mg/mL 的浓度下，对 DPPH 自由基清除率 48.32%，说明口含片具有良好的抗氧化活性。所制得的马茶含片集营养和保健一体，口感清甜，清香宜人，兼具红茶和马蹄的风味，以及清热解毒、生津止渴的功效。

关键词 马蹄皮提取物；红茶；口含片；加工工艺；抗氧化活性

文章编号 019-2025-0486

Preparation and Antioxidant Activity of Macha Buccal Tablets

Huang Mingxiu, Li Xiaolong, Sun Wanji, Huang Shuangquan

(College of Food and Biotechnology, Hezhou University, Hezhou 542899, China)

Abstract Using water chestnut starch as material, supplemented with Zhaoping black tea powder, water chestnut peel extract, sucrose, and magnesium stearate, a wet granulation method was used to prepare black tea buccal tablet. Based on traditional tea buccal tablet, innovative materials and flavors were developed in order to develop a buccal tablet that combines water chestnut flavor and black tea aroma, as well as health benefits. Using sensory evaluation as the main indicator to determine the optimal process for Macha buccal tablet; Exploring its antioxidant activity by scavenging DPPH free radicals. The results showed that the finished product contained 27% water chestnut peel extract, 5% black tea powder, 30% sucrose, 0.6% magnesium stearate, and 37.4% water chestnut starch, which had the best taste. At a concentration of 0.032 mg/mL, the best tasting buccal tablet showed a DPPH free radical scavenging rate of 48.32%, indicating that the buccal tablet has good antioxidant activity. The Macha buccal tablet produced integrate nutrition and health benefits, with

收稿日期：2025-01-24 录用日期：2025-04-25

通讯作者：黄双全，单位：贺州学院 食品与生物工程学院 广西 贺州

基金项目：贺州学院校级项目，马茶口含片研制及其抗氧化活性研究（编号：S202211838078）

a sweet and refreshing taste, a pleasant fragrance, and the flavors of black tea and water chestnuts, as well as the effects of clearing heat, detoxifying, generating fluids, and quenching thirst.

Keywords Extract of water chestnut peel; Black tea; Buccal tablet; Processing technology; Antioxidant activity

人们生活方式向着多元化的方向发展，现代食品加工技术的不断推广应用，研制新型茶叶产品成为许多大型茶叶企业的发展研究方向，传统的泡茶饮服方式使用茶叶，慢慢发展到各种各样的其他茶叶制品。茶含片就是这类产品中的拥有相当不错口碑的一种，将传统茶的转“喝”为“含”，食用简单，携带方便，在没有开水的情况下也可以品茶，以开发茶叶的更多用途^[1]。并且伴随着人们生活水平的逐步提高，对身体健康越来越重视，因此，营养保健的茶含片更受人们青睐。

贺州昭平县，主要盛产优质的早春茶为主，全县区域共有茶叶企业过百家以上，茶叶种植面积达十六万亩，拥有“中国名茶之乡”的称号^[2]。在近年的扶贫政策，和现行的乡村振兴政策下，还在不断扩增。但这些茶叶大部分都是经粗加工后就直接批发销售，未能进一步提高它的价值，因此也未能进一步提高当地企业和农民的收入。红茶是现采的茶鲜叶经过萎凋（脱水）、揉捻、发酵、干燥等几大工艺制成，品质特征一般为红汤红叶，香甜、味醇。红茶是全球消费量最大的茶类，是因为红茶中含有 400 余种香气物质，这些复杂的香气物质使红茶形成花果香、蜜糖香等独特香型。再者，其内含的儿茶素类、茶红素类、茶黄素类、茶多糖类、黄酮、糖苷、茶多酚等具有抗氧化、降血糖、抗病毒、预防心脑血管疾病等保健功效^[3]。红茶内含的 8 种儿茶素总量和 3 种茶黄素，是一个具有清除自由基、络合重金属、抗前列腺癌、降血脂、抑制肥胖等功效的茶品种^[4]，因此，本实验选择以昭平红茶为实

