

利用竹叶抗氧化物和茶多酚制作低羧乙基赖氨酸含量曲奇的研究

程璐¹, 欧阳立群², 张英¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江杭州 310058)

(2. 福建省产品质量检验研究院, 福建福州 350002)

摘要: 羧乙基赖氨酸 (CEL) 是通过美拉德反应形成的一种晚期糖基化终末产物 (AGEs)。本文研究了四种天然来源的食品抗氧化剂: 水溶性竹叶抗氧化物 (AOB-w)、水溶性茶多酚 (TP-w)、油溶性竹叶抗氧化物 (AOB-o) 和油溶性茶多酚 (TP-o) 对曲奇中 CEL 形成的抑制作用, 确定了抑制曲奇中 CEL 的合适抗氧化剂及其添加剂量。空白对照组和试验组曲奇均在 205 °C、11 min 焙烤条件下制得, CEL 含量采用 UPLC-MS/MS 法准确测量。通过 DPPH 和 ABTS 抗氧化体系评价、感官评定和曲奇其他品质参数的测定, 来评价试验组和空白对照组的差异。研究表明四种抗氧化剂对 CEL 的形成有显著的抑制作用, 当添加剂量为 0.01~0.05% (*m/m*) 时, 抑制率变化范围为 7.29~67.25%; 尤其当 AOB-o 的添加剂量为 0.03% (*m/m*) 时, 曲奇中 CEL 的含量达到最低值 (3.71±0.01 mg/kg), 同时, 产品的抗氧化活性的显著提高, 原有的品质属性和感官特性也未受到任何不良影响。

关键词: 曲奇; 羧乙基赖氨酸; 竹叶抗氧化物; 茶多酚; 危害物控制

文章编号: 1673-9078(2014)5-232-238

Production of Cookies with low *N*-(carboxyethyl) lysine Concentration by Addition of Antioxidant of Bamboo Leaves and Tea Polyphenols

CHENG Lu¹, OUYANG Li-qun¹, ZHANG Ying¹

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(2. Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality, Fuzhou 350002, China)

Abstract: *N*-(carboxyethyl) lysine (CEL) is a kind of advanced glycation end-products (AGEs) derived from Maillard Reaction. The effect of four natural sources of antioxidants, including water-soluble antioxidant of bamboo leaves (AOB-w), water-soluble tea polyphenols (TP-w), oil-soluble antioxidant of bamboo leaves (AOB-o) and oil-soluble tea polyphenols (TP-o) on CEL formation in cookies were investigated and the optimal mitigation strategy was summarized. The cookie dough with or without addition of the selected antioxidants was all baked at 205 °C for 11 min and the CEL contents in the final products were quantified by UPLC-MS/MS. The antioxidant activity, sensory evaluation and evaluation of other cookie quality attributes, including diameter, thickness, spread ratio, color, moisture content and texture were also performed. The results showed that the CEL content in control cookies was 11.97 ± 0.26 mg/kg. Four antioxidants at the addition level of 0.01~0.05% (*m/m*) effectively inhibited CEL formation with 7.29~67.25 % inhibitory rates. And the addition of 0.03% (*m/m*) AOB-o induced the lowest CEL content (3.71 ± 0.01 mg/kg) in cookie. Further experiments confirmed that 0.03% AOB-o addition treatment significantly increased the antioxidant activity of cookies by DPPH and ABTS assays and kept the original quality attributes and sensory properties of cookies.

Key words: cookies; *N*-(carboxyethyl) lysine; antioxidant of bamboo leaves; tea polyphenols; hazard control

晚期糖基化终末产物 (AGEs) 主要是在非酶促

条收稿日期: 2013-12-12

基金项目: 国家“973”计划项目 (2012CB720806); 国家科技支撑计划课题 (2012BAK01B03)

作者简介: 程璐 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向为天然产物与食品化学污染物的控制

通讯作者: 张英 (1961-), 女, 博士生导师, 教授, 研究方向为天然产物与人类健康

件下, 通过还原糖 (葡萄糖、果糖、戊糖等) 和蛋白质、脂质或核酸等大分子物质经过缩合、重排、裂解、氧化修饰等一系列反应后产生的复杂混合物, 为一类美拉德反应伴生化学危害物^[1]。人体内的 AGEs 有两个来源: 机体自身产生的称作内源性 AGEs, 外部摄入的称作外源性 AGEs。其中, 外源性 AGEs 大部分由膳食带入人体, 是人体 AGEs 的主要来源。曲奇是休闲类焙烤食品中消费量最大的一种, 由于其高糖、

