

富含茶多酚能量胶的研制及其抗氧化活性

李国胜, 马捷, 赵玉红

(东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 这项研究旨在研制具有抗氧化功能的能量胶。实验以感官评分、能量密度、DPPH 自由基清除率为评价指标, 通过单因素试验和响应面试验对产品配方进行优化。结果表明, 能量胶产品的最佳配方为: 以明胶溶液质量为基准, 明胶水溶液浓度为 25%, 总糖含量(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*) 62.43%, 蛋白质含量(乳清蛋白:大豆分离蛋白=3:1, *m/m*) 25.4%, 植物油 24.92%, 可可脂 25%, 复合维生素 1.07%, 茶多酚 0.19%。该产品感官评分为 9.13, 能量密度为 3.37 Kcal/g, DPPH 清除率为 83.05%。与市售能量胶和未含茶多酚能量胶进行体外抗氧化能力比较表明: 含茶多酚能量胶、市售能量胶和未含茶多酚能量胶对 ABTS⁺ 的 IC₅₀ 分别为 1.75 mg/mL、3.22 mg/mL、5.86 mg/mL; 对·OH 的 IC₅₀ 分别为 0.02 g/mL、0.03 g/mL、0.10 g/mL; 总还原能力由强到弱为: 含茶多酚能量胶>市售能量胶>未加茶多酚的能量胶。该能量胶产品具有较强的抗氧化能力和较高的能量密度。

关键词: 能量胶; 感官评分; 能量密度; 抗氧化功能

文章编号: 1673-9078(2018)08-145-154

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.8.022

Preparation of Tea Polyphenol-rich Energy Gel and its Antioxidant Activity

LI Guo-sheng, MA Jie, ZHAO Yu-hong

(College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: This study aimed to develop an energy gel with antioxidation properties. The product formulation was optimized by single factor test and response surface methodology, based on indicators such as sensory score, energy density, and DPPH· scavenging activity. The obtained results revealed the optimal formula for energy gel products: On the basis of the mass of gelatin solution, the concentration of the gelatin aqueous solution, 25% total sugar content (sucrose : maltose-oligosaccharide = 1:1, *m/m*), 62.43%; protein content (whey protein: soybean protein isolate = 3:1, *m/m*), 25.4%; vegetable oil, 24.92%; cocoa butter, 25%; multi-vitamins, 1.07%; tea polyphenols, 0.19%. Such a product had a sensory score of 9.13, with the energy density as 3.37 Kcal/g and DPPH· scavenging rate as 83.05%. Comparisons on the *in vitro* antioxidant capacity of present energy gel, commercial energy gels, and tea polyphenols-free energy gels revealed that the IC₅₀ values (against ABTS⁺) of the tea polyphenols-rich, commercial and tea polyphenols-free energy gels were 1.747 mg/mL, 3.215 mg/mL, and 5.855 mg/mL, respectively; the IC₅₀ values (against ·OH) were 0.015 g/mL, 0.034 g/mL, 0.095 g/mL, respectively; Total reducing power decreased in this order: tea polyphenols-rich energy gel > commercial energy gel > tea polyphenols-free energy gel. The energy gel product developed in this study possessed a strong antioxidant capacity and high energy density.

Key words: energy gel; sensory score; energy density; antioxidant function

能量营养食品的研究与生产主要以含糖、蛋白质、脂肪三大营养素^[1]的基础上进行的, 以他们为主要能量来源生产的能量营养食品各有特点, 可适用于不同的人群^[2]。

国外研制的各种能量胶主要是以碳水化合物(糖)作为能量来源, 并添加了各种电解质和功能性物质, 制备成碳水化合物胶体, 定义为能量胶^[3]。能量胶作

为特殊的一类食品, 具有热量高、可快速补充能量、体积小、质量轻、便于携带和食用方便等优点, 凝胶中的碳水化合物很快被吸收到血液中, 产生热量和营养供给人体, 帮助延缓肌肉疲劳, 提高血糖水平, 并提高运动活动性能^[4,5]等, 适用于野外生存及自然灾害短期食品供给的需求, 在运动、军事、旅游和航海领域等广泛应用^[6]。

我国需要使用能量胶等高能量食品的人群逐年递增, 这些潜在的消费人群对能量胶制品的需求十分巨大, 紧靠进口远远无法满足需求^[7]。国内对能量胶研制处于研究开发阶段, 进行大规模系列研究的较少。

收稿日期: 2018-03-06

基金项目: 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金(2017RALXJ001)

作者简介: 李国胜(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品

通讯作者: 赵玉红(1968-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 功能性食品

同时由于各种能量胶制品的原料、配方各异,使得对于人体的作用效果并不明确,存在缺少功能性成分、能量密度低和适口性差等问题。Powet Bar 公司^[4]向能量胶中添加电解质和复合维生素,只是强化能量胶的营养,但能量并不高。段振华等^[8]研究了以熟肉为酶解底物的半流体高能食品,但只是提高了能量,且未添加功能性成分。董煜^[9]以小麦肽为主原料制备能量胶,研究其抗疲劳功能。

自由基是生物体氧化过程中产生的中间代谢产物,细胞或组织除在正常生理代谢过程中产生自由基,当受到烟酒、紫外线照射和环境污染等因素影响时,将会产生大量的自由基,打破自由基的平衡状态,导致细胞内生命分子的氧化损伤,继而会诱导帕金森氏病、动脉粥样硬化、老年痴呆症、关节炎和肿瘤等各种疾病产生^[10]。因此,开发安全有效的抗氧化能量胶显得非常重要。而茶多酚可以有效清除氧自由基和脂类自由基、同时具有抑制肿瘤发生,延缓衰老等功能^[11],将其添加到能量胶中能使能量胶具有保健功能。

本文旨在研制具有抗氧化功能的能量胶,以感官评分、能量密度、DPPH 清除率为评价指标,通过单因素试验和响应面试验优化配方,并对其抗氧化活性进行比较。为丰富现有能量食品市场,开发能量密度

明胶、水→溶胶



麦芽低聚糖、蔗糖、水→溶糖→混合搅拌→乳清蛋白和大豆分离蛋白超微粉、植物油、可可脂→加热搅拌→静置降温→冷却→浇注、成型→脱模→包装→成品



复合维生素、茶多酚

1.3.1.1 溶胶

将明胶溶于冷水中浸泡 1 h,然后加热溶解,制成明胶溶液,备用。将乳清蛋白和大豆分离蛋白进行超微粉碎,过 140 目筛,备用。

1.3.1.2 溶糖

先将麦芽低聚糖和蔗糖进行溶解,等全部溶化后,在加入明胶溶液进行混合。

1.3.1.3 混合搅拌

将事先超微粉的乳清蛋白和大豆分离蛋白粉,植物油、可可脂依次加入混合液中,在 60 °C 下均匀搅拌 15~20 min,静置降温后向混合液中加入复合维生素和茶多酚并均匀搅拌。

