

裸藻对戚风蛋糕品质及抗氧化能力的影响

Effects of *Euglena gracilis* on the quality and antioxidant activity of Chiffon cake

杨槟煌^{1,2}黄玉兰^{1,2}戴聪杰^{1,2,3,4}王宝贝^{1,2,3,4}YANG Binhuang^{1,2} HUANG Yulan^{1,2} DAI Congjie^{1,2,3,4} WANG Baobei^{1,2,3,4}

(1. 福建省海洋藻类活性物质制备与功能开发重点实验室, 福建 泉州 362000;

2. 泉州师范学院海洋与食品学院, 福建 泉州 362000; 3. 近海资源生物技术福建省

高校重点实验室, 福建 泉州 362000; 4. 闽南特色传统食品工程研究中心, 福建 泉州 362000)

(1. Fujian Province Key Laboratory for the Development of Bioactive Material from Marine Algae, Quanzhou, Fujian 362000, China; 2. College of Oceanology and Food Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou, Fujian 362000, China; 3. Key Laboratory of Inshore Resources and Biotechnology Fujian Province University, Quanzhou, Fujian 362000, China; 4. The Engineering Research Center for Characteristic Traditional Food of Southern Fujian, Quanzhou, Fujian 362000, China)

摘要:目的:探索裸藻对戚风蛋糕品质的影响。方法:将裸藻粉添加到戚风蛋糕中,探索不同添加量(0.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0%)对蛋糕比容、含水量、色泽、质构特性、感官评价及蛋糕抗氧化能力的影响。结果:添加裸藻粉后,蛋糕的比容和亮度降低,但其含水量变化不大。随着裸藻粉添加量的增加,蛋糕的硬度、胶着性和咀嚼性明显增大,弹性、回复性、内聚性变化不大。添加裸藻粉可以显著提高蛋糕的抗氧化能力,且抗氧化能力的提高与裸藻粉添加量具有极强的正相关性($P < 0.01$)。综合质构和感官分析,当裸藻粉添加量为 4.0% 时,感官评分最高,羟自由基清除率和总抗氧化能力分别比对照组提高了 15.3% 和 17.0%。结论:在戚风蛋糕中添加裸藻粉,可以显著提高蛋糕的抗氧化能力和营养价值,还能一定程度上改善蛋糕的品质。

关键词:裸藻;戚风蛋糕;比容;抗氧化活性;感官评价

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the effect of *Euglena gracilis* on the quality and antioxidant activity of Chiffon cake and provide a reference for the application of *E. gracilis* in baked goods. **Methods:** *E. gracilis* powder (0.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0% and 8.0%) with different contents were

applied to Chiffon cake. The specific volume, water content, color, texture characteristics, sensory quality score, and antioxidant capacity of the cake were studied. **Results:** The addition of *E. gracilis* powder reduced the specific volume and the brightness of the cake, but had little effect on the water content. As the content of *E. gracilis* powder increased, the hardness, adhesiveness and chewability of the cake increased observably, while the elasticity, resilience and cohesion did not change a lot. The addition of *E. gracilis* powder significantly increased the antioxidant capacity of the cake, and statistical analysis showed that the antioxidant capacity was positively related to the content of *E. gracilis* powder ($P < 0.01$). According to texture and sensory analysis, the sensory quality score of the cake with 4.0% *E. gracilis* powder was the highest. **Conclusion:** The application of *E. gracilis* powder into Chiffon cake significantly improved the antioxidant capacity, nutritional value of the cake and the quality of the cake as well.