高油、高蛋白的配方特点和高温焙烤的加工特性,十分有利于美拉德反应伴生危害物的形成。迄今,已发现的 AGEs 化合物有 20 多种,包括羧甲基赖氨酸(CML)、羧乙基赖氨酸(CEL)和戊糖苷素等。CEL(化学结构如图 1 所示)在生物组织中的含量仅次于 CML,被认为主要由丙酮醛或磷酸丙糖与赖氨酸反应生成^[2],与肾病、糖尿病等疾病的发生和衰老的发展有着十分密切的关系^[3]。目前国内外关于食品中 AGEs 的抑制研究刚刚起步^[4],且研究对象比较单一,多集中在 CML 上,对于食品体系中其他 AGEs 成分的研究还十分罕见。本研究以曲奇为研究体系,探索天然来源的抗氧化剂对焙烤过程中 CEL 形成的抑制作用。

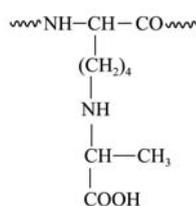


图 1 CEL 的化学结构

Fig.1 Chemical structures of N-(carboxyethyl) lysine

竹叶抗氧化物(AOB)源自竹叶的酚性部位,主要活性成分为黄酮和酚酸类化合物,分为水溶性(AOB-w)和油溶性(AOB-o)两类制剂形态。茶多酚(TP)是茶叶中多酚类物质的总称,包括黄烷醇类、花色苷类、黄酮类、黄酮醇类和酚酸类等。其中以黄烷醇类物质(儿茶素)最为重要。TP也分为水溶性(TP-w)和油溶性(TP-o)两类制剂形态。AOB和TP均为我国政府批准使用的食品抗氧化剂(列入国标GB2760)。本研究在曲奇制作过程中分别添加不同种类和不同剂量的AOB-w、TP-w、AOB-o和TP-o,考察这四种抗氧化剂在焙烤过程中对CEL形成的抑制作用,以期获得CEL含量低、食用安全性高的优质曲奇产品。

1 材料与方法

1.1 原材料

AOB-w由杭州尤美特生物科技有限公司(总酚含量 $\geq 40\%$)提供;AOB-o为本课题组自制(总酚含量 $\geq 20\%$);TP-w(总酚含量 $\geq 40\%$)和TP-o(总酚含量 $\geq 20\%$)由杭州普丽美地生物科技有限公司提供;CEL标准品(纯度98.6%)和 d_4 -CEL同位素(纯度98.6%)购自法国NeoPMS公司;九氟戊酸和乙腈为色谱纯;其它化学试剂为分析纯。超纯水由法国Millipore公司的Milli-Q水纯化系统制备。曲奇制作的原辅料均为市售产品。

1.2 主要仪器设备

烤箱,SE-51382,中国上海华伦食品机械有限公司;搅拌机,Varimixer Bear,丹麦 Wodschow 公司;分析研磨机,IKA-A11,德国 IKA 公司;离心机,Hettich Universal 320R,德国 Hettich 公司;CR-400 便携式色差仪,日本美能达公司;Ez-Test-500N 质构仪,日本岛津公司;SynergyTM HT 型多功能酶标仪,美国 Bio-Tek 公司;Waters AcquityTM 超高效液相色谱系统、Waters Premier XE 三重四级杆串联质谱仪,美国 Waters 公司;Supelco C₁₈ 固相萃取柱,500 mg, 3 mL,美国 Sigma 公司;其他均为实验室常规设备。

1.3 试验方法

1.3.1 曲奇的制作

表 1 曲奇配方

Table 1 Cookie recipes

原料	质量/g
蔗糖(细粒)	33.6
脱脂奶粉	0.8
盐	1
小苏打(碳酸氢钠)	0.8
通用起酥油	32
高果糖玉米糖浆(HFCS),42%	1.2
碳酸氢铵	0.4
去离子水	17.6
四种抗氧化剂	按不同剂量添加

注:每 80 g 面粉中加入如表 1 配比的辅料。

曲奇的制作方法参考美国谷物化学家协会制定的 AACC 10-54 方法^[5],曲奇配方如表 1 所示。AOB-w、TP-w、AOB-o 和 TP-o 四种抗氧化剂分别按照 0.01%、0.02%、0.03%、0.04%和 0.05% (m/m) 五种剂量添加到曲奇面团中。其中,AOB-w 和 TP-w 溶于水后再与其他原辅料混合、制成面团,AOB-o 和 TP-o 溶于起酥油后再与其他原辅料混合、制成面团。共有 20 个试验组,同时设 1 个空白对照组(即不添加抗氧化剂),每组试验重复 3 次。曲奇面团用模具制成直径 5 cm、厚度 3 mm 的坯后,在 205 °C 下焙烤 11 min。焙烤后的曲奇在室温(25 °C)下冷却 30 min 后,于-20 °C 冰箱中保存,备用。