1.3.1.4 浇模成型

将以上物料倒入模具中成型,自然冷却凝结后即可脱模。

1.3.2 DPPH·清除率的测定

高、具有功能性的能量食品提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

蔗糖、棕榈油、可可脂、复合维生素片:河南千志商贸有限公司;麦芽低聚糖、乳清蛋白粉、大豆分离蛋白、明胶:安徽中旭生物科技有限公司;茶多酚:河南万邦实业有限公司;DPPH (Sigma)、ABTS (Sigma)、2-脱氧-D 核糖 (Ruibio)、TPTZ、硫酸亚铁、乙酸钠、三氯化铁、EDTA 二钠、过氧化氢、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸等试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

721 可见分光光度计,上海佑科仪器仪表有限公司;H/T20MM 台式高速离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;FA2004B 分析天平,上海佑科仪器仪表有限公司;H.H.S 电热恒温水浴锅,沈阳莱柏利德有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程及操作要点

参照 S.Cengiz 的方法^[12]稍作修改,取 2.5 g 的能量胶,用蒸馏水按一定的比例将其适当地稀释,混合成匀浆液。采用离心机将能量胶离心,转速为 4000 r/min,离心 20 min。取 2 mL 的上清液于比色管中,加入 2 mL DPPH 溶液,混合均匀,于避光处反应 30 min,以等体积的蒸馏水代替样液作空白对照,于 517 nm 处测定吸光度 A_1 ,同时取 2 mL 蒸馏水,加入 2 mL DPPH 溶液在 517 nm 处吸光值 A_0 。在取 2 mL 样品液和 2 mL 蒸馏水混合后的吸光值 A_2 ,每个样品平行 3 实验。按照公式 (1) 计算能量胶的 DPPH·清除率。

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率} = \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_0 为空白组的吸光值; A_1 为待测组吸光值; A_2 为对照组的吸光值。

1.3.3 能量密度的计算

以蛋白质的能量密度为 4 kcal/g,碳水化合物的能量密度为 4 kcal/g,脂肪的能量密度为 9 kcal/g。以此

来计算产品的能量密度^[13]。能量密度计算见公式(2):

$$\text{能量密度} = \frac{W_{\text{蛋白质}} \times 4 + W_{\text{碳水化合物}} \times 4 + W_{\text{脂肪}} \times 9}{W_{\text{总}}} \quad (2)$$

式中: W-重量, g; W_总-产品总质量, g。

1.3.4 能量胶的感官评分标准

表 1 能量胶感官评分标准

Table 1 Energy gel sensory evaluation standard

分数	质地状态	口感、滋味	气味	色泽
9~10	弹性和韧性好, 软硬度适中, 凝胶性好	口感细腻, 无粘着性, 香甜可口	浓厚香味	淡黄色偏为白色, 具有一定透明度
7~8	弹性和韧性较好, 软硬度较好, 凝胶型较好	口感较细腻, 味道偏淡或偏甜	香味较淡	比较偏淡略透明
4~6	有颗粒状, 凝固性差, 弹性差	口感较细腻, 味道过甜或过淡	有少量蛋白的不良风味	棕黄色, 透明度略差
1~3	不凝固, 流动状, 无弹性, 严重分层	口感很粗糙, 味道不协调	不良风味较明显	棕色, 透明度差

注: 感官评分=质地*0.4+口感*0.3+气味*0.15+色泽*0.15。

1.3.5 能量胶配方的单因素试验

以明胶溶液质量为基准, 在不同明胶水溶液浓度(15%、20%、25%、30%、35%), 蔗糖与麦芽低聚糖加入比(3:1、2:1、1:1、1:2、1:3, m/m), 糖的加入总量(37.5%、50%、62.5%、75%、87.5%), 大豆分离蛋白与乳清蛋白加入比(2:1、1:1、1:2、1:3、1:4, m/m), 蛋白质加入总量(18.75%、25%、31.25%、37.5%、43.75%), 油脂的加入量(12.5%、18.75%、25%、31.25%、37.5%), 可可脂加入量(25%、37.5%、50%、62.5%、75%)、复合维生素加入量(0.31%、0.50%、0.69%、0.88%、1.07%)、茶多酚加入量(0.03%、0.07%、0.11%、0.15%、0.19%)条件下, 以感官评分、能量密度、DPPH·清除率为考察指标, 分析对其影响。

1.3.6 能量胶 Plackett-Burman 试验设计

在单因素试验的基础上, 通过 Plackett-Burman 试验选取对能量胶感官评分、能量密度、DPPH·清除率影响显著的因素(p<0.05), 非显著条件选择单因素最优条件, 采用中心组合 Box-Behnken Design(BBD)设计试验进行响应面优化能量胶配方。

1.3.7 能量胶配方的响应面试验设计

表 2 试验因素与水平设计

Table 2 Factory and levels in response surface design

因素	水平		
	-1	0	1
明胶水溶液的浓度(% , A)	20	25	30
糖的添加总量(% , B)	50	62.5	75
蛋白质加入总量(% , C)	18.75	25	31.25
植物油加入量(% , D)	18.75	25	31.25

$$\text{能量胶综合得分} = \frac{\text{感官评分} \times 5 + \text{能量密度} \times 3 + \text{DPPH清除率} \times 2}{10} \quad (3)$$

将制备好的能量胶放入无色无味的盘中, 请 10 位食品专业人员组成综合评定小组, 采用 10 分制法从产品的质地形态、滋味口感、色泽及气味等方面进行评分, 每组取平均分。感官评价见表 1。

在 Plackett-Burman 试验的基础上, 设计明胶水溶液的浓度, 糖的加入总量, 蛋白质加入总量, 油脂的加入量 4 个因素 3 水平响应面试验, 以产品的感官评价、能量密度、DPPH·清除率为基础。根据感官评价, 能量密度, DPPH·清除率三项加权综合评分为指标, 按照公式(3)进行计算。为确定能量胶适宜配方, 其因素水平见表 2。

1.3.8 ABTS⁺清除能力的测定

ABTS⁺清除能力的测定方法参考 Fan 等人^[14]方法稍作修改, 取不同梯度浓度稀释样品 1.5 mL 和 ABTS⁺ 1.5 mL, 加入同一试管中, 混匀后室温下避光反应 6 min, 在 734 nm 下测定吸光值 A_i, 空白 A₀ 以等体积蒸馏水代替 ABTS⁺溶液, 对照组 A_j 以等体积的蒸馏水代替样品溶液, 并以等体积蒸馏水空白调零, 清除率按式 4 计算, 平行测定 3 次。

$$\text{ABTS}^+ \cdot \text{清除率} = \left[1 - \frac{A_i - A_j}{A_0} \right] \times 100\% \quad (4)$$