Keywords: *Euglena gracilis*; Chiffon cake; antioxidant activity; texture properties; sensory evaluation

基金项目:福建省自然科学基金面上项目(编号:2020J01786);福建省中青年教育科研项目(编号:JAT210299)

作者简介:杨槟煌,女,泉州师范学院助理研究员,硕士。

通信作者:王宝贝(1982—),女,泉州师范学院副教授,博士。

E-mail: baobeiw@qztc.edu.cn

收稿日期:2022-05-28 **改回日期:**2023-10-29

近年来,微藻因富含多不饱和脂肪酸、类胡萝卜素、植物蛋白等功能性成分而被广泛关注。裸藻(*Euglena gracilis*)又称眼虫,因其富含植物蛋白、必需脂肪酸、 β -葡聚糖和多种维生素等营养成分而备受青睐^[1]。裸藻中的蛋白质含量可达干重的 50%,包含丰富的必需氨基酸,其氨基酸评分高于小球藻和螺旋藻的^[1-2]。裸藻中的 β -葡聚糖结构多为独特的直链 β -1,3-葡聚糖(又称为裸藻多糖

或者副淀粉)^[3]。研究^[4]表明,副淀粉具有多种生物活性,包括预防糖尿病、抗病毒、抗肿瘤、缓解炎症等功效。异养培养的裸藻不仅副淀粉含量高(可达干重的67%)^[5-6],还具有良好的口感和气味,其藻粉为淡黄色或金黄色,添加到食品中不仅可以提高营养价值还能赋予食品独特的风味^[7]。

随着生活水平的提高,未来烘焙市场正向着健康、绿色、安全的方向发展^[8-9]。微藻因其富含植物蛋白、必需脂肪酸和多种维生素等营养成分,被广泛应用于健康食品中。小球藻、雨生红球藻、莱茵衣藻等获批新资源食品的微藻已被应用于烘焙食品中^[10-13]。Khemiri等^[13]在无麸质面包中分别加入微拟球藻和莱茵衣藻,两种微藻的添加对面团的混合性能无明显影响,但可以改变面包的色彩,赋予其淡淡的抹茶绿,并显著提高其蛋白质和不饱和脂肪酸含量。在面包或蛋糕中添加适量雨生红球藻粉能够使面包呈淡粉色,并提高其营养价值^[14]。鉴于裸藻的健康功效、营养价值和易吸收性,其在功能性食品和化妆品行业中有着广泛的应用^[7]。裸藻早在2013年就被批准为新资源食品^[15],但有关其在烘焙食品中的应用尚未见报道。研究拟将异养培养的裸藻粉添加到戚风蛋糕中,研究裸藻粉添加量对蛋糕质构、色泽和抗氧化能力的影响,以期营养强化烘焙食品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

裸藻粉:上海光语生物科技有限公司;
蛋糕粉:新良市良润麦业科技实业有限公司;
纯牛奶(伊利)、细砂糖(舒可曼)、玉米油(金龙鱼)和粗粮鸡蛋(仁达):市售;

H₂O₂:30%,广西西陇科学股份有限公司;
FeSO₄·7H₂O、水杨酸、无水乙醇等:分析纯,上海国药集团股份有限公司;

总抗氧化能力(T-AOC)检测试剂盒:北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

烤箱:Hauswirt型,宁波宜德电器有限公司;
全自动色差计:ADICI-60-C型,北京辰泰克仪器技术有限公司;

质构分析仪:TA.XT Plus型,英国Stable Micro Systems公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DGG-9123AD型,上海森信试验仪器有限公司;

电子天平:SQP型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

旋转黏度计:NDJ-8S型,上海昌吉地质仪器有限公司;

酶标仪:Infinite M200 Pro型,瑞士帝肯公司;

冻干机:Alpha 1-4 LSC basic型,德国格玛公司。

1.3 试验方法

1.3.1 蛋糕配方及制作工艺 采用裸藻粉替代部分蛋糕粉添加到戚风蛋糕中,分别考察裸藻粉添加量为0.0%,2.0%,4.0%,6.0%,8.0%(以蛋糕粉的质量百分含量计算)对蛋糕品质的影响。戚风蛋糕的基础配方见表1,制作工艺参照刘璐璐等^[11]的方法并修改(图1)。其中,蛋糕烘烤时上火140℃,下火130℃,中层烘烤60min。

表1 蛋糕配方

Table 1 Basic formula of Chiffon cake

原料	用量/g	质量分数/%
蛋糕粉	60	100.0
玉米油	30	50.0
纯牛奶	35	58.3
细砂糖	37	61.6
鸡蛋黄	32	53.3
蛋白霜	110	183.3