1.3.2 曲奇的品质分析

外观(直径、厚度和延展度)采用 AACC 10-54 方法进行测量^[5]。

水分含量采用 AACC 44-15 A 烘箱干燥法^[5]进行测量。

表面颜色用色差仪检测^[6],通过参数 L^* 、 a^* 和 b^* 值按照如下公式计算出 E 值:

$$E=(L^*+a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$$

质构特性用硬度来衡量,硬度是指探头运动周期中的最大力值(N)。曲奇放置于质构仪中间距为 30 mm 的两水平支座上;测定探头:齿形探头 C (NO.346-51815-02);检测模式:三点弯曲测试;探头运动方式:一次往复;测试速度:0.5 mm/s。

1.3.3 曲奇的抗氧化活性测定

1.0 g 粉碎曲奇样品用 10 mL 80%的甲醇在 30 °C 振荡提取 1 h 后,以 10,000 r/min 的转速在 4 °C 离心 10 min,提取液用滤纸过滤,采用相同方法对滤渣再提取两次,三次的提取液合并混匀后,于-80 °C 保存。采用 DPPH 和 ABTS 两种方法对曲奇的抗氧化活性进行体外评价。以 Trolox 为标准品,制作标准曲线,结果均以 Trolox 当量抗氧化能力 TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) 表示。

1.3.3.1 DPPH 方法

在 Delgado-Andrade 等^[7]所建方法上进行改进以适合酶标仪检测。在 96 孔酶标板各微孔中加入 40 μ L 提取液或 Trolox 标准溶液 (0、50、100、150、200、300、500 μ mol/L)、200 μ L 甲醇溶液和 60 μ L DPPH 甲醇溶液 (500 mg/L),混合 30 s,30 °C 避光静置 60 min,在 517 nm 波长下读取吸光度。

1.3.3.2 ABTS 方法

在 Delgado-Andrade 等^[7]所建方法上进行改进以适合酶标仪检测。在 96 孔酶标板各微孔中加入 10 μ L 提取液或 Trolox 标准溶液 (0、50、100、150、200、300、500 μ mol/L) 和 200 μ L ABTS⁺工作液,混合 30 s,30 °C 避光静置 10 min,在 734 nm 波长下读取吸光度。

1.3.4 曲奇中 CEL 含量的测定

曲奇中 CEL 的含量采用 UPLC-MS/MS 法测定,在已有文献报道的基础上作适当修改^[8]。

样品预处理:准确称取 1.0 g 粉碎曲奇样品,经 15 mL 正己烷脱脂 3 次后 (5+5+5 mL),加入 10 mL Na2B4O7 缓冲液 (0.2 mol/L, pH 9.2) 和 5 mL NaBH4 (1 mol/L,以 0.1 mol/L NaOH 配制),于 4 °C 还原 8 h;加入 10 mL 氯仿/甲醇 (2:1, V/V),13,000 r/min 离心 10 min 后,弃去上清液;向沉淀物中加入 20 mL HCL (6 mol/L),于 110 °C,水解 24 h;取出冷却至室温,用超纯水定容至 50 mL 后,用滤纸过滤、收集滤液。准确量取 1 mL 滤液,加入 0.8 μ g/mL d4-CEL 内标 200 μ L,充分混匀后利用事先平衡好的 C₁₈固相萃取柱净化。

色谱条件:色谱柱采用 Waters Acquity UPLC™

BEH C₁₈柱 (50 mm×2.1 mm, 1.7 μ m)。流动相 A 为 5 mmol/L 九氟戊酸水溶液,流动相 B 为乙腈,流动相梯度见表 2。流速:0.2 mL/min;柱温:50 °C;进样量:7.5 μ L。

表 2 流动相梯度

Table 2 The gradient of flowing phase

Time/min	A/%	B/%
0	90	10
0.4	90	10
4.2	20	80
6.7	20	80
7.7	90	10

质谱条件:电喷雾正离子 (ESI+) 模式。毛细管电压:3.0 kV;锥孔电压:20 eV;离子源温度:130 °C;脱溶剂温度:400 °C。监测方式:多反应监测 (MRM) 模式。CEL:219>84 (碰撞能量 16 eV);d₄-CEL:223>88 (碰撞能量 18 eV)。

1.3.5 感官评定

表 3 曲奇的感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation criteria of cookies

评分指标	评分级别	评分标准
形态	4~5 分	外形完整,大小基本均一,饼体延展适度
	2~3 分	外形较完整,大小较均一,饼体延展较适度
	0~1 分	外形不完整,大小差异大,饼体延展不适度
色泽	4~5 分	呈自然的金黄色,色泽基本均匀,无斑点
	2~3 分	呈深褐色或浅黄色,色泽较均匀,有一定的斑点
	0~1 分	呈黑色或白色,色泽不均匀,有较多斑点
滋味与口感	4~5 分	有浓郁的特有香味,无异味,口感酥松
	2~3 分	有一定的特有香味,无异味,口感较酥松
	0~1 分	无特有香味,有异味或带苦味,口感不酥松
组织	4~5 分	质地均匀,断面结构细密,无较大孔洞
	2~3 分	质地较均匀,断面结构较细密,无较大孔洞
	0~1 分	质地不均匀,断面结构粗疏,有较大孔洞