式中: A₀ 为空白组的吸光值; A_i 为待测组的吸光值; A_j 为对照组的吸光值。

1.3.9 OH 清除能力的测定

采用硫代巴比妥酸法(TBARS)测定能量胶清除羟基自由基的能力。试验方法参照文献^[15]并做适当修改。取 0.25 mL 不同浓度的样品, 向样品中加入 0.5 mL PBS 缓冲液、0.2 mL 2-脱氧-D-核糖和 0.4 mL Fe³⁺-EDTA 混匀, 在加入 0.2 mL H₂O₂ 和 0.2 Vc 溶液, 37 °C 条件下反应 1 h。

式中: A₀ 为空白组的吸光值; A₁ 为待测组的吸光值; A₂ 为对照组的吸光值。

反应结束后立即向体系加入 2.0 mL 三氯乙酸和 2.0 mL 2-巯代巴比妥酸混匀, 沸水浴 20 min, 然后放入冰水浴终止反应。在室温下静止 10 min, 于 532 nm 波长测定各样品吸光值; 根据公式 (5) 计算清除率。

$$\cdot\text{OH清除率} = \left[1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0} \right] \times 100\% \quad (5)$$

1.3.10 总还原能力的测定

采用 FRAP 法, 参考 E.Tsantili^[16]方法, 精确称取 6.08 mg 硫酸亚铁标准品溶解于 50 mL 蒸馏水中, 即得浓度为 0.1 mol/L 的硫酸亚铁标准溶液。分别稀释为 0.01, 0.02, 0.04, 0.05, 0.08, 0.1 mol/L 浓度。加入配好的 3 mL FRAP 工作液混匀, 于 37 °C 水浴中反应 30 min, 在波长 593 nm 处测定其吸光度。绘制标准曲线, 得到的回归方程为: $y=3.9243x-0.0006$, 相关系数 $R^2=0.9999$ 。

样品 FRAP 测定: 取样液 100 μL, 按上述步骤操作, 在波长 593 nm 处测定其吸光度。样液中抗氧化能力以 FRAP 值表示, 即样品的抗氧化能力相当于硫酸亚铁标准品的 mmol/L 数。

1.4 统计方法

用 Origin 8 及 SPSS 21.0 对数据进行分析, 所得结果用平均值±标准差($\bar{x} \pm s$, $n=3$)表示, 以 $p < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与讨论

2.1 能量胶配方单因素试验结果

2.1.1 明胶水溶液浓度对能量胶的影响

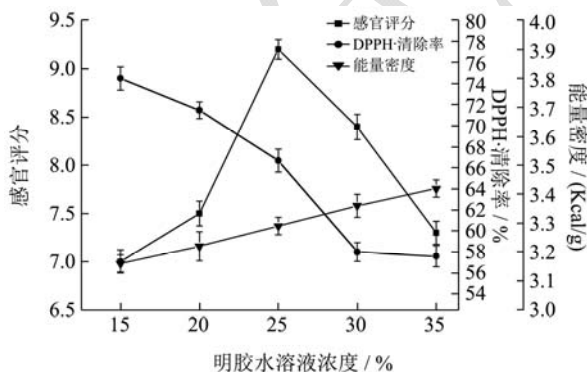


图1 明胶水溶液对能量胶的影响

Fig.1 Effect of gelatin aqueous solution on energy gel

以明胶溶液质量为基准, 糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, m/m)总加入量为 62.5%, 蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:2, m/m)总加入量为 31.3%, 植物油的加入量为 25%, 可可脂的加入量为 50%, 复合维生素的加入量为 0.69%, 茶多酚的加入量为 0.11%, 明

胶水溶液的浓度分别是 15%、20%、25%、30%、35%, 以感官评价、能量密度、DPPH·的清除率为指标, 分别考察对其影响。由图 1 可知, 随着明胶水溶液浓度增加, 能量密度逐渐增加, 这是因为明胶的蛋白质含量高达 80%以上, 明胶量的增加, 蛋白质含量也相对增加。而 DPPH·清除率逐渐降低至不变。在明胶水溶液浓度为 25%时感官最好, 明胶浓度低时, 明胶凝胶性较差, 导致产品凝胶性差, 呈果冻状。明胶浓度高时, 外观透明度变差, 这是因为随着浓度的增大, 硬度和弹性均增大, 导致组织状态过硬, 产品过硬。在吴修东^[17]等研究明胶添加量对软糖品质影响中明胶的添加量较大时, 会造成外观透明度和品质变差, 与本实验结果相似。

2.1.2 糖加入比例对能量胶的影响

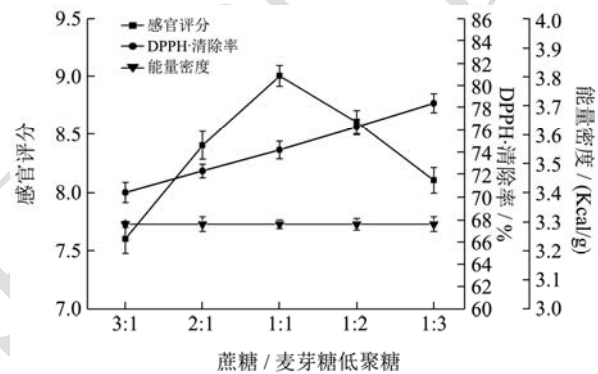


图2 蔗糖与麦芽低聚糖比例对能量胶的影响

Fig.2 Effect of sucrose and malto-oligosaccharides ratio on energy gel

以明胶溶液质量为基准, 蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:2, m/m)总加入量为 31.3%, 植物油的加入量为 25%, 可可脂的加入量为 50%, 复合维生素的加入量为 0.69%, 茶多酚的加入量为 0.11%, 明胶水溶液的浓度为 25%, 总糖(蔗糖:麦芽低聚糖=3:1、2:1、1:1、1:2、1:3, m/m)的加入量为 62.5%, 因能量密度几乎不变, 以感官评价、DPPH·的清除率为指标, 分别考察对其影响。由图 2 可知, 随着麦芽低聚糖的加入量不断增加, DPPH·清除率缓慢增加。可能是因为麦芽低聚糖的溶解度较高, 糖液中的氧气大大减少, 抗氧化较强。因为加入总糖量不变, 能量密度几乎不变。蔗糖加入量增加时, 产品的感官评分逐渐降低, 分析原因可能是蔗糖的甜度较高, 导致产品太甜, 但不良风味得到了很好的掩盖; 相反当麦芽低聚糖加入量增加时, 产品比较甜腻, 稍有不良风味, 分析原因可能是麦芽低聚糖的甜度低, 不能遮盖蛋白风味。当蔗糖:麦芽低聚糖=1:1 时, 既能很好包埋蛋白风味, 产品的成胶性也较好。