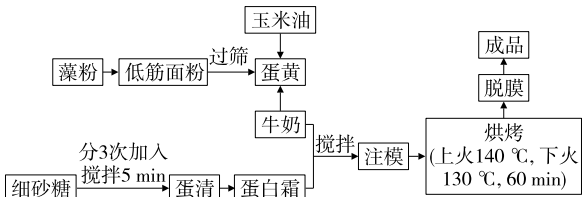


图1 戚风蛋糕制作工艺

Figure 1 Procedure of *E. gracilis* Chiffon cake

1.3.2 蛋糕面糊品质测定

(1) 面糊容重:参照孙玉清等^[16]的方法。

(2) 面糊黏度:取100g制作好的面糊装入烧杯中,使用旋转黏度计4号转子,设置速度6r/min,记录1min时的黏度值。

1.3.3 蛋糕基本指标测定

(1) 比容:参照GB/T 24303—2009。

(2) 含水量:参照GB 5009.3—2016。

(3) 质构参数:P/36R探头,触发力0.049N,初始压缩高度50%,压缩间隔时间5s,测前、测中、测后速度分别为1,3,3mm/s^[11]。取室温下冷却0.5h后的蛋糕制品,切成4cm×4cm×1cm作为检测样品。

(4) 蛋糕芯色泽:采用ADCI-60-C全自动测色差仪进行测定,平行5次取平均值。

1.3.4 蛋糕感官评价 参照GB/T 31059—2014制定感官评价标准,随机选取食品专业20名学生作为参评人员,按表2进行感官评定。

表 2 感官评分标准

Table 2 Criteria of sensory evaluation

指标	评分标准	得分
组织结构	内部组织结构均匀,呈一致的蜂窝状,无硬块,组织细腻、松软	0~20
外观形态	蛋糕形状完整、丰满周正,不变形、不析水、无破裂、不粘边	0~20
表面色泽	表面色泽均匀、油润、有裸藻粉的淡黄色,无发暗、发黑现象	0~20
弹性	蛋糕质地均匀柔软、任何部位轻轻按下后能恢复原状	0~20
气味与滋味	蛋糕风味纯正,苦味淡,口感松软,甜度适中,不粘牙	0~20

1.3.5 抗氧化活性测定

(1) 羟自由基清除率:取冻干蛋糕粉 200 mg,DI 水定容,水浴超声 30 min,并于 25 ℃摇床上 150 r/min 震荡提取 2 h,12 000 r/min 离心 20 min,所得上清即为待测样品。参照 Fenton 反应方法^[11]进行试验,按式(1)计算羟自由基清除率。

$$Y = \left(1 - \frac{A_i - A_x}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y——羟自由基清除率,%;

A₀——对照组吸光值;

A_i——试验组吸光值;

A_x——空白组(不加 H₂O₂)吸光值。

(2) 总抗氧化能力(T-AOC):参照试剂盒说明书。

1.4 数据分析

采用 SPSS Statistics 24.0 软件进行数据分析,其中组间差异采用邓肯分析法,相关性分析采用皮尔逊法。采用 Origin 2018 软件绘图。各试验重复 3 次并用平均值士

标准误差表示,字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 对戚风蛋糕面糊容重、黏度的影响

由图 2 可知,未添加裸藻粉的蛋糕面糊容重为(0.450±0.038) g/mL,当裸藻粉添加量<4.0%时,面糊容重变化不明显,但继续添加裸藻粉,面糊容重明显增加。当裸藻粉添加量为 8.0%时,面糊容重为(0.528±0.016) g/mL,比对照组提高了 17.6%($P < 0.05$),说明添加裸藻粉可降低面糊中空气的保持能力,即混入面糊中气泡的保存率下降。这可能是由于裸藻粉的添加弱化了面筋网络的形成,影响了蛋糕面糊的持气性,使蛋糕面糊容重增大。相比之下,裸藻粉的添加对面糊黏度的影响更小,当裸藻粉添加量为 8.0%时,黏度才略有升高,仅比对照组提高了 3.29%($P < 0.05$)。裸藻粉中的 β-葡聚糖结合水后会产生较大的黏性,使面糊黏度增大,但由于蛋糕中裸藻粉添加量较低,因此添加量较低时未表现出对黏度的影响,与 Khemiri 等^[13]的结果一致。因此,当裸藻粉添加量较低时,其对面糊黏性的影响可以忽略。