感官评定方法按照《中华人民共和国轻工业行业标准》QB/T 1433.5 的要求并参考有关文献^[9],采用评分检验法。邀请年龄在 22~47 岁对感官评定有丰富经验的志愿者 (10 名男性,10 名女性) 对不同组别的曲奇样品从形态、色泽、滋味与口感、组织和总体接受度五方面进行评分,每项满分为 5 分。曲奇的感官评分标准如表 3 所示。

1.4 统计学分析

所有数据均以 (平均值±标准偏差) 的方式表示;使用软件 SPSS 19.0 进行数据分析;采用 Duncan's 多

重比较法进行显著性分析 ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。

2 结果与讨论

2.1 AOB 和 TP 对曲奇 CEL 形成的影响

不同抗氧化剂抑制曲奇中 CEL 形成的剂量-效应关系如图 2 所示。不添加任何抗氧化剂的空白对照组中测得最高的 CEL 含量 (11.97 ± 0.26 mg/kg)，所有试验组的数据表明，AOB-w、TP-w、AOB-o 和 TP-o 均能有效降低 CEL 的含量。添加 0.01%、0.02%、0.03%、0.04% 和 0.05% 五种不同 AOB-w 剂量的曲奇中，CEL 的抑制率分别为 9.11%、21.22%、25.27%、36.90% 和 31.87%，均明显小于空白对照组，说明 AOB-w 对曲奇中 CEL 的形成具有良好的抑制效果，且抑制率与 AOB-w 的添加剂量有关。AOB-w 的添加剂量在 0.01%~0.04% 之间，抑制率逐渐升高，而添加剂量继续升高 (0.05%)，AOB-w 虽然依然表现出显著的抑制效果 ($p < 0.01$)，但是抑制率开始呈下降趋势。TP-w 抑制 CEL 的剂量-效应关系显示：除添加 0.01% TP-w 的试验组外，其余添加剂量下的 TP-w 均对曲奇中 CEL 表现出显著的抑制效果 ($p < 0.01$)。在添加剂量 0.01~0.05% 范围内，TP-w 对曲奇中 CEL 的抑制率分别为 1.84%、18.64%、19.30%、26.98% 和 25.08%。因此 AOB-w 和 TP-w，这两种水溶性天然抗氧化剂均在 0.04% 添加剂量下表现出各自的最高抑制率 (36.90% 和 26.98%)。在上述五种不同添加剂量下，AOB-o 对 CEL 的抑制率分别为 34.21%、55.06%、67.25%、41.00% 和 27.15%，TP-o 对 CEL 的抑制率分别为 11.70%、16.24%、29.32%、14.95% 和 7.29%，因此这两种油溶性天然抗氧化剂均在 0.03% 的添加剂量时表现出各自的最高抑制率 (67.25% 和 29.32%)。

Duncan's 多重比较结果表明，除添加 0.01% 剂量的 TP-w 试验组外，其他 19 个试验组的 CEL 含量与空白对照组相比均有极显著差异 ($p < 0.01$)。此外，在 0.01%~0.03% 的添加剂量范围内，AOB-o 对 CEL 的抑制率明显高于相应剂量的 AOB-w、TP-w 和 TP-o ($p < 0.05$)。其中，添加 0.03% AOB-o 的曲奇样品检测出最低的 CEL 含量 (3.71 ± 0.01 mg/kg)，对曲奇中 CEL 的抑制效果最好

Su-Chen Ho^[10]以牛血清蛋白-丙酮醛和牛血清蛋白-葡萄糖为模拟体系，研究了几种草本植物浸提物对荧光性 AGEs 的抑制作用，指出发挥抑制作用的有效成分主要是酚酸类和黄酮类物质。相关研究表明 AGEs 形成过程中发生了氧化反应，多酚类物质可以

通过清除自由基来降低氧化压力、减少活性羰基和二羰基的数目等，抑制美拉德反应中间产物 (Amadori 产物) 向 AGEs 转化，从而减少 AGEs 的形成^[11]，因此曲奇中 AOB 和 TP 对 CEL 的抑制机理可能与其抗氧化活性和清除自由基的能力有关。此外 AOB 和 TP 具有多种官能团，还可能参与促进 CEL 形成的某些反应，CEL 的最终含量是一系列相关反应共同作用的结果。在一定范围内，提高 AOB 或者 TP 的添加剂量对抑制 CEL 的形成较为有利，随后增加添加剂量反而削弱了抑制 CEL 的效果。

