

响应面优化捻转抗老化剂的复配工艺

何梦影, 张康逸, 郭东旭, 温青玉, 盛威, 何炎

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450002)

摘要: 为了探讨复配抗老化剂对延缓捻转老化现象的影响, 以水分含量变化率、质构特性变化率、回生度和感官评价为考察指标, 并进行综合评分, 利用单因素试验考察瓜尔豆胶、焦磷酸钠、硬脂酰乳酸钠添加量对抗老化效果的影响, 并通过响应面优化法建立抗老化效果综合评分和抗老化剂添加量之间的响应模型。结果表明, 所得到的捻转抗老化剂复配工艺的回归模型显著 ($R^2=0.9339$), 拟合性好, 可用于预测延缓捻转老化的效果。最佳复配比例为: 瓜尔豆胶添加量 0.45%, 焦磷酸钠添加量 0.44%, 硬脂酰乳酸钠添加量 0.12%, 在此条件下贮藏的捻转硬度、弹性、咀嚼性、水分含量的变化率分别为 12.20%、2.30%、13.30%、2.40%, 回生度为 35.87%, 感官评分为 8.11, 此配比条件下的协同抗老化效果最佳。

关键词: 捻转; 抗老化剂; 复配; 质构特性; 回生度

文章编号: 1673-9078(2018)01-195-202

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.1.030

Optimization of Compound Process of *Nianzhuan* Anti-aging Additives by Response Surface Methodology

HE Meng-ying, ZHANG Kang-yi, GUO Dong-xu, WEN Qing-yu, SHENG Wei, HE Yan

(Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to investigate the effects of compound anti-aging additives on retarding the aging of *Nianzhuan*, moisture content change, textural characteristic change, retrogradation degree and sensory evaluation were selected as the indexes to evaluate comprehensive scores. The effects of additive quantities of guar gum, sodium pyrophosphate (SPP) and sodium stearyl lactate (SSL) on anti-aging were investigated by single factor experiment and the response model of anti-aging effects was established by response surface methodology. The results showed that the established regression model of *Nianzhuan* anti-aging compound process was significant ($R^2=0.9339$) and the experimental results were in good agreement with the predicted data. Ultimately, the model could be used to describe the effectiveness of anti-aging. The optimal ratio was that guar gum was 0.45%, SPP was 0.44% and SSL was 0.12%, while the anti-aging effect was the best under the optimal compound ratio. Meanwhile, under the optimal conditions, the retrogradation, sensory evaluation and the rate of changes in hardness, elasticity, chewiness and moisture content were 35.87%, 8.11, 12.20%, 2.30%, 13.30% and 2.40%, respectively.

Key words: *Nianzhuan*; anti-aging additives; compound; textural characteristics; retrogradation degree

捻转, 又叫碾转或撵转, 是用磨盘碾磨出来的青麦仁传统制品, 具有独特的嚼劲和青麦香味, 属于中国华北、华中等地区的特色小吃。以青麦仁(乳期后熟、蜡熟期收获的嫩小麦粒)为原料, 经洗净, 烘烤或炒干, 再经专用石磨将其捻成绳状的制品, 可直接食用, 或再经凉拌、炒制调味。作为捻转加工原料的青麦仁富含淀粉、蛋白质、膳食纤维和 α 、 β 两种淀粉酶等营养成分, 能够帮助人体消化, 降低血糖^[1,2], 因此, 捻转是一种绿色健康的小麦制品。但由于捻转

收稿日期: 2017-07-12

基金项目: 河南省重大科技专项 (151100111300); 河南省科技开放合作项目 (152106000054)

作者简介: 何梦影 (1989-), 女, 硕士, 研究方向: 农副产品加工研究

通讯作者: 张康逸 (1981-), 男, 副研究员, 研究方向: 农副产品加工研究

中淀粉及水分含量较高^[3], 在贮藏过程中易发生淀粉老化现象, 导致捻转质地变硬、风味及消化性变差, 严重影响了捻转的食用品质。淀粉老化是指淀粉贮藏过程中发生硬化的现象, 糊化后淀粉分子间重排, 由无序转化为有序的过程^[4,5]。

目前关于延缓淀粉老化的方法主要有以下几类, 首先, 原辅料方面, 筛选不易老化的材料进行加工; 其次, 添加食品添加剂, 调整食品本身易老化的特性; 最后, 改变产品外界条件如贮藏温度和包装方式等, 筛选最优的保藏条件来延缓淀粉的老化。对于淀粉含量较高的食品, 通常选择添加抗老化的添加剂来延缓淀粉的老化^[6], 如多糖类、乳化剂和保水剂。王克均等^[7]的研究表明, 在湿面中添加 0.3% 的亲水性多糖类的瓜尔豆胶可有效延缓湿面的老化并使其在储藏期间