2.2 对戚风蛋糕比容和含水量的影响

由图 3 可知,添加裸藻粉后,蛋糕比容显著下降($P < 0.05$)。当裸藻粉添加量为 6.0%时,蛋糕比容为(2.49±0.00) mL/g,比对照组降低了 18.30%,与刘璐璐等^[11,17]的研究结论一致。这可能是由于裸藻粉的加入减少了麦谷蛋白和麦醇溶蛋白的含量,阻碍了面筋网络的形成,面糊的气体保持能力下降,比容降低。由图 4 可知,添加裸藻粉后,戚风蛋糕的含水量稳定在 45.45%~46.39%,与对照组相当,说明裸藻粉对戚风蛋糕含水量的影响较小,与小球藻、雨生红球藻等对蛋糕、面包的影响不一致^[10-11]。这主要是由于与前两种微藻相比,裸藻中油脂等疏水性物质含量较少,因此其含量的增加对蛋糕原料与水结合能力的影响不大^[18]。

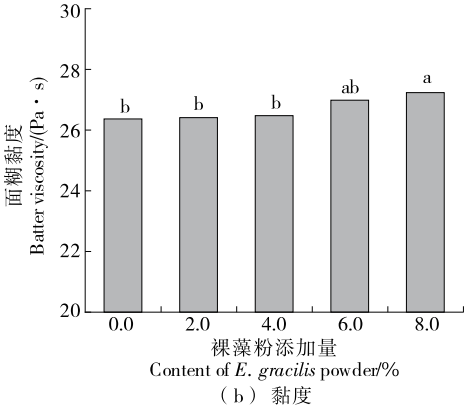
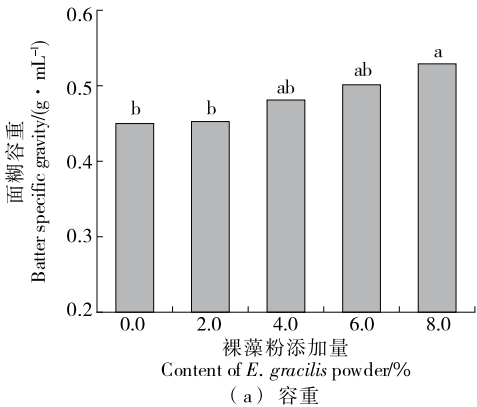


图 2 裸藻粉对戚风蛋糕面糊容重和黏度的影响

Figure 2 Effects of *E. gracilis* on the specific gravity and viscosity of batter

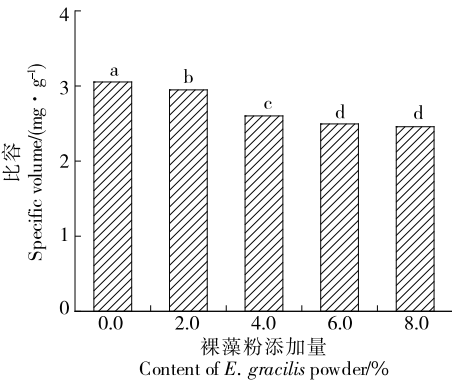


图3 裸藻粉添加量对戚风蛋糕比容的影响
Figure 3 Effects of *E. gracilis* on specific volume of Chiffon cake

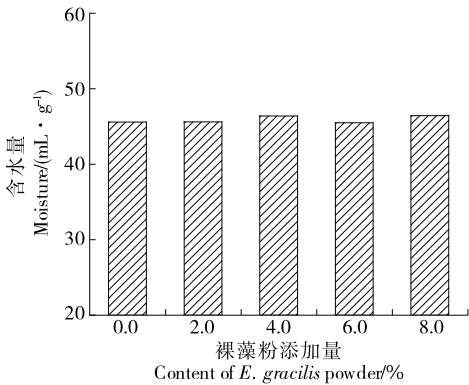


图4 裸藻粉添加量对戚风蛋糕含水量的影响
Figure 4 Effects of *E. gracilis* on moisture of Chiffon cake