2.1.3 糖的加入总量对能量胶的影响

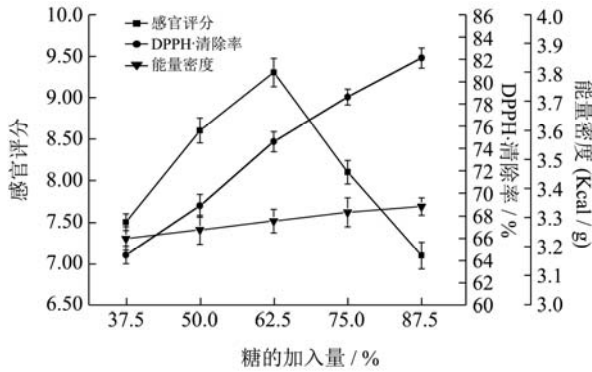


图3 糖加入总量对能量胶的影响

Fig.3 Effect the total amount of sugar addition on energy gel

以明胶溶液质量为基准, 蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:2, *m/m*)总加入量为31.3%, 植物油的加入量为25%, 可可脂的加入量为50%, 复合维生素的加入量为0.69%, 茶多酚的加入量为0.11%, 明胶水溶液的浓度25%, 蔗糖:麦芽低聚糖=1:1 (*m/m*), 加入分别占明胶溶液37.5%、50%、62.5%、75%、87.5%的总糖, 以感官评价、能量密度、DPPH·的清除率为指标, 分别考察对其影响。由图3可知, 随着糖的加入量增加, 能量密度和DPPH·清除率也随之增加。分析原因可能是糖的浓度增加, 氧气在糖溶液中的溶解度减少。同时糖与氨基酸发生的美拉德反应的中间产物具有抗氧化性^[18]。感官上看, 当糖加入过多时, 产品过于甜腻, 后味稍发苦, 糖加入量较少时, 甜度较低, 稍有不良风味, 在62.5%时, 产品的口感和质地均较为适宜。此时的能量密度为3.29 kcal/g。这与凌健斌等^[19]研制的能量烘焙食品结果相似, 能量密度都在3.0 kcal/g以上。

2.1.4 蛋白质加入比例对能量胶的影响

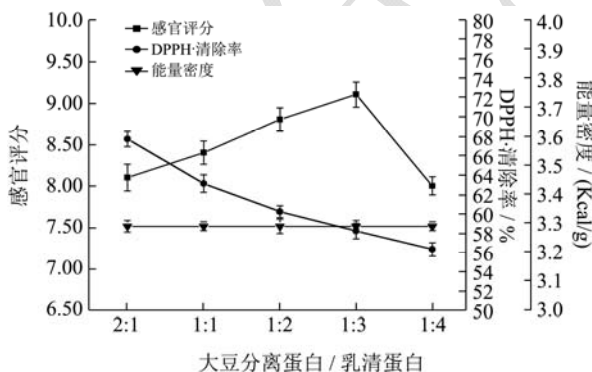


图4 大豆分离蛋白与乳清蛋白比例对能量胶的影响

Fig.4 Effect of soy protein isolate and whey protein ratio on energy gel

以明胶溶液质量为基准, 糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*)总的加入量为62.5%, 植物油的加入量为25%, 可可脂的加入量为50%, 复合维生素的加入量为0.69%, 茶多酚的加入量为0.11%, 明胶水溶液的浓度为25%, 加入分别占明胶溶液12.5%、18.75%、25%、31.25%、

浓度为25%, 蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=2:1、1:1、1:2、1:3、1:4, *m/m*)总加入量为31.3%, 因能量密度几乎不变, 以感官评价、DPPH·清除率为指标, 分别考察对其影响。由图4可知, 当大豆分离蛋白加入过多时, 口感粗糙, 有些许豆腥味, 随着乳清蛋白的加入量增加, 口感较好, 成胶性较好, 当乳清蛋白加入过多时, 质地变软, 凝胶型差。在大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:3时感官最佳。

因为加入的总蛋白量不变, 能量密度几乎不变。DPPH·清除率随着大豆蛋白的减少, 缓慢降低。分析原因可能大豆分离蛋白中含有异黄酮具有抗氧化性^[20], 大豆分离蛋白的减少, 抗氧化稍有降低。

2.1.5 蛋白质加入总量对能量胶的影响

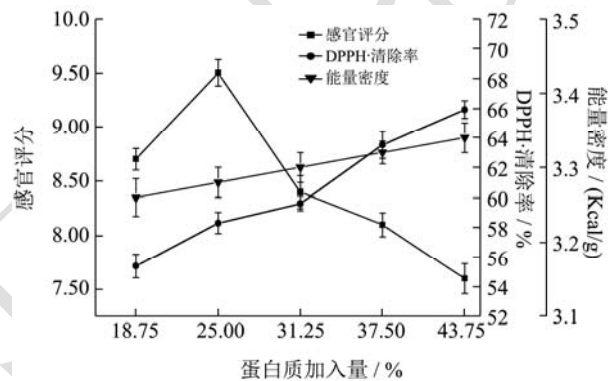


图5 蛋白质加入总量对能量胶的影响

Fig.5 Effect the total amount of protein addition on energy gel

以明胶溶液质量为基准, 糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*)的加入总量为62.5%, 大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:3 (*m/m*), 植物油的加入量为25%, 可可脂的加入量为50%, 复合维生素的加入量为0.69%, 茶多酚的加入量为0.11%, 明胶水溶液的浓度为25%, 加入分别占明胶溶液18.75%、25%、31.25%、37.5%、43.75%的蛋白粉, 以感官评价、能量密度、DPPH·的清除率为指标, 分考察对其影响。由图5可知, 随着蛋白质量的增加, DPPH·清除率和能量密度逐渐增加, 从感官评价上看, 蛋白质加入量较少时, 产品弹性差, 味道稍甜, 而蛋白加入过多时, 口感粗糙, 凝胶性差。在25%质地口感较为适宜, 能量密度为3.27 kcal/g, 这与刘政^[21]等研制南瓜籽能量棒的能量密度相近。

2.1.6 植物油加入量对能量胶的影响

以明胶溶液质量为基准, 糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*)的加入总量为62.5%, 蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:3, *m/m*)总加入量为31.3%, 可可脂的加入量为50%, 复合维生素的加入量为0.69%, 茶多酚的加入量为0.11%, 明胶水溶液的浓度为25%, 加入分别占明胶溶液12.5%、18.75%、25%、31.25%、