保持较多的水分；磷酸盐则是食品加工中常用的保水剂，能够调节 pH，具有乳化、缓冲等功能，以此来提高保水性^[8]；常用的乳化剂诸如硬脂酰乳酸钠，其疏水基团能够与蛋白结合形成面筋蛋白复合物，同时能够与水分子结合，增加淀粉食品的持水力，延缓老化^[9,10]。滕晓焕等^[11]研究表明，在面包中添加适量的海藻糖和硬脂酰乳酸钠对面包的品质具有良好的改良作用。将不同类别的抗老化剂进行复配，弥补单一添加剂的缺陷，实现优势互补、协同增效，从而提高添加剂整体的抗老化效果。目前已有乳化剂、保水剂等复合添加剂在馒头、肉制品等其它食品中的应用研究^[6,12,13]，然而抗老化剂在捻转品质保持方面的应用研究鲜见报道。

本研究以质构特性、回生度、水分含量变化率及感官评分为考察指标，添加不同比例瓜尔豆胶、硬脂酰乳酸钠和焦磷酸钠 3 种抗老化剂，通过单因素试验和响应面分析，对捻转低温贮藏时添加剂的抗老化效果进行评价，确定捻转抗老化剂复配的最佳工艺参数，为捻转生产、运输、贮藏过程中品质的保持及货架期的延长提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

速冻鲜食青麦仁，河南省农科院农副产品加工研究所。食品添加剂瓜尔豆胶、硬脂酰乳酸钠、焦磷酸钠均购自广东佳力士食品有限公司；碘、碘化钾、醋酸盐、盐酸和氢氧化钠等其他分析纯试剂均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

YL90L-4 电动石磨，上海金托电国际集团有限公司；101A-2B 电热食品烘炉，上海骤新电子科技有限公司；美国 FTC 多功能质构仪，北京盈盛恒泰科技有限公司；MB45 卤素水分测定仪，奥豪斯仪器（常州）有限公司；A590 紫外可见分光光度计，翱艺仪器（上海）有限公司；DUG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱，上海精宏实验设备有限公司；DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器，河南省予华仪器有限公司；ACS-15 电子秤，上海花潮电器有限公司；AL204 电子天平，梅特勒-托利多仪器有限公司；HC-400Y 多功能粉碎机，河城工贸有限公司；超纯水机，北京盛盛科技发展有限公司；食品冷藏冷冻电冰箱，合肥美的电冰箱有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 捻转制备工艺

取脱壳后的青麦仁原料 1 kg/份，清洗沥水后，进行烤箱烤制脱水，面温 150 °C，底温 80 °C，直至青麦仁含水量达到 45%±1%（湿基），糊化度达到 84%±1%，取出晾凉至室温，将石磨磨盘扣合，从进料口撒入少许青麦仁，打开电源，磨盘转动后连续进料，保持出料速度匀速，于接收盘处收集捻转，通风处晾凉后包装。一部分样品直接进行相关指标的测定，另一部分于 4 °C 冰箱贮藏 14 d 后测定。

1.3.2 捻转测定指标及方法

1.3.2.1 水分含量变化率的测定^[6]

水分含量测定采用快速水分测定仪进行测定，每个样品平行测定 3 次，取平均值。水分含量变化率计算公式如下：

$$\Delta W = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：ΔW 为捻转水分含量变化率/%； W_0 为新制捻转水分含量/%； W_1 为捻转在 4 °C 冰箱贮藏 14d 时的水分含量。

1.3.2.2 质构的测定

采用 TMS-PRO 质构仪进行测定，每个样品平行测定 5 次，取平均值。检测条件：选择 TPA 模式，探头 P/50，测试前速率 1.0 mm/s，测试时速率 1.0 mm/s，测试后速率 1.0 mm/s，探头两次测定时间间隔 5 s，下压距离 10 mm，促发类型为 Auto，压缩比 30%。选取的 3 个分析指标为硬度、弹性和咀嚼性，并计算新制捻转与 4 °C 贮藏 14 d 时的质构指标变化率，公式如下：

$$\text{硬度变化率}/\% = \frac{14d\text{硬度} - \text{贮藏前硬度}}{\text{贮藏前硬度}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{弹性变化率}/\% = \frac{14d\text{弹性} - \text{贮藏前弹性}}{\text{贮藏前弹性}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{咀嚼性变化率}/\% = \frac{14d\text{咀嚼性} - \text{贮藏前咀嚼性}}{\text{贮藏前咀嚼性}} \times 100\% \quad (4)$$

1.3.2.3 回生度的测定

回生度的测定采用紫外-可见分光光度计测定^[14]，计算公式为：

$$X_t = \frac{A_0 - A_t}{A_0 - A_\infty} \times 100\% \quad (5)$$

式中： X_t 为样品储藏 td 时的回生度； A_0 为储藏 0 d 样品吸光度； A_t 为储藏 td 样品吸光度； A_∞ 为储藏 35 d 样品极限吸光度。