验原料。

《本草纲目》中提到，马蹄具有消食化痰、补肺凉肝、降火等各种功效。数据显示，广西贺州乃是我国家最大的马蹄生产基地^[5]。马蹄是一种优良的地下球茎果蔬，是我国极具特色的集营养和保健于一体的特色经济农作物，一直都有“江南人参”和“地下雪梨”的古传美誉，深受人们喜爱^[6-7]。现代医学研究证明马蹄具有诸如抗肿瘤、抑菌等功效^[8]。马蹄目前的加工方式较为简单，一般是削皮，经加工保鲜制成罐头、或者制粉做糕点等。因为马蹄的构造特殊，在粗糙的削皮工艺中，被削除的马蹄皮重量能够占到鲜马蹄的重量 1/5-1/4^[9]。目前，被削除的马蹄皮，一般只作为饲料，并没有特别优良的技术将马蹄皮进行充分有效利用。马蹄活性物质主要集中在马蹄皮，在马蹄果皮与果肉之间的组织中富含具有较高抗氧化活性成分的是马蹄英^[10]，还含有甾醇类、黄酮类、有机酸类和苯丙素等多达 11 种抑菌、抗氧化活性物质^[11-13]。研究表明，马蹄皮的黄酮类含量高达 1.59%^[14]，酚类含量将近 4.86%^[15]。马蹄皮干物质中富含糖类，其总糖含量高达 54.87%，总膳食纤维含量高达 13.03%^[16]。

本试验结合马蹄粉营养成分和贺州马蹄皮中的活性物质以及昭平红茶特有的风味，旨在研制一款具有营养保健疗效的马茶口含片，既能充分利用当地马蹄加工过程产生的马蹄皮废弃物，又能进一步提高昭平红茶的价值，从而提高当地企业和农民的收入，促进马蹄产业与茶叶产业的融合发展。

贺州市昭平全县，年产干茶量 7000 多吨，

这些茶叶大部分都是经粗加工后就直接批发销售，未能进一步提高它的价值，也未能进一步提高当地茶企业和农民的收入。而要提高当地茶企业和农民的收入又没有太多耕地去扩大茶树的种植，因此只有对茶叶进行深加工，制作成其他更高价值的茶制品，去提升茶叶本身的价值；与此同时，如果茶叶进行深加工消耗了一部分茶叶，那么市场上的茶叶就会减少，茶叶的价格自然也会提高。

十年前就已有文学报道广西贺州市马蹄种植面积达 4878 万平方米，年产量超过了 16 万吨，单独亩产量最高达到了 4000 kg，被削除的马蹄皮约占鲜果重量 1/5-1/4；按照最少的来计算每年将产生 $16 \text{ 万吨} \times 1/5 = 3.2 \text{ 万吨}$ 马蹄皮废弃物。马蹄皮的内含物质丰富，拥有诸多功效。把这些马蹄皮变废为宝，延长企业的生产线，能够很好地带动当地人民的就业，增加企业和农民的收入，助力乡村振兴。

因此，本项目结合贺州马蹄皮的活性物质以及昭平红茶特有的风味，研制一款方便食用，且具有营养保健疗效的马茶口含片，解决产品单一的产业问题，这对当地马蹄产业和茶产业的发展具有重要意义。

随着中国实体经济的迅速推进发展，现代人们生活的节奏进一步加快，新一代的快速型消费群体在不断壮大，使方便快捷式食品拥有非常大的发展前景。茶含片就是其中的一种，将传统的茶转“喝”为“含”，食用简单，携带方便，在没有水的情况下也可以品茶。伴随着人们生活水平的提高，对健康重视程度越来越高。因此，一款兼具马蹄风味和昭平红茶香气，又具有保健功效的马茶口含片具有广阔市场前景。

1 试验材料与主要仪器设备

1.1 试验材料

马蹄粉从超市购买而得；红茶粉，购买昭平茶叶经过粉碎过 200 目筛而得；马蹄皮提取物，通过马蹄的皮晒干，经 70% 乙醇浸提冷冻干燥而得；添加剂硬脂酸镁从郑州金朋食化公司购买；95% 食品级乙醇从河南鑫河阳酒精有限公司购买；1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl 从东京化成工业株式会社购买；甲醇从西陇化工公司购买

1.2 主要仪器设备

V-1100D 型 可见分光光度计（上海美谱达仪器有限公司）；YP-1400 压片机（上海顺仪实验设备有限公司）；FDU-1200F 冷冻干燥机（上海旦鼎贸易有限公司）；R-1020 旋转蒸发仪（郑州长城科工贸有限公司）；DFY-600 摆摆式高速万能粉碎机（永康市铂欧五金制品有限公司）