37.5%的植物油,以感官评价、能量密度、DPPH·清除率为指标,分别考察对其影响。

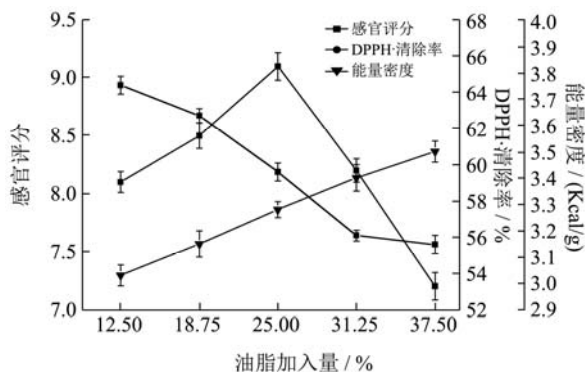


图6 棕榈油加入量对能量胶的影响

Fig.6 Effect of palm oil addition on energy gel

由图6可知,随着油脂的增加,能量密度逐渐增加,而DPPH·清除率则逐渐降低直至平稳,分析原因可能是维生素E在一定浓度的油脂中有较好的抗氧化能力,当油脂的增加超过这一浓度抗氧化能力会降低,导致清除率降低^[22]。从感官评价上看,植物油加入过多时产品凝固性差,口感油腻。加入量在25%时,感官评价最好。

2.1.7 可可脂加入量对能量胶的影响

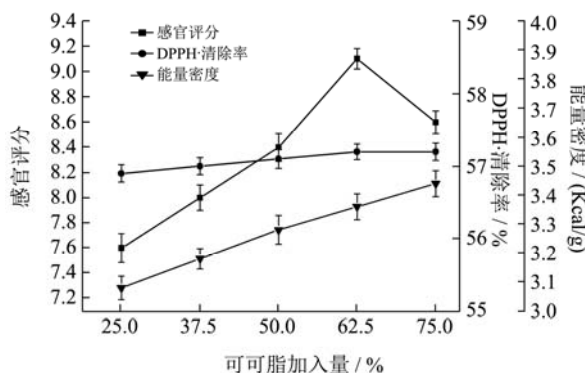


图7 可可脂加入量对能量胶的影响

Fig.7 Effect of cocoa butter addition on energy gel

以明胶溶液质量为基准,糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*)加入总量62.5%,蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:3, *m/m*)总加入量为31.3%,植物油加入量为25%,复合维生素的加入量为0.69%,茶多酚的加入量为0.11%,明胶水溶液的浓度为25%,加入分别占明胶溶液25%、37.5%、50%、62.5%、75%的可可脂,以感官评价、能量密度、DPPH·清除率为指标,分别考察对其影响。由图7可知,随着可可脂加入量的增加,能量密度也逐渐增加,DPPH·清除率基本保持不变,感官上成品的香味逐渐变浓,口感较好,当加入量超过62.5%时,香味和质地改善不明显,甚至对产品其它风味造成掩盖。当加入量为62.5%时,能量密度为3.37 kcal/g,相比于刘晓庆^[3]研制淀粉质能量

胶的2.22 kcal/g有了很大的提高。

2.1.8 复合维生素加入量对能量胶的影响

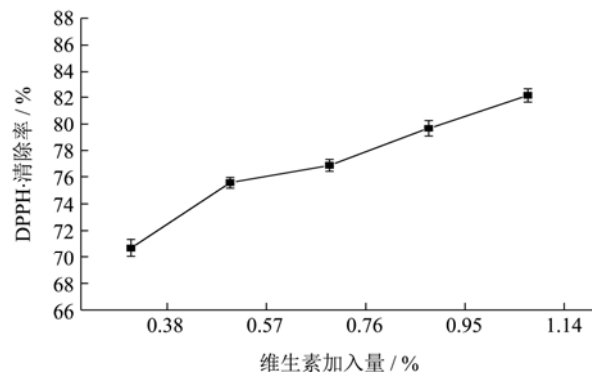


图8 复合维生素加入量对能量胶的影响

Fig.8 Effect of compound vitamin addition on energy gel

以明胶溶液质量为基准,糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*)的加入总量为62.5%,蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:3, *m/m*)总加入量为31.3%,植物油的加入量为25%,可可脂的加入量为62.5%,茶多酚的加入量为0.11%,明胶水溶液的浓度为25%,参照GB 2760-2011中各种维生素的添加标准,加入分别占明胶溶液0.31%、0.50%、0.69%、0.88%、1.07%的复合维生素,因基本上对感官评分和能量密度不产生影响,只以DPPH·清除率为指标,考察对其影响。由图8可知,随着复合维生素增加,维C和维E等含量增加,抗氧化性增强,DPPH·清除率显著增加,当添加量为1.07%时,DPPH·清除率最高。

2.1.9 茶多酚加入量对能量胶的影响

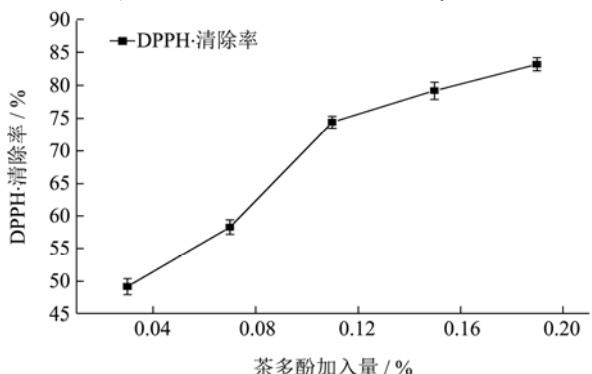


图9 茶多酚加入量对能量胶的影响

Fig.9 Effect of tea polyphenols addition on energy gel

由图9可知,因为加入的茶多酚量相对较少,基本上对能量胶的感官和质地不产生任何影响。因此只分析对DPPH·清除的影响。茶多酚有很强的抗氧化性^[24],随着茶多酚的加入量增加,抗氧化性变强,DPPH·清除率也逐渐上升。当添加量在0.19%时,对DPPH·的清除率可达83.05%。