2.3 对戚风蛋糕质构的影响

由表3可知,随着裸藻粉添加量的增加,戚风蛋糕的硬度、胶着性和咀嚼性均明显增加($P<0.05$)。当裸藻粉添加量为8.0%时,蛋糕的硬度、胶着性、咀嚼性分别比对照组提高了54.01%,61.13%,51.59%。蛋糕硬度的增加一般伴随着比容的降低。添加裸藻粉后,蛋糕的弹性、内聚性和回复性虽然略有降低但影响不大。在蛋糕、面包等烘焙食品中添加小球藻、拟微球藻等也发现类似的现象^[11, 13],说明微藻在烘焙食品中的添加量要选择合适的范围,才能在提高营养价值的同时保证产品的质构特性

和感官评价。
2.4 对戚风蛋糕色泽的影响

由图5可知,添加裸藻粉后,蛋糕表面的色泽由浅黄色逐渐变为黄褐色,且其褐色程度随裸藻粉添加量的增加而加深。由表5可知,当裸藻粉添加量从0%增加至8.0%时,蛋糕芯的 L 值从 (83.604 ± 0.781) 降至 (64.933 ± 0.325) ,说明裸藻粉的添加降低了蛋糕芯的亮度。这可能是由于裸藻粉富含碳水化合物,烘烤过程中碳水化合物发生焦糖化反应和美拉德反应,导致亮度降低。随着裸藻粉添加量的增加,蛋糕芯的 a 值和 b 值分别从 $(1.323\pm$

表3 裸藻粉对戚风蛋糕质构的影响
Table 3 Effects of *E. gracilis* on texture of Chiffon cake

裸藻粉 添加量/%	硬度/N	弹性	内聚性	胶着性/N	咀嚼性/N	回复性
0.0	9.06±0.34 ^c	0.967±0.005	0.883±0.022	7.93±0.06 ^d	7.56±0.09 ^c	0.389±0.000 ^a
2.0	10.49±0.21 ^d	0.933±0.023	0.835±0.019	8.67±0.34 ^{cd}	7.64±0.14 ^c	0.365±0.005 ^{ab}
4.0	11.09±0.16 ^c	0.920±0.025	0.825±0.067	9.17±0.74 ^{bc}	7.98±0.13 ^c	0.345±0.014 ^{bc}
6.0	12.17±0.24 ^b	0.916±0.006	0.819±0.029	10.26±0.23 ^b	9.36±0.24 ^b	0.340±0.003 ^{bc}
8.0	13.96±0.17 ^a	0.913±0.011	0.793±0.048	12.78±0.00 ^a	11.46±0.25 ^a	0.333±0.001 ^c

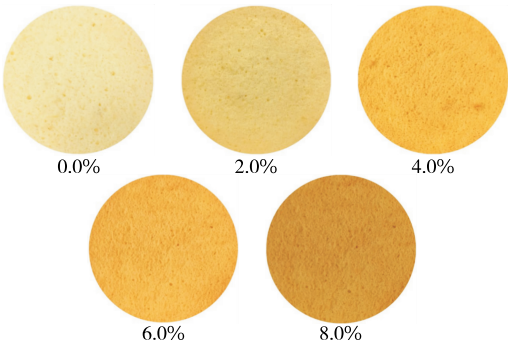


图5 裸藻粉添加量对戚风蛋糕成品色泽的影响
Figure 5 Effects of *E. gracilis* addition on Chiffon cake color

表4 裸藻粉添加量对戚风蛋糕芯色泽的影响
Table 4 Effects of *E. gracilis* addition on the color of Chiffon cake core