1.3.2.4 感官评分标准

选 20 名有经验的评价员组成评价小组，在进行品

评时随机放置, 分别对捻转色泽及组织状态、气味、口感进行综合评价, 结果取平均值。评定标准见表 1。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria of Nianzhuang

项目	评分标准
色泽及组织状态 (4分)	颜色翠绿, 组织状态均匀, 粗细均匀, 长短一致为 3~4 分
	色泽偏黄较为暗淡, 组织状态均匀, 粗细较为均匀, 长短较为一致 2~3 分
	色泽较为暗淡, 组织状态较为均匀, 粗细较为均匀, 长短较为一致 1~2 分
气味 (2分)	色泽黄褐暗淡, 组织不均匀, 粗细不均匀, 长短不一致 0~1 分
	具有青麦仁固有香味, 无其他不良气味 2 分
	有淡淡青麦仁固有香味, 无其他不良气味 1~2 分
口感 (4分)	无青麦仁固有香味, 有其他不良异味 0~1 分
	有青麦仁特有香味, 入口有嚼劲, 不粘连, 无颗粒感, 无生淀粉味, 无异味 3~4 分
	有青麦仁特有香味, 入口有嚼劲, 不粘连, 无生淀粉味, 无异味, 有轻微的颗粒感 2~3 分
	略有青麦仁特有香味, 略有嚼劲, 不粘连, 无生淀粉口味, 无异味, 有颗粒感, 无异味 1~2 分
	无青麦仁特有香味, 无嚼劲, 有较强颗粒感, 有异味 0~1 分

1.3.3 综合评分

参照刘玉环等^[15]研究中的评分方法, 结合本试验质构、回生度、水分含量、感官评分几个考察指标的重要性进行分值分配。

其中, 回生度作为影响高水分、高淀粉含量产品老化现象的主要因素, 应主要考察, 而质构的相关指标则直接反应了产品的质地变化, 也应重点研究, 其次则通过产品贮藏过程中水分含量的变化, 并辅以感官评价来研究捻转的老化进程。

硬度变化率评分 D (满分 10 分) 的计算公式为:

$$D=10 \times (D_{min}/D_{act}) \quad (6)$$

式中: D_{min} 为所测硬度变化率的最小值; D_{act} 为实测硬度变化率。

弹性变化率评分 E (满分 10 分) 的计算公式为:

$$E=10 \times (E_{min}/E_{act}) \quad (7)$$

式中: E_{min} 为所测弹性变化率的最小值; E_{act} 为实测弹性变化率。

咀嚼性变化率评分 U (满分 10 分) 的计算公式为:

$$U=10 \times (U_{min}/U_{act}) \quad (8)$$

式中: U_{min} 为所测咀嚼性变化率的最小值; U_{act} 为实测咀嚼性变化率。

回生度评分 S (满分 40 分) 的计算公式为:

$$S=10 \times (S_{min}/S_{act}) \quad (9)$$

式中: S_{min} 为所测回生度的最小值; S_{act} 为实测回生度值。

水分含量变化率评分 P (满分 20 分) 的计算公式为:

$$P=20 \times (P_{min}/P_{act}) \quad (10)$$

式中: P_{min} 为所测水分含量变化率的最小值; P_{act} 为实测水分含量变化率。

感官评分 T (满分 10 分) 的计算公式为:

$$T=10 \times (T_{act}/T_{max}) \quad (11)$$

式中: T_{max} 为所测感官评价的最大值; T_{act} 为实测感官评价。

综合评分 Y (满分 100 分) 的计算公式为:

$$Y=D+E+U+S+P+T \quad (12)$$

1.3.4 捻转抗氧化剂配比的单因素试验

根据 GB 2760-2014^[16]和具体试验操作确定各抗氧化剂的取值范围: 瓜尔豆胶添加量为 0.12%、0.24%、0.36%、0.48% 和 0.60%; 焦磷酸钠添加量为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4% 和 0.5%; 硬脂酰乳酸钠添加量为 0.04%、0.08%、0.12%、0.16% 和 0.2%。

设计单因素试验, 考察不同配比对捻转水分变化率、质构特性以及回生度的影响, 筛选抗氧化剂的最优配比。

1.3.5 抗氧化剂复配的响应面优化试验

在单因素试验的基础上, 选取瓜尔豆胶(X_1)、焦磷酸钠(X_2)和硬脂酰乳酸钠(X_3) 3 个影响因素进行考察, 以综合评分(Y)为响应值, 根据 Box-Behnken 原理^[17]设计三因素三水平试验, 进行响应面分析。试验因素与水平设计如表 2 所示。

表 2 响应面因素水平设计表

Table 2 Factors and levels of response surface methodology

水平	X_1 瓜尔豆胶/%	X_2 焦磷酸钠/%	X_3 硬脂酰乳酸钠/%
-1	0.26	0.35	0.08
0	0.36	0.40	0.12
1	0.46	0.45	0.16

1.4 统计方法

采用 Designer-Expert. V8.0.6.1、origin 7.0 和 SPSS.