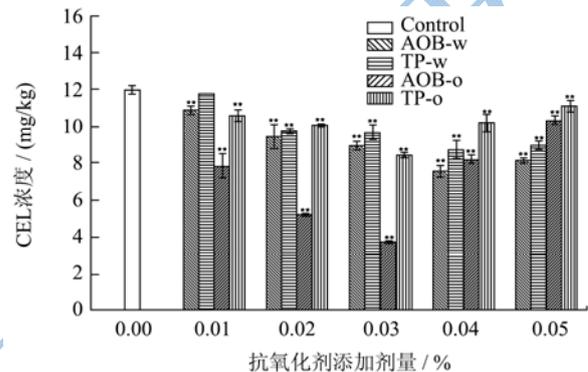


图 2 不同抗氧化剂对曲奇中 CEL 形成的抑制作用

Fig.2 The inhibitory effects of different antioxidants on the formation of CEL in cookies

注：(误差线为标准差，n=6) **， $p < 0.01$ 。

2.2 AOB 和 TP 对曲奇品质的影响

合适的抑制食品中有害物质的方法，不但应尽量满足达到既定目标，还需不破坏食品的原有品质，不降低消费者对该食品的接受度。因此我们将所有试验组和空白对照组作比较，考察 AOB 和 TP 对曲奇品质的影响。

2.2.1 AOB 和 TP 对曲奇抗氧化活性的影响

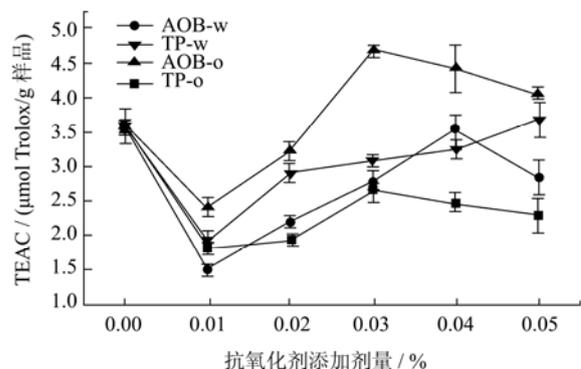


图 3 DPPH 法测不同抗氧化剂对曲奇抗氧化活性的影响

Fig.3 Effects of different antioxidants on the antioxidant activity of cookies measured by DPPH assay

注：误差线为标准差，n=6。

本研究采用 DPPH· 和 ABTS⁺ 二种自由基清除体

系来衡量曲奇的抗氧化活性, 结果如图 3 和 4 所示。DPPH·是一种稳定的深紫色自由基。DPPH 法通过测定抗氧化物质引起的体系颜色变化来反映抗氧化物质清除 DPPH·的能力, 该方法简单快速、灵敏可靠, 所以在国内外被广泛用于抗氧化活性的研究。ABTS⁺也是一种稳定的有机自由基, ABTS 法通过测定抗氧化物质与 ABTS⁺反应产生的颜色变化来反映抗氧化物质清除 ABTS⁺的能力, 该方法简单快速、pH 适用范围广、可用于亲水性和疏水性物质的抗氧化能力测定, 也是目前广泛使用的检测抗氧化活性的方法之一。

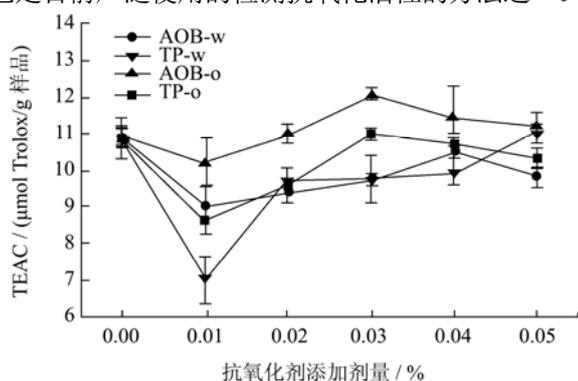


图 4 ABTS 法测不同抗氧化剂对曲奇抗氧化活性的影响。

Fig.4 Effects of different antioxidants on the antioxidant activity of cookies measured by ABTS assay

注: 误差线为标准差, n=6。

国内外研究表明, 一些美拉德反应产物, 主要是类黑精、还原酮类和一系列含氮、硫的挥发性杂环化合物, 具有一定的抗氧化活性^[12], 有些产物的抗氧化活性甚至强于食品中常用的抗氧化剂, 因此, 试验组曲奇的抗氧化活性受到所添加的抗氧化剂和具有抗氧化活性的美拉德反应产物的共同影响。天然抗氧化剂