2 实验方法

2.1 操作要点

(1) 制备马蹄皮提取物：马蹄皮→筛选→晒干→粉碎→70% 食品级乙醇浸泡→过滤→减压浓缩→马蹄皮提取膏状物→冷冻干燥→马蹄皮提取物。

(2) 浸泡：按料液比（重量）1:5 将马蹄皮置于提取罐中加入浓度为 70% 的乙醇进行浸泡，每次浸泡 24 小时，重复浸泡 3 次。分别过滤收集各次浸提液，合装在一瓶后进行浓缩。

(3) 浓缩：为更好保持马蹄皮的有效活性成分，使用低温度减压强浓缩，条件为：45 ~ 50°C，浓缩至膏状物。

(4) 辅料混合：马蹄淀粉与马蹄皮提取物混合均匀后，再依次按量加入糖粉、硬脂酸镁。

(5) 包装：压成片后装入玻璃瓶，采用紫

外线对其进行灭菌。

2.2 马茶口含片制作工艺路线

见图 1, 以马蹄淀粉为原料, 将贺州昭平红茶粉碎成粉末, 马蹄皮晒干用 50% 的食品级乙醇提取, 减压浓缩, 冷冻干燥得的提取物, 蔗糖经粉碎得糖粉, 硬脂酸镁, 柠檬酸, 75% 乙醇等混匀后, 经压片机制得马茶口含片, 然后采用紫外灭菌一个小时、装瓶, 以感官评分为主要指标来确定马茶口含片的最佳配方和工艺。通过采用 DPPH 自由基清除率来探究马茶口含片抗氧化性强弱。

2.3 马茶口含片质量评价

2.3.1 马茶口含片辅料添加量的选择

在参阅相关文献后设置的基础配方马蹄淀粉为原料, 辅料为: 为 25% 的马蹄皮提取物的、5% 茶粉、35% 蔗糖、和 0.5% 硬脂酸镁^[17], 通过单因素试验将不同比例进行探究, 按照拟定的感官评定标准进行感官评定, 重复三次, 以感官审评得分平均分最高组别为最佳马茶口含片配方。

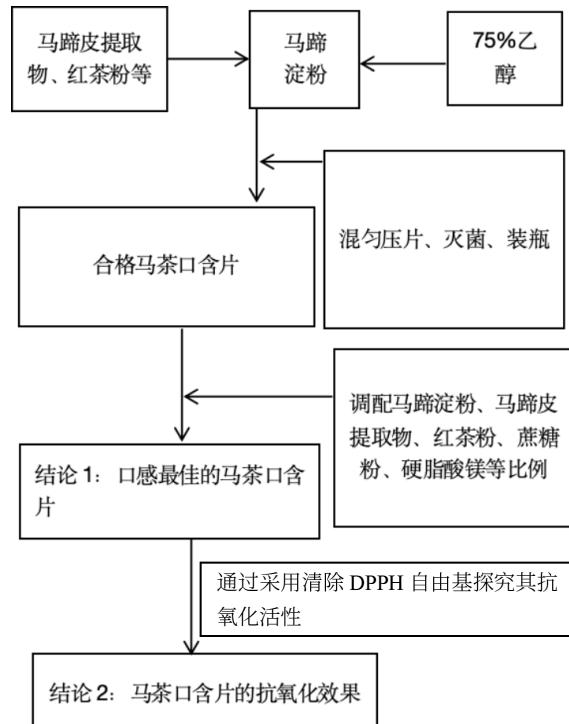


图 1 马茶口含片制作工艺路线图

Fig. 1 Process roadmap for making Ma Cha oral lozenges

表 1 马茶口含片感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria of matcha mouth lozenge tablets