V19.0 对数据进行处理统计分析。

2 结果与讨论

2.1 瓜尔豆胶添加量对捻转老化性质的影响

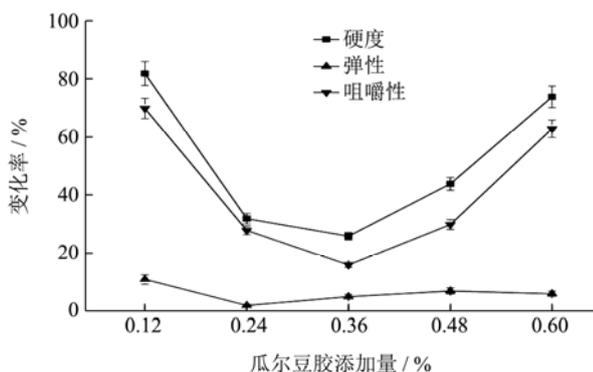


图1 瓜尔豆胶对捻转质构特性的影响

Fig.1 Effects of guar gum on the texture characteristics of

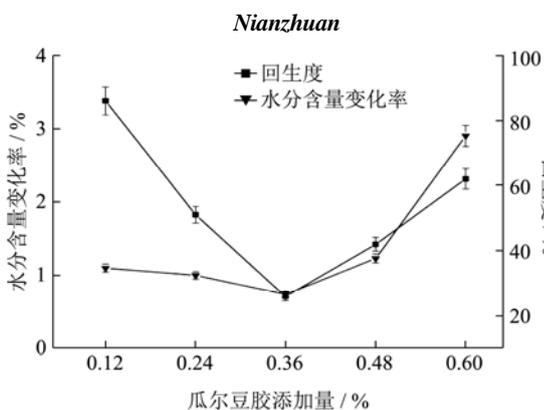


图2 瓜尔豆胶对捻转水分含量变化率和回生度的影响

Fig.2 Effects of guar gum on the change rate of moisture content and retrogradation of Nianzhuang

由图1可知,随着瓜尔豆胶添加量增加,捻转的硬度、弹性和咀嚼性变化率均呈现下降的趋势,硬度和咀嚼性变化率在添加量为0.36%时达到最小值,随后逐渐增大,而弹性变化率则是在瓜尔豆胶添加量超过0.24%后,逐渐增大,并趋于平缓。图2的结果表明,随着添加量的增加,捻转的回生度和水分含量变化率呈现先减小后增大的趋势,在0.36%时达到最小值。

瓜尔豆胶属于多糖类添加剂,亲水性较好,其分子结构上的羟基能够与淀粉分子的羟基结合形成水分子,提高体系含水量的同时,减少了淀粉分子之间的接触堆积,这种与淀粉的相互作用还会使体系黏度上升,在一定程度上抑制回生现象的发生^[18,19]。但是当瓜尔豆胶添加量过高时,反而加速了捻转的老化进程,这是因为瓜尔豆胶的抗老化作用趋于饱和之后,再继续增大添加量会导致空间位阻加大,使淀粉分子与瓜尔豆胶的结合受阻,抗老化作用降低^[20,21]。因此,适

宜的瓜尔豆胶添加量能使捻转的质构特性、保水性能维持稳定,减缓老化进程,选择瓜尔豆胶添加量0.24~0.48%进行后续试验。

2.2 焦磷酸钠添加量对捻转老化性质的影响

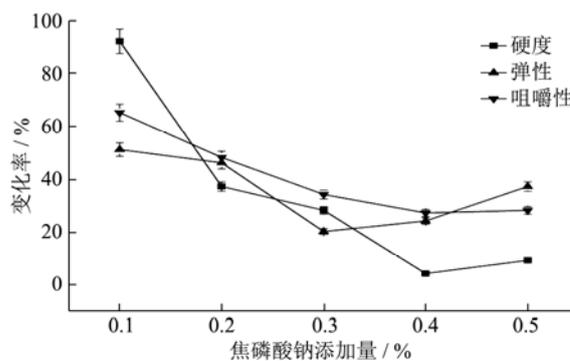


图3 焦磷酸钠对捻转质构特性的影响

Fig.3 Effects of SPP on the texture characteristics of Nianzhuang

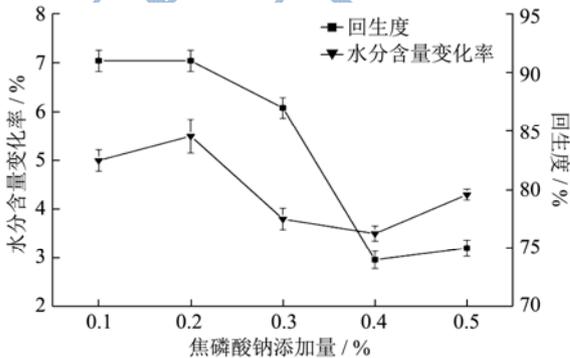


图4 焦磷酸钠对捻转水分含量变化率和回生度的影响

Fig.4 Effects of SPP on the change rate of moisture content and retrogradation of Nianzhuang