生物学活性上的差异主要体现在结构差异上, AOB-w、TP-w、AOB-o 和 TP-o 对曲奇抗氧化活性的影响不同, 可能与它们含有的芳羟基的数目和位置有密切关系。Lien 等^[13]通过建立 TEAC 值和芳环羟基数目的定量结构-活性关系 (QSAR) 模型证实了该结论。

当添加 0.03% AOB-o 时, 曲奇体系的抗氧化活性最高, 通过 DPPH 法和 ABTS 法所测得的 TEAC 值分别为 4.69±0.06 和 12.03±0.06 μmol Trolox/g 样品 (p<0.01), 均显著高于空白对照组和其他试验组曲奇。研究表明提高食品体系的抗氧化活性不但可以延长食品的货架期, 还有利于促进人体健康^[14]。

2.2.2 AOB 和 TP 对曲奇品质参数的影响

AACC 方法仅对曲奇的外观 (直径、厚度和延展度) 进行了评价^[5], 但是目前已经有学者在研究曲奇品质时, 加入了其他的评价指标。本实验选择外观、水分含量、表面颜色和硬度来评价曲奇品质。

水分含量是影响曲奇质地和储藏的一个重要因素。水分过高, 会加快微生物的繁殖及油脂氧化, 使曲奇的保质期缩短。颜色是曲奇烘烤过程中最重要的变化之一, 采用 CIE1976 L* a* b* 均匀颜色空间对应的 E 值来表征曲奇的颜色, 模拟人眼对颜色的感觉。硬度是使曲奇达到一定形变所需要的力, 是评价曲奇质地的主要指标之一。硬度的改变会对曲奇的口感产生影响, 同时也会影响曲奇的包装特性。如表 4 所示, 与空白对照组相比, AOB 和 TP 的添加对曲奇的外观、水分含量、和硬度都没有显著影响 (p>0.05)。除了 AOB-o 和 TP-o 的添加剂量为 0.05% 时, 其他抗氧化剂在 0.01~0.05% 的添加剂量范围内, 对曲奇的颜色 (E 值) 也不产生显著影响 (p>0.05)。

表 4 曲奇品质参数比较 (n=12)

Table 4 Quality attributes of cookies (n=12)

组别		外观			水分含量	表面颜色	硬度
抗氧化剂	添加剂量/%	直径/cm	厚度/mm	延展度	/%	/E	/N
-	-	5.33±0.09 ^a	6.25±0.05 ^a	8.54±0.08 ^a	3.21±0.00 ^a	53.48±0.18 ^{abc}	13.02±0.17 ^{ab}
AOB-w	0.01	5.30±0.19 ^a	6.14±0.14 ^a	8.63±0.13 ^a	3.21±0.01 ^a	53.55±0.34 ^{ab}	12.88±0.53 ^{ab}
AOB-w	0.02	5.22±0.12 ^a	6.10±0.18 ^a	8.55±0.08 ^a	3.22±0.01 ^a	52.70±0.17 ^{bcde}	12.96±0.21 ^{ab}
AOB-w	0.03	5.27±0.17 ^a	6.21±0.15 ^a	8.49±0.10 ^a	3.21±0.01 ^a	53.09±0.85 ^{abcde}	12.66±0.27 ^{ab}
AOB-w	0.04	5.18±0.20 ^a	6.16±0.18 ^a	8.41±0.34 ^a	3.21±0.02 ^a	53.71±0.48 ^{ab}	12.54±0.15 ^{ab}
AOB-w	0.05	5.20±0.17 ^a	6.21±0.08 ^a	8.38±0.18 ^a	3.22±0.02 ^a	52.31±0.50 ^{cde}	12.58±0.28 ^{ab}
TP-w	0.01	5.25±0.10 ^a	6.09±0.16 ^a	8.63±0.39 ^a	3.21±0.00 ^a	53.13±0.70 ^{abcde}	12.48±0.31 ^b
TP-w	0.02	5.29±0.15 ^a	6.27±0.02 ^a	8.45±0.22 ^a	3.21±0.01 ^a	52.75±0.97 ^{bcde}	12.59±0.20 ^{ab}
TP-w	0.03	5.29±0.26 ^a	6.16±0.25 ^a	8.59±0.07 ^a	3.22±0.01 ^a	53.36±0.77 ^{abcd}	12.78±0.02 ^{ab}
TP-w	0.04	5.26±0.30 ^a	6.15±0.22 ^a	8.55±0.36 ^a	3.21±0.01 ^a	52.65±0.52 ^{bcde}	13.06±0.13 ^{ab}
TP-w	0.05	5.27±0.25 ^a	6.07±0.19 ^a	8.69±0.14 ^a	3.21±0.02 ^a	52.65±0.22 ^{bcde}	12.88±0.22 ^{ab}