裸藻粉 添加量/%	L 值	a 值	b 值
0.0	83.604±0.781 ^a	1.323±0.199 ^c	25.766±1.516 ^d
2.0	80.860±0.656 ^b	1.537±0.336 ^c	27.415±0.226 ^c
4.0	76.940±0.444 ^c	2.668±0.215 ^b	31.875±0.511 ^b
6.0	71.584±1.052 ^d	2.793±0.138 ^b	34.043±0.745 ^a
8.0	64.933±0.325 ^e	3.701±0.070 ^a	35.048±0.060 ^a

0.199) 升至 (3.701 ± 0.070) , (25.766 ± 1.516) 升至 (35.048 ± 0.060) , 表明随着裸藻粉的添加, 蛋糕芯的红色度和黄色度均有所增加, 其中黄色度增加更为显著。这主要是由于裸藻粉本身为黄色, 添加量越多则烘焙出的蛋糕制品颜色越黄。

2.5 对戚风蛋糕感官评价的影响

由图 6 可知, 当裸藻粉添加量 $< 4.0\%$ 时, 戚风蛋糕外观形态、组织结构、表面色泽和弹性方面的评分均随添加量的增加而提高, 气味滋味方面评分的差异不大。继续添加裸藻粉, 蛋糕的外观形态、组织结构和弹性方面的评分急剧下降。从综合评分可知, 添加少量裸藻粉可提高蛋糕的欢迎程度(综合感官品质)。当用 4.0% 的裸藻粉代替蛋糕粉时, 感官评分最高, 此时蛋糕最受欢迎。这可能是由于异养培养的裸藻粉本身为淡黄色, 适量添加可以使蛋糕表面颜色更为金黄, 同时还能对蛋糕的组织结构和口感进行一定的改善。综合质构以及感官评分, 裸藻粉的最适替代添加量为 4.0% 。

2.6 对戚风蛋糕抗氧化活性的影响

由图 7 可知, 当裸藻粉添加量为 2.0% , 4.0% , 6.0% , 8.0% 时, 其对羟自由基的清除率分别为 $(57.66 \pm 0.60)\%$, $(61.52 \pm 0.31)\%$, $(66.13 \pm 0.82)\%$, $(70.96 \pm 0.24)\%$, 分别比对照组提高了 8.08% , 15.31% , 23.96% , 33.01% 。对照组戚风蛋糕的总抗氧化能力为 $(3.68 \pm 0.13) \mu\text{mol/g}$, 添加裸藻粉后其总抗氧化能力明显提高, 当裸藻粉添加量为 4.0% , 8.0% 时, 其总抗氧化能力分别达到 $(4.30 \pm$

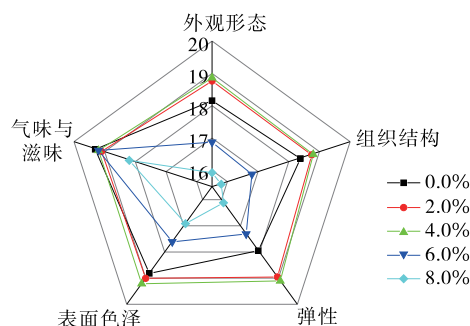


图 6 裸藻戚风蛋糕受喜爱程度雷达图

Figure 6 Sensory evaluation of Chiffon cake with addition of *E. gracilis*

$0.23)$, $(4.96 \pm 0.06) \mu\text{mol/g}$, 比对照组提高了 17.0% , 34.8% 。说明戚风蛋糕中添加适量的裸藻粉, 可以有效提高蛋糕的抗氧化能力。戚风蛋糕中抗氧化活性的提高, 可能是由于裸藻粉中含有 β -葡聚糖和维生素等活性成分。有研究^[19-20]表明, 裸藻粉中的 β -葡聚糖显示出优秀的抗氧化能力和免疫作用, 此外裸藻中还含有维生素 A、维生素 C 和维生素 E 等少量抗氧化物质。

为进一步验证裸藻粉对抗氧化活性提高的功效, 采用皮尔逊相关性对两种抗氧化能力进行分析。结果表明, 羟自由基清除能力与裸藻粉添加量的相关性系数为 $0.962 (P < 0.01)$, 总抗氧化能力与裸藻粉添加量的相关性系数为 $0.996 (P < 0.01)$, 表明裸藻粉添加量与两种抗氧化能力之间均存在极显著的强正相关关系。