由图3可知,随着焦磷酸钠添加量的增加,捻转的硬度、弹性、咀嚼性变化率不断降低,当达到0.3%时,继续增加添加量捻转的弹性变化率增大,硬度和咀嚼性变化率在添加量达到0.4%时达到最小值,继续增大添加量,则呈现出增大后趋于平缓的趋势。水分含量变化率与回生度随着焦磷酸钠添加量变化的情况如图4所示,随着添加量的增加,水分含量变化率与回生度整体呈现降低趋势,在0.4%时达到最小值,添加量继续增加,则逐渐上升。

通过添加焦磷酸钠,利用其乳化、缓冲的功能,调节蛋白质电荷之间的密度,使其相互排斥,增大蛋白质分子之间的空间,形成稳定的网络结构,减缓凝聚,提高产品的保水性^[22]。但添加量过多,会使蛋白质网络凝胶均一性变差,导致保水性能下降^[13],同时会产生令人不愉快的金属涩味、肥皂味或苦味^[23]。因此,适宜的焦磷酸钠添加量将利于捻转水分的保持,获得较好的产品品质,结合GB 2760-2014^[16]对磷酸盐

用量的规定,对于大于0.5%范围本试验不作研究,选取焦磷酸钠添加量0.3~0.5%进行后续试验。

使产品硬度增加,持水力下降,影响产品感官品质^[26]。

2.3 硬脂酰乳酸钠添加量对捻转老化性质的影响

2.4 抗老化剂的复配工艺优化

影响

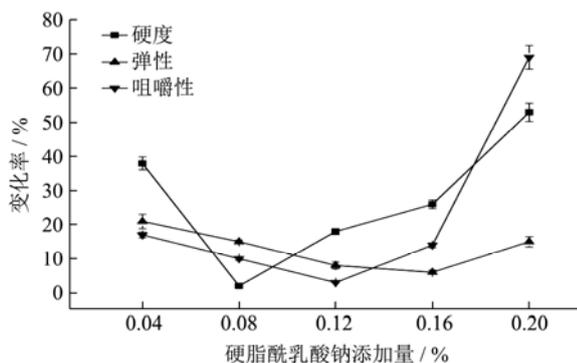


图5 硬脂酰乳酸钠对捻转质构特性的影响

Fig.5 Effects of SSL on the texture characteristics of Nianzhuang

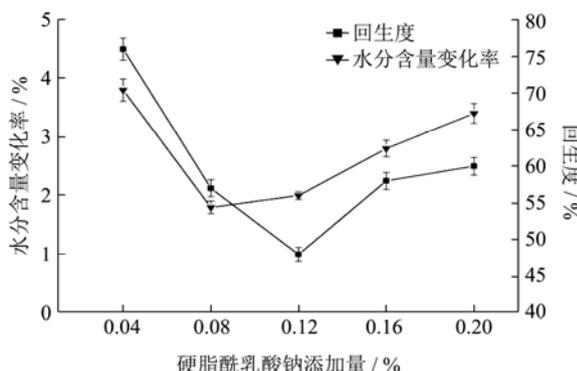


图6 硬脂酰乳酸钠对捻转水分含量变化率和回生度的影响

Fig.6 Effects of SSL on the change rate of moisture content and retrogradation of Nianzhuang

捻转的硬度、弹性、咀嚼性、水分含量变化率及回生度随着硬脂酰乳酸钠添加量的变化情况如图5和图6所示,随硬脂酰乳酸钠添加量增加,各项考察指标均呈现下降的趋势,当添加量超过0.08%时,硬度及水分含量变化率逐渐增大;咀嚼性变化率和回生度在0.12%达到最小值,继续增加添加量,则持续增大;弹性变化率随着添加量的增大持续减小,添加量超过0.16%后,弹性变化率增大。

硬脂酰乳酸钠可与淀粉分析结合形成不溶性复合物,使直链淀粉分子被固定,难以析出再结晶,从而延缓淀粉老化^[24],同时硬脂酰乳酸钠的亲水集团与水分子结合,增强淀粉食品的持水力^[25],但过量添加会与样品中脂类、蛋白质通过氢键结合,强化网络结构,