转下页

接上页

AOB-o	0.01	5.38±0.24 ^a	6.20±0.24 ^a	8.68±0.05 ^a	3.22±0.00 ^a	53.58±0.96 ^{ab}	13.02±0.14 ^{ab}
AOB-o	0.02	5.26±0.27 ^a	6.13±0.10 ^a	8.58±0.30 ^a	3.21±0.01 ^a	53.23±0.76 ^{abcde}	12.75±0.40 ^{ab}
AOB-o	0.03	5.34±0.20 ^a	6.19±0.16 ^a	8.63±0.12 ^a	3.21±0.01 ^a	53.27±0.83 ^{abcde}	12.98±0.30 ^{ab}
AOB-o	0.04	5.29±0.28 ^a	6.12±0.11 ^a	8.64±0.34 ^a	3.22±0.02 ^a	53.68±0.08 ^{ab}	12.82±0.47 ^{ab}
AOB-o	0.05	5.21±0.16 ^a	6.11±0.24 ^a	8.53±0.27 ^a	3.22±0.01 ^a	52.05±0.74 ^{de}	13.10±0.29 ^a
TP-o	0.01	5.23±0.22 ^a	6.12±0.21 ^a	8.54±0.11 ^a	3.21±0.00 ^a	52.49±0.32 ^{bcde}	12.76±0.30 ^{ab}
TP-o	0.02	5.17±0.24 ^a	6.09±0.20 ^a	8.48±0.18 ^a	3.21±0.00 ^a	53.99±0.49 ^a	12.95±0.31 ^{ab}
TP-o	0.03	5.21±0.27 ^a	6.12±0.23 ^a	8.51±0.18 ^a	3.21±0.01 ^a	53.47±0.10 ^{abc}	12.92±0.42 ^{ab}
TP-o	0.04	5.30±0.05 ^a	6.28±0.03 ^a	8.45±0.10 ^a	3.22±0.00 ^a	53.00±0.19 ^{abcde}	12.81±0.29 ^{ab}
TP-o	0.05	5.26±0.12 ^a	6.16±0.20 ^a	8.54±0.16 ^a	3.22±0.00 ^a	52.18±1.11 ^{de}	12.91±0.13 ^{ab}

注: ^{a-e}不同小写字母代表同一列不同组别之间的差异性, 相同的小写字母为 p>0.05, 不同的小写字母为 p<0.05。

2.2.3 AOB 和 TP 对曲奇感官评定的影响

表 5 曲奇的感官评定结果比较 (n=20)

Table 5 Sensory evaluation results of cookies (n=20)

组别		形态	色泽	滋味与口感	组织	总体接受度
抗氧化剂	添加剂量/%					
-	-	4.66±0.11	4.53±0.27	4.73±0.27	4.72±0.19	4.71±0.08
AOB-w	0.01	4.65±0.16	4.45±0.23	4.71±0.15	4.71±0.24	4.68±0.26
AOB-w	0.02	4.66±0.12	4.50±0.24	4.69±0.17	4.76±0.38	4.69±0.33
AOB-w	0.03	4.71±0.04	4.47±0.25	4.71±0.10	4.74±0.29	4.67±0.13
AOB-w	0.04	4.66±0.15	4.46±0.21	4.73±0.06	4.71±0.31	4.68±0.20
AOB-w	0.05	4.69±0.12	4.52±0.17	4.68±0.37	4.72±0.36	4.73±0.30
TP-w	0.01	4.72±0.06	4.50±0.26	4.72±0.06	4.69±0.25	4.67±0.11
TP-w	0.02	4.65±0.13	4.47±0.25	4.71±0.19	4.68±0.20	4.71±0.33
TP-w	0.03	4.69±0.20	4.49±0.26	4.72±0.14	4.72±0.20	4.69±0.29
TP-w	0.04	4.67±0.13	4.46±0.22	4.71±0.23	4.72±0.33	4.72±0.18
TP-w	0.05	4.65±0.14	4.46±0.25	4.70±0.03	4.70±0.17	4.72±0.14
AOB-o	0.01	4.66±0.06	4.54±0.29	4.69±0.14	4.72±0.38	4.69±0.27
AOB-o	0.02	4.68±0.15	4.52±0.28	4.68±0.15	4.71±0.29	4.68±0.19
AOB-o	0.03	4.74±0.18	4.43±0.21	4.67±0.25	4.68±0.25	4.70±0.14
AOB-o	0.04	4.70±0.02	4.44±0.21	4.69±0.21	4.72±0.16	4.69±0.23
AOB-o	0.05	4.66±0.05	4.43±0.21	4.70±0.09	4.70±0.27	4.68±0.16
TP-o	0.01	4.65±0.15	4.48±0.25	4.69±0.05	4.72±0.20	4.72±0.16
TP-o	0.02	4.70±0.21	4.56±0.15	4.71±0.10	4.71±0.44	4.71±0.26
TP-o	0.03	4.68±0.13	4.47±0.24	4.71±0.17	4.71±0.25	4.68±0.21
TP-o	0.04	4.72±0.04	4.47±0.25	4.69±0.19	4.68±0.42	4.72±0.42
TP-o	0.05	4.69±0.11	4.53±0.16	4.70±0.06	4.69±0.26	4.70±0.10