项目	评分标准	分值
形态与色泽 (30 分)	整体呈亮金黄色, 均一无异色、形态完整光滑、断面细腻紧密	25~30 分
	全体呈亮黄色, 色稍不匀, 形态完整、但表面不光滑、断面组织基本密实	15~25 分
	全体呈黄白色, 质地不均, 形态不很完整、有碎裂现象, 表面粗糙	1~15 分
风味 (30 分)	既有马蹄的香醇浓郁, 又有红茶风味, 马蹄味与茶味和谐, 甜味适中	20~30 分
	马蹄味茶味稍弱, 甜味淡薄	10~20 分
	马蹄味茶味弱, 有杂味	5~10 分
口感 (40 分)	爽口、细腻、入口柔顺	30~40 分
	稍有糊口感, 无粉粒感, 较显粗糙	20~30 分
	糊口, 较重粉粒感	10 ~ 20 分

2.3.2 马茶口含片感官评价标准

马茶口含片的研制过程中，依据各种配料及压片后成型的较好成品，对照感官标准进行评定。挑选 10 个以上具有一定经验的评定人员组成评定小组，按照感官标准进行感官评定打分，得到最终汇总得分值，所得分值最高组的配比，将作为马茶口含片生产的参考配方，其评分的感官标准如表 1。

设定单因素发酵试验的梯度为：马蹄皮提取物添加量（20%、23%、27%、30%、33%），茶粉添加量（1%、3%、5%、7% 和 9%），蔗糖添加量（30%、35%、40%、45% 和 50%），硬脂酸镁添加量（0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和 1.0%）以感官评价方法为评定指标，给出两组评分（形态与色泽、风味评分、口感），得出最佳添加量组合。

2.4 马茶含口片体外抗氧化实验

DPPH[·]在有机溶剂中是一种非常稳定的自由基，是检测有无抗氧化活性的物质，在 517 nm 波长处有最大吸收峰值。DPPH[·]浓度与吸光度值呈现线性关系。在 DPPH[·]-甲醇溶液中添加了抗氧化剂之后，可以与自由基结合，使得自由基数量下降，表现为其在 517 nm 波长处的吸光度减小^[18]。所以，可通过在 517 nm 处

波长处检测马茶口含片对 DPPH[·]自由基的清除效果，进而计算马茶口含片的抗氧化能力。

公式：

$$\text{DPPH 自由基清除率} (\%) = \left[1 - \left(\frac{A_i - A_j}{A_0} \right) \right] \times 100$$

式中： A_i 是 2 mL 样液加入 2 mL DPPH 的吸光度值， A_0 是 2 mL 甲醇加入 2 mL DPPH 的吸光度值， A_j 是 2 mL 样液加入 2 mL 甲醇的吸光度值。

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果与分析

本实验根据单因素实验结果，以荸荠提取物含量、红茶粉、蔗糖和硬脂酸镁的加入比例为考察因素，以外观、口感、风味是评级指标，对马茶口含片的制备工艺进行研究。

3.1.1 马蹄皮提取物添加量对马茶口含片品质的影响

由图 2 能够看出，茶粉添加量少于 27% 时，感官评分伴随马蹄皮提取物添加量的增加而不断升高，当马蹄皮提取物添加至 27% 时，感官评分升到了最高。但超过最佳添加量后，感官评分却处于下降趋势。其原因是当马蹄皮提取物添加量少时，马茶口含片体色较浅，马蹄的风味较弱，使口含片的色泽、香气、滋味等不能很好地显现出来。但马蹄皮提取物添加量过多时，马蹄的风味完全覆盖红茶了的味道，导致两者风味没有得到很好地协调，给其风味造成了一定的影响。因此，马茶口含片的最适茶粉添加量应为 27%。

3.1.2 茶粉添加量对马茶口含片品质的影响

由图 3 可知，在红茶粉添加量较低时，伴随着红茶粉添加量的增加，口感越佳，感官评价得分越高；添加量到达 5% 时，口感最佳，马蹄的清香味和红茶的香味都得到很好地兼