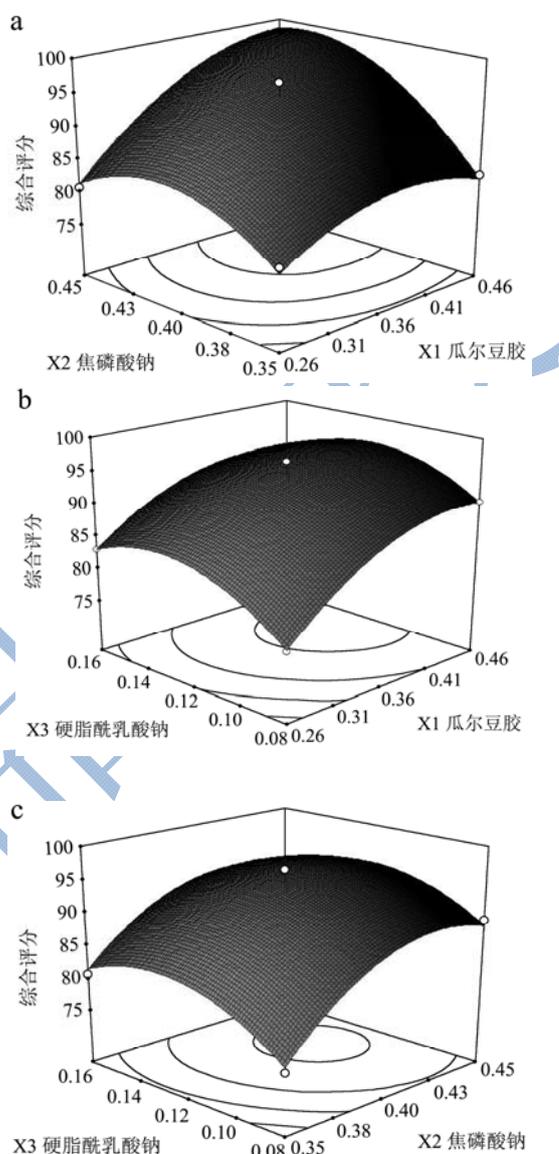


图7 瓜尔豆胶、焦磷酸钠和硬脂酰乳酸钠对捻转抗老化效果的影响

Fig.7 Effects of guar gum, SPP and SSL on the anti-aging of Nianzhuang

采用 Box-Behnken 试验设计原理对捻转抗老化剂复配工艺进行优化,共设计了三因素三水平的17个试验点,其中有5个为零点,零点试验重复五次,据此估计试验误差。试验结果如表3所示。

对表3数据进行多元回归拟合可得方程,见公式13。

$$Y = 94.74 + 5.40X_1 + 5.05X_2 + 1.73X_3 + 3.30X_1X_2 - 0.99X_1X_3 - 0.69X_2X_3 - 4.09X_1^2 - 5.65X_2^2 - 4.91X_3^2 \quad (13)$$

式中: Y 为综合评分; X_1 为瓜尔豆胶添加量%; X_2 为焦磷酸钠添加量%; X_3 为硬脂酰乳酸钠添加量%。

比较式(12)中一次项系数绝对值的大小, 判定影响因子的主次顺序为: 瓜尔豆胶>焦磷酸钠>硬脂酰乳酸钠。

回归方程的方差分析结果见表 4, 回归模型极显著 ($p<0.01$), 失拟项显著 ($p=0.3845>0.05$) 以及 $R^2=0.9890$ 和 $AdjR^2=0.9749$, 可知回归方程拟合度和可信度均很高, 表明所建立的回归二次模型成立, 可用此模型来分析和预测捻转抗老化剂的最佳复配工艺。由回归模型系数显著性检验结果可知, 瓜尔豆胶添加量($p<0.01$)、焦磷酸钠添加量($p<0.01$)、硬脂酰乳酸钠添加量($p<0.01$)对延缓捻转老化现象有极显著影响; X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 对捻转老化进程的抑制有极显著的效果 ($p<0.01$), 交互项 X_1X_2 对延缓捻转的老化现象有极显著的效果($p<0.01$), 表明瓜尔豆胶和焦磷酸钠具有相互协同的作用, 两者相互作用延缓捻转的老化进程;

X_1X_3 、 X_2X_3 交互项在 $p=0.05$ 水平上对捻转老化的进程影响不显著, 表明瓜尔豆胶添加量和硬脂酰乳酸钠添加量之间, 焦磷酸钠添加量和硬脂酰乳酸钠添加量之间没有相互协同的作用。

根据回归方程, 作响应曲面图, 考察所拟合的响应曲面的形状, 分析 3 种抗老化剂添加量对捻转的抗老化效果, 如图 7 所示。对回归方程进行分析计算, 得到捻转抗老化剂复配工艺的最佳配方为瓜尔豆胶添加量为 0.45%, 焦磷酸钠添加量为 0.44%, 硬脂酰乳酸钠添加量为 0.12%, 选用该配比进行验证试验, 三次平行试验得到, 捻转低温贮藏 14 d 后硬度、弹性、咀嚼性、水分含量的变化率分别为 12.20%、2.30%、13.30%和 2.40%, 回生度为 35.87%, 感官评分为 8.11, 综合评分(98.30)与理论值(99.15)较为接近, 重复性好, 说明该模型得到的数据结论准确可靠。