2.2 能量胶配方 Plackett-Burman 试验结果

以明胶溶液质量为基准,糖(蔗糖:麦芽低聚糖=1:1, *m/m*)的加入总量为 62.5%,蛋白粉(大豆分离蛋白:乳清蛋白=1:3, *m/m*)总加入量为 31.3%,植物油的加入量为 25%,可可脂的加入量为 62.5%,复合维生素加入量为 1.07%,明胶水溶液的浓度为 25%,参照茶多酚在凝胶糖果类食品中允许加入量的标准^[23],加入分别占明胶溶液 0.03%、0.07%、0.11%、0.15%、0.19%的茶多酚,基本上对感官评分和能量密度不产生影响,以 DPPH·清除率为指标,考察其影响。通过 Plackett-Burman 试验对 9 组单因素数据进行显著性分析,得到感官评分方程如下:

$$\text{感官评分}=8.02+0.16A-0.13B-0.16C+0.04D-0.16E-0.04F+0.02G-0.04H-5.000E-003J$$

计算结果显示,在 9 个主效应中,明胶水溶液浓度、糖的添加总量、蛋白的加入总量、植物油的加入量是显著影响因素 ($p<0.05$),显著性顺序为明胶水溶液的浓度>植物油的加入量>蛋白质的加入总量>糖的加入总量,四因素与响应值均呈正相关,而其它因素影响不显著。得到能量密度方程如下:能量密度=3.04+0.12A+0.04B-0.10C+3.333E-003D+0.02E+5.000E-003F+0.10G+5.000E-003H+5.000E-003J

计算结果显示,在 9 个主效应中,明胶水溶液浓度、糖的添加总量、可可脂加入量、植物油的加入量是显著影响因素 ($p<0.05$),显著性顺序为植物油加入量>可可脂加入量>明胶水溶液的浓度>糖加入总量,四因素与响应值均呈正相关,而其它因素影响不显著。得到 DPPH·清除率方程如下:

$$\text{DPPH·清除率}=67.20+1.10A-2.47B-3.68C-3.90D+0.28E-1.63F-1.54G+2.87H+6.50J$$

计算结果显示,在 9 个主效应中,茶多酚加入量、复合维生素的加入量、糖的总添加量、植物油的加入量、蛋白加入比例是显著影响因素 ($p<0.05$),显著性顺序为茶多酚加入量>复合维生素加入量>蛋白比例>植物油加入量>糖加入总量,五因素与响应值均呈正相关,而其它因素影响不显著。

2.3 能量胶配方响应面法优化试验结果

在 Plackett-Burman 试验的基础上,结合感官评价、能量密度、DPPH·清除率显著项的分析,设计明胶胶体水溶液的浓度、糖加入总量、蛋白质加入总量、植物油加入量 4 个因素 3 水平响应面法试验,数据的方差分析见表 3。

表 3 响应面法试验方差分析结果

Table 3 Analysis of variance for response surface experimental results

来源	自由度	平方和	均值	F 值	P 值
模型	14	1.54	0.11	13.91	<0.0001**
A	1	0.06	0.06	6.89	0.0200*
B	1	0.01	0.01	1.77	0.2051
C	1	0.02	0.02	2.13	0.1667
D	1	0.08	0.08	10.30	0.0063*
AB	1	2.500E-005	2.500E-005	3.152E	0.9560
AC	1	0.18	0.18	22.24	0.0003*
AD	1	0.05	0.05	6.67	0.0217*
BC	1	3.600E-003	3.600E-003	0.45	0.5115
BD	1	0.07	0.07	8.52	0.0112*
CD	1	0.03	0.03	4.31	0.0567
A ²	1	0.71	0.71	88.92	<0.0001**
B ²	1	0.35	0.35	44.11	<0.0001**
C ²	1	0.20	0.20	25.69	0.0002
D ²	1	0.30	0.30	37.71	<0.0001**
残差	14	0.11	7.932E		
失拟误差	10	0.09	8.697E-003	1.44	
纯误差	4	0.02	6.020E-003		
合计	1.66	28			

注: $p<0.05$ 为显著,用“*”表示; $p<0.01$ 为极显著,用“**”表示。

将中心组合试验数据进行拟合,得到模拟方程:

$$Y=5.72+0.07A-0.03B-0.04C-0.08D-2.500E-003$$

$$AB+0.21AC+0.11AD+0.03BC+0.13BD-0.09CD-0.33A^2-0.23B^2-0.18C^2-0.21D^2$$

从该模型的方差分析可见, $p < 0.0001$, 说明该模型极显著, 失拟项 $F=1.44$, $P=0.3860 > 0.05$, 不显著, 说明没有产生失拟现象。 R^2 为 0.9329, 说明该模型拟合度较好, 方程的显著性及可靠性极高, 能够反映响应值的变化。其中 A 影响显著, D 影响极显著, 由 F 值检验可以知各因素的影响程度大小为植物油 > 明胶水溶液浓度 > 蛋白质总量 > 糖添加总量。响应面优化的最佳配比为: 明胶水溶液浓度 25.83%, 糖的加入总量 62.43%, 蛋白质的加入量 25.4%, 植物油的加入量 24.92%。综合得分 5.85。此时得到的能量胶既能满足高能量和抗氧化的要求, 而且产品组织状态较好, 口味与气味也达到最佳。

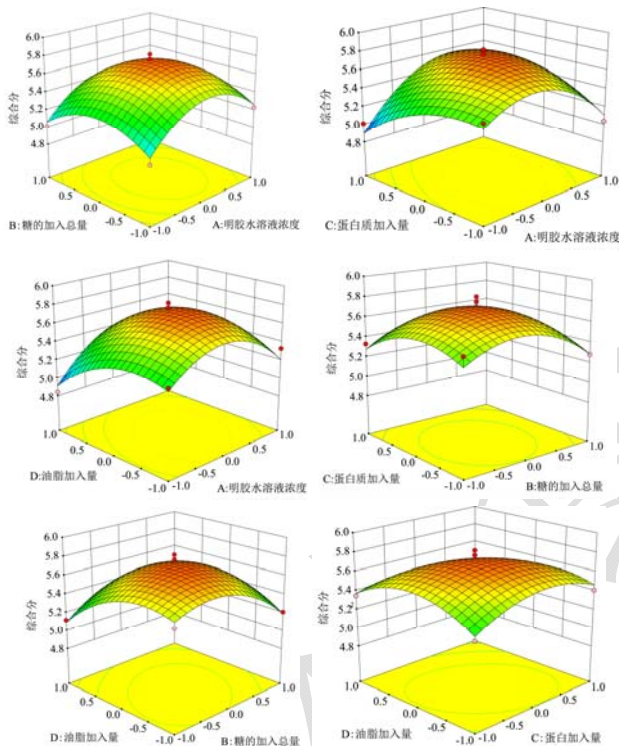


图 10 糖的加入总量、明胶水溶液浓度、蛋白质加入总量、油脂加入量交互影响的响应面图和等高线图

Fig.10 Response surface diagram and contour plot interacting with the total amount of sugar the concentration of aqueous gelatin solution, the total amount of protein and the total amount of oil