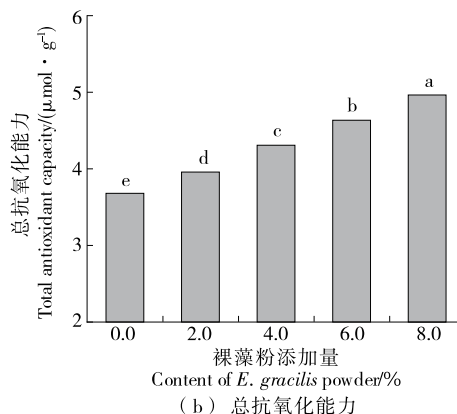
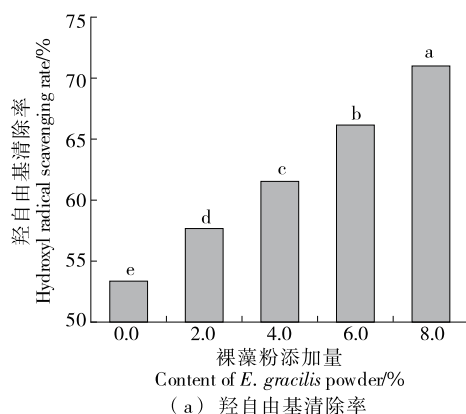


图 7 裸藻添加量对戚风蛋糕抗氧化能力的影响

Figure 7 The antioxidant capacity of Chiffon cake with addition of *E. gracilis*

3 结论

试验表明, 添加适量的裸藻粉不仅可以改善戚风蛋糕的色泽, 使其形成更加宜人的金黄色, 还能提高蛋糕的胶着性和咀嚼性。添加裸藻粉会使戚风蛋糕的比容略有下降, 但其对蛋糕的弹性、回复力、内聚性和含水量的影响较小。综合蛋糕的质构及感官评价, 添加 4.0% 裸藻粉

的蛋糕受喜爱程度最高, 其在外观形态、组织结构、弹性、表面色泽、气味与滋味等方面的得分最优。此外, 添加裸藻粉还能显著提高蛋糕的抗氧化能力。当裸藻粉添加量为 8.0% 时, 蛋糕水提物对羟自由基清除能力和总抗氧化能力分别比对照组提高了 33.0% , 34.8% 。说明将适量的裸藻粉应用于烘焙产品中, 不仅能提高产品的营养价值和功能性, 还能改善其风味。后续可通过营养成分分析