感官评定是一种全面的感官评价方法, 可以直接反应出消费者的期望, 因此可以为抑制配方是否合适提供参考依据。对空白对照组和试验组同时进行感官评定, 评分结果如表 5 所示。从形态、色泽、滋味与口感、组织和总体接受度方面来看, 试验组与空白对照组相比均无显著性差异 (p>0.05), 说明四种抗氧化剂在 0.01%~0.05%添加范围内对曲奇的感官品质基

本无影响, 不会降低消费者对曲奇的接受度。

3 结论

曲奇是一种高糖、高油、高蛋白的高温焙烤食品, 含有较高浓度的 CEL, 对人体健康具有潜在危害。降低膳食中 CEL 的含量, 有助于降低一些慢性病的发病率和延缓机体衰老。本研究结果表明, AOB-w、TP-w、

AOB-o 和 TP-o 对曲奇中 CEL 的形成均有显著的抑制作用。曲奇配方中 0.03% 的 AOB-o 添加对产品中 CEL 的抑制率达到 67.25%，同时还显著提高其抗氧化活性，且对其商品品质无任何不良影响。综合考虑试验结果，AOB 的效果优于 TP，0.03% 的 AOB-o 表现最为上乘。本研究通过添加来自竹叶和绿茶的抗氧化物有效地控制了曲奇中美拉德反应伴生危害物 CEL 的含量，显著提高了食用安全性，为焙烤类休闲食品的安全制造和流程重构作了十分有益的尝试。

参考文献

- [1] Singh R, Barden A, Mori T, et al. Advanced glycation end-products: a review [J]. *Diabetologia*, 2001, 44(2): 129-146
- [2] Ahmed M, Brinkmann F E, Degenhardt T, et al. N-(carboxyethyl) lysine, a product of the chemical modification of proteins by methylglyoxal, increases with age in human lens proteins [J]. *Biochem. J.*, 1997, 324: 565-570
- [3] Tareke E, Forslund A, Lindh C H, et al. Isotope dilution ESI-LC-MS/MS for quantification of free and total N ϵ -(1-Carboxymethyl)-L-Lysine and free N ϵ -(1-Carboxyethyl)-L-Lysine: Comparison of total N ϵ -(1-Carboxymethyl)-L-Lysine levels measured with new method to ELISA assay in gruel samples [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141: 4253-4259
- [4] Van Nguyen C. Toxicity of the AGEs generated from the maillard reaction: on the relationship of food-AGEs and biological-AGEs [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2006, 50(12): 1140-1149
- [5] AACC. Approved methods of the american association of cereal chemists, 10th ed [S]. The Association: St. Paul, MN, 2000
- [6] 丁超,李汴生,青梅烟熏过程中的色泽变化[J].现代食品科技,2012,28(1):23-26
- [7] DING Chao, LI Bian-sheng. Changes of colors in Prunus mume during smoking process [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(1): 23-26
- [8] Delgado-Andrade C, Rufián-Henares J A, Morales F J. Assessing the antioxidant activity of melanoidins from coffee brews by different antioxidant methods [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(20): 7832-7836
- [9] Assar S H, Moloney C, Lima M, et al. Determination of N-(carboxyethyl) lysine in food systems by ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. *Amino Acids*, 2009, 36(2): 317-326
- [10] 白卫东,钱敏,蔡培钿,等.威化饼干饼皮工艺的研究[J].现代食品科技,2008,11:24-26
- [11] BAI Wei-dong, QIAN Min, CAI Pei-dian, et al. Research on the layer formula of Wafer biscuit [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2008, 11: 24-26
- [12] Ho S C, Wu S P, Lin S M, et al. Comparison of anti-glycation capacities of several herbal infusions with that of green tea [J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(3): 768-774
- [13] Wu C H, Huang S M, Lin J A, et al. Inhibition of advanced glycation endproduct formation by foodstuffs [J]. *Food & Function*, 2011, 2(5): 224-234
- [14] Lingnert H, Waller G R. Stability of antioxidants formed from histidine and glucose by the maillard reaction [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1983, 31(1): 27-30
- [15] Lien E J, Ren S, Bui H H, et al. Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26(3): 285-294
- [16] Summa C, Wenzl T, Brohee M, et al. Investigation of the correlation of the acrylamide content and the antioxidant activity of model cookies [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(3): 853-859