2.4 最佳配方的确定和回归模型的验证

通过响应面法得到能量胶适宜配方为: 明胶水溶液浓度 25.83%, 糖的加入总量 62.43%, 蛋白质的加入量 25.4%, 植物油的加入量 24.92%, 综合得分 5.85。建议每天食用量不高于 415 g。为便于产业化控制, 调整最佳配方为明胶水溶液的浓度为 25%, 糖的加入总

量为 62%, 蛋白质的加入量 25%, 植物油的加入量 25%, 在此条件下进行验证试验, 综合得分为 5.78, 与理论值接近。

2.5 不同能量胶体外抗氧化能力比较研究

2.5.1 ABTS⁺清除能力的比较分析

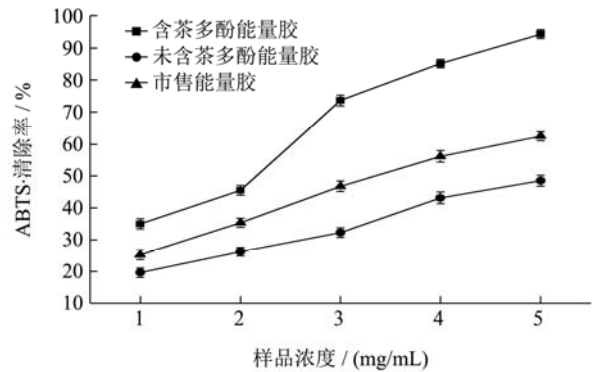


图 11 三种产品对 ABTS⁺清除能力的差异

Fig.11 Differences of ABTS⁺ scavenging ability among the three products

由图 11 可知, 三种产品均对 ABTS⁺ 有清除作用, 且存在量效关系。三种产品当样品浓度在 1~5 mg/mL 之间时, 对 ABTS⁺ 清除能力都增强。在相同浓度下, 含茶多酚的能量胶对 ABTS⁺ 清除率要明显高于市售能量胶和未加茶多酚的能量胶 ($p < 0.05$), 说明含茶多酚的能量胶具有很好的抗氧化能力。这与唐煜括^[25]等研究仙毫茶多酚对 ABTS⁺ 清除作用的结果相似。三种样品对 ABTS⁺ 清除率的 IC₅₀ 分别为 1.75 mg/mL (含茶多酚的能量胶)、3.22 mg/mL (市售能量胶)、5.86 mg/mL (未含茶多酚能量胶), 进一步说明茶多酚能量胶具有较强清除 ABTS⁺ 的能力。三种样品对 ABTS⁺ 清除能力的大小依次为含茶多酚的凝胶型能量胶 > 市售流体状能量胶 > 未含茶多酚的能量胶。

2.5.2 OH 清除能力比较分析

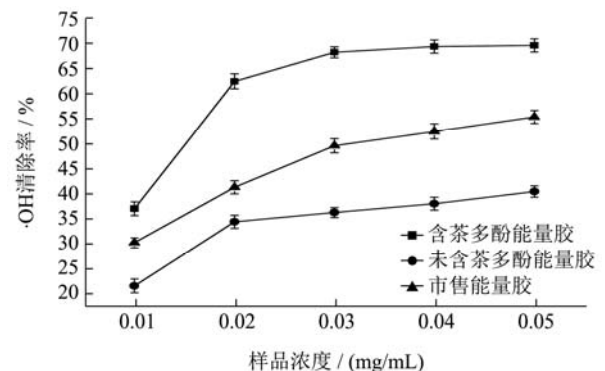


图 12 三种产品对 ·OH 清除能力的差异

Fig.12 Differences of ·OH scavenging ability among the three products

由图 12 结果可知, 在试验浓度范围内, 随着三种

产品的浓度增大,对·OH清除作用逐渐增强,含茶多酚的能量胶清除·OH的能力高于同浓度的市售能量胶和未含茶多酚的能量胶($p<0.05$),当物质浓度达到0.03 g/mL时,含茶多酚能量胶的·OH清除率达到68%左右,随后清除率增加变化缓慢且趋于平缓。三种样品对·OH清除率的 IC_{50} 分别为0.02 g/mL(含茶多酚能量胶)、0.03 g/mL(市售能量胶)、0.10 g/mL(未含茶多酚能量胶),由此可见,三种产品中,含茶多酚的能量胶清除·OH的能力最强,能够有效的清除自由基。三种样品对·OH清除能力的大小依次为含茶多酚凝胶型能量胶>市售流体状能量胶>未含茶多酚能量胶。

2.5.3 总还原能力的比较分析

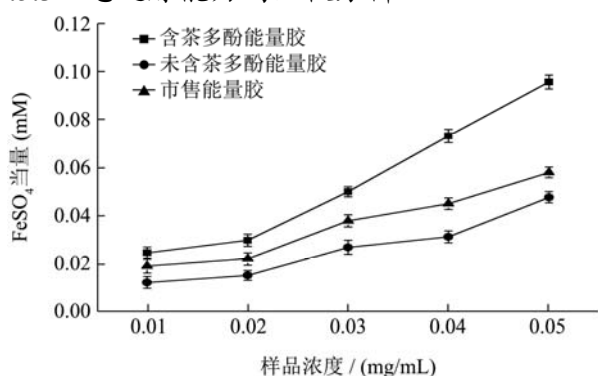


图 13 三种产品总还原能力的差异

Fig.13 Differences of the total reduction ability among the three products

由图 13 可以看出,在试验浓度范围内,随各样品浓度逐渐增加,总还原力显著升高,在相同浓度下,含茶多酚能量胶的总还原力要高于市售能量胶和未含茶多酚能量胶($p<0.05$)。由此可见,含茶多酚能量胶有明显的还原能力。在杨皓彬^[26]等研究白茶中茶多酚的总还原力与本实验结果相似。三种样品的总还原力的大小依次为含茶多酚的凝胶型能量胶>市售流体状能量胶>未含茶多酚的能量胶。

3 结论

3.1 具有抗氧化功能能量胶适宜配方为:以明胶溶液质量为基准,明胶溶液浓度 25%;蔗糖:麦芽低聚糖为 1:1,总糖的加入量 62.43%,乳清蛋白:大豆分离蛋白为 3:1,总蛋白 25.4%,植物油 24.92%,可可脂 25%,复合维生素 1.07%,茶多酚 0.19%。比较分析含茶多酚凝胶型能量胶、市售流体状能量胶、未含茶多酚能量胶的体外抗氧化能力,发现含茶多酚凝胶型能量胶清除 $ABTS^+$ 能力显著优于市售流体状能量胶和未含茶多酚能量胶($p<0.05$),含茶多酚凝胶型能量胶清除·OH 的能力高于同浓度的市售流体状能量胶和未含茶多酚的能量胶($p<0.05$),三种样品的总还原力