表 3 响应面试验设计和结果

Table 3 Experimental design and results of Box-Behnken experiment

试验号	瓜尔豆胶/%	焦磷酸钠/%	硬脂酰乳酸钠/%	硬度变化率/%	弹性变化率/%	咀嚼性变化率/%
1	0.26	0.35	0.12	15.23	7.54	30.26
2	0.46	0.35	0.12	34.56	3.99	15.89
3	0.26	0.45	0.12	18.73	3.10	29.45
4	0.46	0.45	0.12	13.06	2.20	13.64
5	0.26	0.40	0.08	18.56	2.69	15.59
6	0.46	0.40	0.08	12.40	2.37	13.10
7	0.26	0.40	0.16	13.57	2.78	13.90
8	0.46	0.40	0.16	13.82	2.70	17.17
9	0.36	0.35	0.08	40.38	3.92	27.34
10	0.36	0.45	0.08	12.19	5.40	14.34
11	0.36	0.35	0.16	20.17	2.45	16.73
12	0.36	0.45	0.16	13.99	2.82	13.92
13	0.36	0.40	0.12	12.66	2.35	13.37
14	0.36	0.40	0.12	12.55	2.28	13.72
15	0.36	0.40	0.12	12.30	2.30	14.00
16	0.36	0.40	0.12	12.35	2.71	14.70
17	0.36	0.40	0.12	12.49	2.45	13.80

试验号	回生度/%	水分含量变化率/%	感官评分	综合评分 Y	
				实测	预测
1	35.02	3.12	6.65	78.71	77.84
2	36.31	2.59	6.82	82.67	82.04
3	36.21	2.96	6.42	80.70	81.34
4	35.36	2.45	8.03	97.89	98.75
5	50.80	2.84	8.02	77.37	77.60
6	41.30	2.59	7.32	90.40	90.40
7	45.46	2.99	8.11	83.05	83.06

转下页

接上页

8	36.17	2.51	7.97	92.10	91.88
9	41.02	2.49	7.59	76.06	76.70
10	38.84	2.39	7.98	89.04	88.17
11	41.23	3.45	8.17	80.68	81.54
12	37.51	2.71	8.17	90.91	90.27
13	36.22	2.65	7.37	94.52	94.74
14	36.25	2.45	7.75	96.55	94.74
15	36.12	2.81	7.87	94.26	94.74
16	35.21	2.71	7.62	93.65	94.74
17	36.27	2.57	7.55	94.69	94.74

表4 响应面试验结果方差分析

Table 4 Variance analysis of the response surface experiment results

变异源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	853.38	9	94.82	70.13	< 0.0001	**
X_1	233.60	1	233.60	172.77	< 0.0001	**
X_2	204.26	1	204.26	151.07	< 0.0001	**
X_3	24.07	1	24.07	17.80	0.0039	**
X_1X_2	43.69	1	43.69	32.31	0.0007	**
X_1X_3	3.96	1	3.96	2.93	0.1310	
X_2X_3	1.88	1	1.88	1.39	0.2764	
X_1^2	70.47	1	70.47	52.12	0.0002	**
X_2^2	134.60	1	134.60	99.55	< 0.0001	**
X_3^2	101.63	1	101.63	75.16	< 0.0001	**
残差	9.46	7	1.35			
失拟	4.71	3	1.57	1.32	0.3845	
纯误差	4.76	4	1.19			
总离差	862.85	16				
相关系数 R^2	0.9890					
校正决定系数 $AdjR^2$	0.9749					

注: *表示显著($p < 0.05$); **表示极显著($p < 0.01$)。

3 结论

3.1 在单因素试验的基础上,通过响应面设计分析,建立了捻转抗老化剂复配的工艺模型。各因素对抗老化效果的影响主次顺序为:瓜尔豆胶>焦磷酸钠>硬脂酰乳酸钠,抗老化复配剂的最佳工艺配方为:瓜尔豆胶添加量 0.45%,焦磷酸钠添加量 0.44%,硬脂酰乳酸钠添加量 0.12%,验证试验得到捻转低温贮藏 14 d 后的硬度、弹性、咀嚼性、水分含量的变化率分别为 12.20%、2.30%、13.30%和 2.40%,回生度为 35.87%,感官评分为 8.11,可以对捻转达到较好的抗老化效果。

3.2 捻转中淀粉和水分含量较高,在贮藏过程中极易出现老化现象,影响了捻转的风味和品质。本研究将捻转的质构特性、回生度等产品性质作为反应老化程

度的指标,采用综合评分的方式考察不同种类抗老化剂的作用效果,并对其进行复配,最终获得抗老化效果较好的配比方式,来延缓捻转贮藏过程中的老化进程。不同种类抗老化剂的作用机理不同,复配后相互作用,能够从不同层面上提高抗老化的效果,起到协同增效的作用,因此添加了复配剂的捻转产品抗老化效果较为优良。