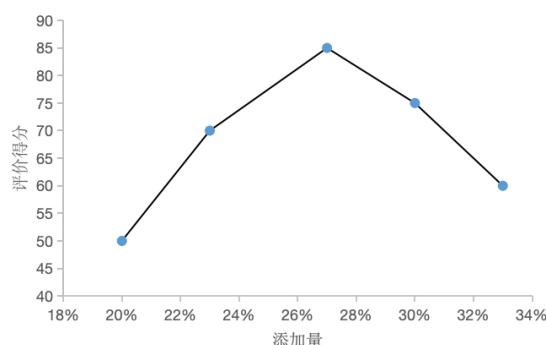


图 2 马蹄皮提取物添加量评价得分

Fig. 2 Evaluation score of the supplemental amount of extract of horseshoe bark

顾。红茶粉添加量超过 5% 时，口含片的口感下降，并且会覆盖马蹄的清香味，继续增加红茶粉甚至出现涩苦味。

3.1.3 蔗糖粉添加量对马茶口含片品质的影响

白砂糖添加量的感官评分表见图 4，由于 27% 的马蹄皮提取物的马蹄淀粉就含有糖，因此白砂糖添加量在参考文献的基础上稍作修改，减少白砂糖添加量，在风味评价上可以看出，由于马蹄皮提取物口味较鲜，与白砂糖的甜味相交叉，可以提升鲜味，当白砂糖的添加量达到 35% 时，风味评分较高。

3.1.4 硬脂酸镁添加量对马茶口含片品质的影响

硬脂酸镁添加量的感官评分表见图 5，在制作口含片过程中添加低浓度的硬脂酸镁时压片更顺畅，口含片的表面光洁美观，组织形态评价得分较高；但添加量超过 0.6% 时，口感会下降，因此最佳口含片的添加量为 0.6%。

3.2 马茶含片配方的优化

综合马茶口含片的色泽、风味、口感、香气等因素，以马蹄皮提取物、红茶粉、糖粉和硬脂酸镁为 4 个因素（乙醇浓度固定，添加量相同），进行正交实验设计，如下表（表 2），以期选出最佳马茶口含片配方。

3.2.1 正交试验结果与分析

对影响马茶口含片的 4 个因素进行正交试验，以感官评分为判断依据，确定口含片制作的最优工艺条件。结果分析见表 3。

由表 3 可知，4 个因素对马茶口含片感官

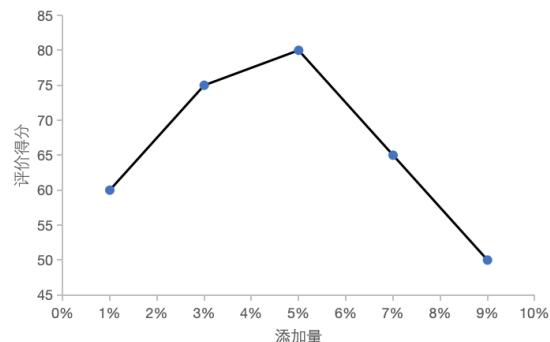


图 3 茶粉添加量评价得分

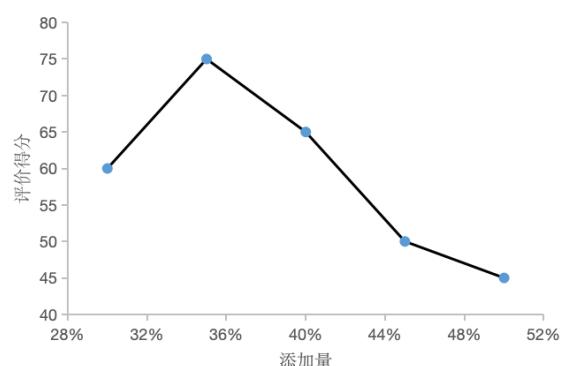


图 4 蔗糖粉添加量评价得分

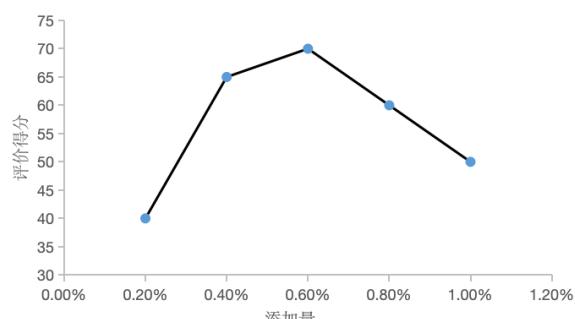


图 5 硬脂酸镁添加量评价得分

表 2 $L_9(3^4)$ 正交试验因素水平表

水平	因素			
	提取物添加量 (A)/%	红茶粉添加量 (B)/%	蔗糖添加量 (C)/%	硬脂酸镁添加量 (D)/%
1	23	3	30	0.40
2	27	5	35	0.60
3	30	7	40	0.80