的大小依次为含茶多酚凝胶型能量胶>市售流体状能量胶>未含茶多酚能量胶该能量胶。

3.2 综上所述,本产品能量胶与传统能量胶相比,在原料上对产品进行改革创新,丰富了能量胶的品种和营养、口感更好、且产品具有较强抗氧化功能和较高能量密度。为功能性的食品开发,提供积极指导作用。

参考文献

- [1] F Brouns. Functional foods for athletes [J]. Trends in Food Science Technology, 1997, 8(11): 358-363
- [2] 姚妙爱.淀粉能量胶的工艺研究[J].粮油食品科技,2013,21(6):15-17
YAO Miao-ai. Study on the technology of starch energy glue [J]. Food and Oil Science and Technology, 2013, 21(6): 15-17
- [3] 刘晓欣.淀粉质能量胶的研制及其性能的研究[D].无锡:江南大学,2006
LIU Xiao-xin. Preparation of starch energy gum and study on its properties [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006
- [4] P Laure, A Kriebitzsch-Lejeune. Retail pharmacists and doping in sports: Knowledge and attitudes [J]. Science Sports, 2000, 15(3): 279-294
- [5] Asker E Jeukendrup. Carbohydrate intake during exercise and performance [J]. Nutrition, 2004, 20(7): 669-677
- [6] 杨则宜.全球运动营养食品的发展趋势[J].食品工业科技, 2015,36(24):24-25
YANG Ze-yi. Global sports nutrition food trends [J]. Food Industry Technology, 2015, 36(24): 24-25
- [7] 魏振承,张名位,唐小俊,等.运动营养食品的现状与发展趋势[J].广东农业科学,2012,39(22):234-236
WEI Zhen-cheng, ZHANG Ming-wei, TANG Xiao-jun, et al. Current situation and development trend of sports nutrition food [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(22): 234-236
- [8] M Zhang, Z H Duan, Y J Huan, et al. Preparation technology for semi-fluid high-energy food [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 59(2): 327-330
- [9] 董煜.抗疲劳小麦肽运动能量胶的研发及作用分析[J].食品研究与开发,2017,38(5):148-151
DONG Yu. Development and function analysis of anti-fatigue wheat peptide kinetic gum [J]. Food Research and Development, 2017, 38(5): 148-151
- [10] Rohdewald P. A review of the french maritime pine bark extract (Pycnogenol), an herbal medication with a diverse clinical pharmacology [J]. International Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics, 2002, 40(4): 158-168

- [11] 冯丽琴,杨芙莲,董文宾.富硒茶多酚的体外抗氧化性的研究[J].食品科技,2016,41(12):154-157
FENG Li-qin, YANG Fu-lian, DONG Wen-bin. Antioxidant activities of tea polyphenols from selenium enriched tea [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(12): 154-157
- [12] Cengiz S, Bektas T, Denizk K, et al. Evaluation of metal concentration and antioxidant activity of three edible mushrooms from Mugla, Turkey [J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(5): 1230-1233
- [13] 孙远明.食品营养学[M].北京:中国农业大学出版社,2010
SUN Yuan-ming. Food nutrition [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010
- [14] Fan Z L, Wang Z Y, Liu J R. Cold-field fruit extracts exert different antioxidant and antiproliferative activities *in vitro* [J]. Food Chemistry, 2011, 129(2): 402-407
- [15] Hsu B, Coupar I M, Ng K. Antioxidant activity of hot water extract from the fruit of the *Doum palm*, *Hyphaene the baica* [J]. Food Chemistry, 2006, 98(2): 317-328
- [16] Tsantili E, Konstantinidis K, Christopoulos M V, et al. Total phenolics and Flavonoids and total antioxidant capacity in pistachio(*Pistachis vera* L.) nuts in relation to cultivars and storage conditions [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4): 694-701
- [17] 吴修东,赵谋明,赵强忠,等.明胶冻力和添加量对明胶软糖品质影响的研究[J].现代食品科技,2012,28(4):420-423
WU Xiu-dong, ZHAO Mou-ming, ZHAO Qiang-zhong, et al. Study on the effect of gelatin freezing force and adding amount on the quality of gelatin [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(4): 420-423
- [18] Wagner K H, Derkits S, Herr M, et al. Antioxidative potential of melanoidins isolated from a roasted glucose-glycine model [J]. Food Chem., 2002, 78(3): 375-382
- [19] 凌健斌,郑建仙.低能量烘烤食品的开发[J].食品工业,2000, 6:21-23
LING Jian-bin, ZHENG Jian-xian. Low-energy baking food development [J]. Food Industry, 2000, 6: 21-23
- [20] 马秀婷.豆渣蛋白提取、结构及性质研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2013
MA Xiu-ting. Study on extraction, structure and properties of okara protein [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013
- [21] 刘政,葛佩富,王丽威,等.南瓜籽能量棒的研制[J].应用化工,2011,40(9):1577-1584
LIU Zheng, GE Pei-fu, WANG Li-wei, et al. Development of pumpkin seed energy bar [J]. Applied Chemical Industry, 2011, 40(9): 1577-1584
- [22] Anna-Maijia Lampi, Leena Kataja, Afaf Kama Eldin. Antioxidant activities of α - and γ -Tocopherols in the oxidation of rapeseed oil triacylglycerols [J]. American Oil Chemists Society, 1999, 76(6): 749-755
- [23] 杜荣茂,刘梅森,何唯平.天然功能性食品添加剂茶多酚[J].中国食品添加剂,2004,2:56-60
DU Rong-mao, LIU Mei-sen, HE Wei-ping. Natural and functional food additive-tea polyphenol [J]. Chinese Food Additives, 2004, 2: 56-60
- [24] 吴佳敏.茶多酚及其改性衍生物抗氧化性研究[J].中国食品添加剂,2009,1:110-113
WU Jia-min. Antioxidant activity of tea polyphenols and its derivatives [J]. Chinese Food Additives, 2009, 1: 110-113
- [25] 唐煜括,左聪聪,李佳笑,等.汉中仙毫茶多酚与维生素 C 抗氧化及抑菌活性的协同作用[J].食品科学技术学报,2017, 35(3):55-60
TANG Yu-kuo, ZUO Cong-cong, LI Jia-xiao, et al. Synergism of antioxidant and antibacterial activity of polyphenols and vitamin C from xianzhao xiangan tea [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(3): 55-60
- [26] 杨皓彬,杨娜,柏雪,等.白茶中茶多酚提取工艺及抗氧化活性的研究[J].中国食品学报,2014,14(12):24-31
YANG Hao-bin, YANG Na, BAI Xue, et al. Study on extraction process and antioxidant activity of tea polyphenols in white tea [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 24-31