结合体外模拟胃肠消化,分析烘焙过程对裸藻营养成分的影响和裸藻对戚风蛋糕消化特性的影响。

参考文献

- [1] KOTTUPARAMBIL S S, THANKAMONY R L, AGUSTI S. *Euglena* as a potential natural source of value-added metabolites: A review[J]. *Algal Research*, 2019, 37: 154-159.
- [2] 邱伟桑, 郑明敏. 裸藻的功能及其在食品中的应用[J]. *食品科技*, 2020, 45(8): 127-132.
QIU W S, ZHENG M M. Function and applications in food industry of *Euglena*[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(8): 127-132.
- [3] MONFILS A K, TRIEMER R E, BELLAIRS E F. Characterization of paramylon morphological diversity in photosynthetic euglenoids (*Euglenales*, *Euglenophyta*)[J]. *Phycologia*, 2011, 50(2): 156-169.
- [4] NAKASHIMA A, SUZUKI K, ASAYAMA Y, et al. Oral administration of *Euglena gracilis* Z. and its carbohydrate storage substance provides survival protection against influenza virus infection in mice [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2017, 494(1/2): 379-383.
- [5] IVUSIC F, REZIC T, SANTEK B. Heterotrophic cultivation of *Euglena gracilis* in stirred tank bioreactor: A promising bioprocess for sustainable paramylon production[J]. *Molecules*, 2022, 27(18): 5866.
- [6] GUO Q, BI D, WU M, et al. Immune activation of murine RAW264.7 macrophages by sonicated and alkalized paramylon from *Euglena gracilis*[J]. *BMC Microbiology*, 2020(20): 171.
- [7] HARADA R, NOMURA T, YAMADA K, et al. Genetic engineering strategies for *Euglena gracilis* and its industrial contribution to sustainable development goals: A review [J]. *Frontiers Bioengineering and Biotechnology*, 2020, 8: 790.
- [8] 张佳佳, 王昱丹, 罗慧, 等. 蒲公英戚风蛋糕的烘焙品质及其酚类物质抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 142-146.
ZHANG J J, WANG Y D, LUO H, et al. Effect of dandelion flour on baking qualities and polyphenols antioxidant activities of Chiffon cake[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(4): 142-146.
- [9] 胡浩杰, 田双起, 赵仁勇, 等. 新资源可食用微藻的活性物质提取及其在食品中应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 390-396.
HU H J, TIAN S Q, ZHAO R Y, et al. Research progress on the extraction of active substances from new resource edible microalgae and its application in food[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 390-396.
- [10] 王宝贝, 邱颖辉, 陈玟璇, 等. 小球藻对青稞面包品质的影响及其抗氧化特性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(23): 157-162.
WANG B B, QIU Y Y, CHEN W X, et al. Effects of *Chlorella* on the quality of highland barley bread and its antioxidant properties [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(23): 157-162.
- [11] 刘璐璐, 陈玟璇, 刘小慧, 等. 雨生红球藻对戚风蛋糕品质的影响及其虾青素稳定性[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(19): 76-83.
LIU L L, CHEN W X, LIU X H, et al. Effect of *Haematococcus pluvialis* on Chiffon cake quality and stability of astaxanthin[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(19): 76-83.
- [12] HERNANDEZ-LOPEZ I, VALDES J R B, CASTELLARI M, et al. Utilisation of the marine microalgae *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp. as innovative ingredients in the formulation of wheat tortillas[J]. *Algal Research*, 2021, 58: 102361.
- [13] KHEMIRI S, KHELIFI N, NUNES M C, et al. Microalgae biomass as an additional ingredient of gluten-free bread: Dough rheology, texture quality and nutritional properties[J]. *Algal Research*, 2020, 50: 101998.
- [14] 王宝贝, 戴紫薇, 刘璐璐, 等. 雨生红球藻对面包烘焙品质的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(1): 192-197.
WANG B B, DAI Z W, LIU L L, et al. Effect of *Haematococcus pluvialis* on baking quality of bread[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(1): 192-197.
- [15] 国家卫生计生委. 关于批准裸藻等8种新食品原料的公告[J]. *中国食品添加剂*, 2013(6): 229-233.
National Health and Family Planning Commission of the PRC. Announcement on approval of nude algae and other 8 new food raw materials[J]. *China Food Additives*, 2013(6): 229-233.
- [16] 孙玉清, 田文静, 杨新建. 马铃薯全粉对海绵蛋糕品质的影响[J]. *中国食物与营养*, 2020, 26(9): 31-36.
SUN Y Q, TIAN W J, YANG X J. Effect of potato powder on the quality of sponge cake[J]. *Food and Nutrition in China*, 2020, 26(9): 31-36.
- [17] 李赛. 高含量青稞戚风蛋糕的烘焙特性及其贮存稳定性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2022: 33-34.
LI S. Study on baking characteristics and storage stability of Chiffon cake with high content of highland barley[J]. Guangzhou: South China University of Technology, 2022: 33-34.
- [18] GISSIBL A, SUN A, CARE A, et al. Bioproducts from *Euglena gracilis*: Synthesis and applications[J]. *Frontiers Bioengineering and Biotechnology*, 2019, 7: 108.
- [19] 葛智超. 裸藻多糖的分离纯化及活性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 1-6, 42.
GE Z C. Study on the isolation, purification and activity of polysaccharide from *Euglena gracilis* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 1-6, 42.
- [20] SWATI P G, KHUSHBOO, VIVEK K G, et al. *Euglenaspecies*: Bioactive compounds and their varied applications [J]. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 2021, 21(29): 2620-2633.