表 3 马茶口含片正交试验结果

试验号	因素				感官评分
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	55
2	1	2	2	2	72
3	1	3	3	3	62
4	2	1	2	3	78
5	2	2	3	1	83
6	2	3	1	2	85
7	3	1	3	2	72
8	3	2	1	3	82
9	3	3	2	1	71
K1	189	205	222	209	
K2	246	237	221	229	
K3	225	218	217	222	
k1	63	68.33	74	69.67	
k2	82	79	73.67	76.33	
k3	75	72.66	75.67	74	
极差 R	19	10.67	2.00	6.66	
因素主次	A>B>D>C				
最优组合	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂				

品质的影响主次为马蹄皮提取物添加量>蔗糖粉添加量>红茶粉添加量>硬脂酸镁添加量(A>B>D>C)。取各因素的最优水平,得出最优组合为A₂B₂C₁D₂。

3.3 马茶口含片对 DPPH 自由基的清除能力

3.3.1 标准曲线的制作

准确称取 DPPH 6.25 mg, 用甲醇定容到 250 mL, 配制得到 DPPH · 标准溶液, 冷藏备用。再按文献^[19]方法稀释, 配制得到质量浓度分别为 0 mg/mL、0.005 mg/mL、0.01 mg/mL、0.015 mg/mL、0.02 mg/mL、0.025 mg/mL 的 DPPH · 标准溶液。吸取 2 mL DPPH · 标准溶, 用甲醇做对照, 在 200~800 nm 波长间进行扫描, 确定本设备本实验条件下的最适

宜(最大)吸收波长为 517 nm。测定 DPPH 标准溶液的吸光度^[20], 测量 3 次并取平均值, 制作标准曲线, 并得到其线性回归方程: $y=0.1063x-0.1067$. $R^2=0.9998$ (见图 6)。

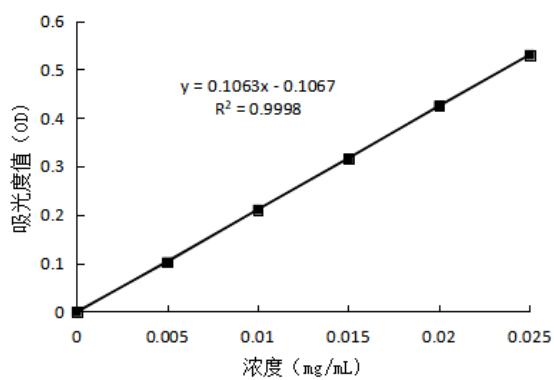


图 6 DPPH · 标准曲线

3.3.2 样品的测定：

取样 10 mg 加入 50 mL 甲醇配置成 0.2 mg/mL 样品溶液，分别取样品溶液（2 mL、4 mL、6 mL、8 mL、10 mL）定容至 50 mL，浓度分别为 0.008 mg/mL、0.016 mg/mL、0.024 mg/mL、0.032 mg/mL、0.04 mg/mL。再取 2 mL 0.2 mg/mL DPPH 自由基溶液分别加入 2 mL 不同质量浓度的待测样品溶液，摇匀后静置 30 分钟，用对照组（无水甲醇）做对照，在波长 517 nm 处测定其吸光度，记为 A_i ；在 2 mL 0.2 mg/mL 的 PDDH·自由基溶液中加入 2 mL 无水甲醇摇匀后测定吸光度，记为 A_0 ；并测定待测样品液与无水甲醇等量混合液的吸光度，记为 A_j 。重复测定 3 次，计得平均值，然后按照 2.4 中的公式计算清除率。（见图 7）

4 结论

结合马蹄粉营养成分和贺州马蹄皮的活性物质以及昭平红茶特有的风味，研制一款营养、保健的马茶口含片；其成品含 27% 马蹄皮提取物、5% 红茶粉、30% 蔗糖、0.6% 硬脂酸镁和马蹄淀粉 37.4% 马蹄淀粉口感最佳。最佳口感的口含片在浓度为 0.032 mg/mL 的浓度下，对 DPPH 自由基清除率高达 48.32%，说明马茶口含片具有良好的抗氧化活性。

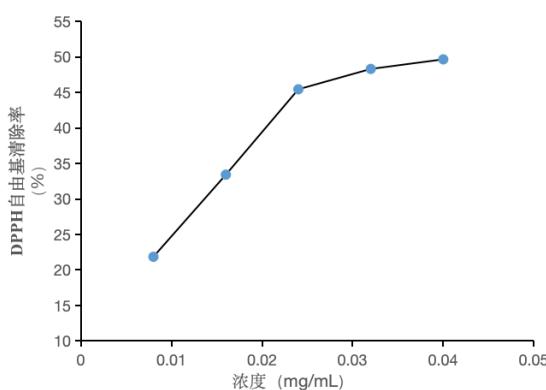


图 7 马茶口含片的 DPPH 自由基清除率的影响

本实验结果能为充分利用当地马蹄加工过程产生的马蹄皮废弃物，进一步提高昭平红茶的价值提供参考，从而促进马蹄产业和茶产业的融合发展，从而提高当地企业和农民的收入。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明：①黄双全负责设计论文框架，起草论文；②黄明秀，孙万基进行实验并数据收集、绘制图表及论文修改；③李小龙负责论文意见提出并指导论文写作及定稿。

参考文献

- [1] 周振欣. 茶叶含片生产技术研究 [J]. 茶业通报, 1998 (4): 12-14.
- [2] 陆波岸. 广西昭平:16 万亩早春茶开采 [J]. 农产品市场周刊, 2013(08):9.
- [3] 李占霞, 赵杰荣. 论红茶的保健医疗作用 [J]. 福建茶叶, 2018(7): 26-26.
- [4] 孙世利, 操君喜, 赖幸菲, 等. 英红九号红茶保健功效研究进展 [J]. 广东茶业, 2015(6): 18-20.
- [5] 康超, 谢微, 伍淑婕. 广西马蹄产业调研报告 [J]. 贺州学院学报, 2017, 33(04): 146-150.
- [6] 邢湘臣. "江南人参"- 马蹄 [J]. 家庭科技, 2012, 000(011): 39.
- [7] 蔡健. 马蹄的营养保健和加工利用 [J]. 中国食物与营养, 2005(02): 40-42.
- [8] 王薇. 马蹄的保健功能及加工利用 [J]. 食品与药品 A, 2005(04): 49-52.
- [9] 罗杨合. 马蹄皮资源化利用研究 [J]. 应用化工, 2009, 38(9): 1367-1370.
- [10] 南京中医药大学编著. 中药大辞典 (第二版) [M]. 上海: 上海科技出版社, 2006: 2491.
- [11] Luo Y H, Li X R, He J, et al. Isolation, characterisation, and antioxidant activities of

- flavonoids from chufa (*Eleocharis tuberosa*) peels[J]. Food Chemistry, 2014, 164(3): 30-35.
- [12] 罗杨合, 高志明, 陈振林, 等. 富含类黄酮的马蹄饮料的研制 [J]. 食品研究与开发, 2008, 29(12):60-63.
- [13] Nie H, Chen H, Li G, et al. Comparison of flavonoids and phenylpropanoids compounds in Chinese water chestnut processed with different methods[J]. Food Chemistry, 2021, 335: 127662.
- [14] 李行任, 罗杨合, 何隽, 等. 马蹄皮酚性成分及其抗氧化活性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(12): 1615-1620.
- [15] 罗杨合. Folin-Ciocalteu 法测定马蹄皮中多酚的含量 [J]. 湖北农业科学, 2009, 28(9): 2247-2249.
- [16] 魏丹. 马蹄果皮膳食纤维提取工艺的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [17] 刘琼, 夏道宗, 叶晓萍, 等. 安吉白茶含片的制作及其抗氧化活性评价 [J]. 食品工业科技, 2012(18):245-247.
- [18] 李春阳, 许时婴, 王璋. DPPH 法测定葡萄籽原花青素清除自由基的能力 [J]. 食品与生物技术学报, 2006, (02): 102-106.
- [19] 王基云. 宁夏沙枣花黄酮成分及其抗氧化活性的研究 [D]. 宁夏医科大学, 2010.
- [20] 刘文亚. 玫瑰花渣化学成分及抗氧化、抑制酪氨酸酶活性研究 [D]. 郑州大学, 2018.