参考文献

- [1] 张康逸,康志敏,马姗姗,等.青麦糕加工工艺研究[J].河南农业科学,2013,42(10):149-152
- ZHANG Kang-yi, KANG Zhi-min, MA Shan-shan, et al. Optimization of processing technology of green wheat cake [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2013, 42(10):

- 149-152
- [2] 张云忠,季旭东.青麦仁产业化初探[J].中国果菜,2007,6:39-40
ZHANG Yun-zhong, JI Xu-dong. Industrialization of green wheat berry [J]. China Fruit Vegetable, 2007, 6: 39-40
- [3] 杨帆.青麦仁加工、储藏中营养成分保持研究及加工生产线设计[D].郑州:河南工业大学,2016
YANG Fan. Studies on the preserves of nutritional contents during processing and storage of green wheat berry and design of production line [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016
- [4] 赵阳,徐澎聪,陈海华,等.海藻酸钠对不同直链淀粉含量的玉米淀粉物化性质的影响[J].现代食品科技,2014,30(7):103-109
ZHAO Yang, XU Peng-cong, CHEN Hai-hua, et al. Effect of sodium alginate on the physicochemical properties of corn starches with different amylose contents [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(7): 103-109
- [5] 孟祥艳.淀粉老化机理及影响因素的研究[J].食品工程,2007,2:60-63
MENG Xiang-yan. Study on retrogradation mechanism and influencing factors of starch retrogradation [J]. Food Engineering, 2007, 2: 60-63
- [6] 李玮,高鸿,贾利蓉,等.延缓红薯软糖淀粉老化现象的研究[J].食品工业,2014,35(9):134-138
LI Wei, GAO Hong, JIA Li-rong, et al. Study on delaying starch retrogradation of sweet potato soft candies [J]. The Food Industry, 2014, 35(9): 134-138
- [7] 王克钧.湿面的抗老化研究[D].无锡:江南大学,2009
WANG Ke-jun. Study of wet noodle anti-aging [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009
- [8] 刘寅,张永光,张汝兵,等.响应面法优化产酸丙酸杆菌丙酸发酵条件的研究[J].食品工业科技,2010,5:167-170
LIU Yin, ZHANG Yong-guang, ZHANG Ru-bing, et al. Optimization of fermentation conditions for the production of propionic acid by *Propionibacterium acidipropionici* using response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 5: 167-170
- [9] Liu Z, Gong B, Zhang L, et al. The influence of emulsifiers on retrogradation properties of waxy starch [J]. Advances in Computational Environment Science, 2012: 351-358
- [10] Ali T M, Hasnain A. Effect of emulsifiers on complexation and retrogradation characteristics of native and chemically modified White sorghum (*Sorghum bicolor*) starch [J]. Thermochimica acta, 2013, 552(5-6): 46-53
- [11] 滕晓焕,章银良,虎晓明,等.海藻糖及硬脂酰乳酸钠对面包品质的影响[J].食品科技,2015,40(1):172-177
TENG Xiao-huan, ZHANG Yin-liang, HU Xiao-ming, et al. Effect of trehalose and sodium stearoyl-2-lactylate on the bread quality [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(1): 172-177
- [12] 潘丽军,方坤,马道荣,等.复合改良剂对馒头低温储藏抗老化效果的影响[J].食品科学,2010,31(12):284-287
PAN Li-jun, FANG Kun, MA Dao-rong, et al. Effect of compound improvers on anti-retrogradation of steamed bread after frozen storage [J]. Food Science, 2010, 31(12): 284-287
- [13] 刘颖,王修俊,邱树毅,等.复合磷酸盐对鲜切猪里脊肉肌球蛋白凝胶保水性的影响研究[J].现代食品科技,2008,24(4):324-326
LIU Ying, WANG Xiu-jun, QIU Shu-yi, et al. Effect of mixed phosphates on water-holding capacity of heat-induced gelation of myosin in fresh griskin [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 24(4): 324-326
- [14] 金征宇.一种简便的淀粉回生度测定方法:中国,2010101669344[P].2010-04-28
- [15] 刘玉环,焦扬,何利明.双孢蘑菇切片真空冷冻干燥工艺[J].中国蔬菜,2014,1(10):34-36
LIU Yu-huan, JIAO Yang, HE Li-ming. Studies on optimization of vacuum freeze drying technology for agaricus bisporus slices [J]. China Vegetables, 2014, 1(10): 34-36
- [16] GB 2760-2014,食品安全国家标准 食品添加剂使用标准 [S]
- [17] 罗磊,周燕燕,刘云宏,等.响应面法优化金银花多酚氧化酶提取工艺[J].食品科学,2014,35(3):117-121
LUO Lei, ZHOU Yan-yan, LIU Yun-hong, et al. Optimization of extraction process for polyphenoloxidase from honeysuckle (*Lonicera japonica Thunb.*) flowers using response surface methodology [J]. Food Science, 2014, 35(3): 117-121
- [18] Torres M D, Hallmark B, Wilson D I. Effect of concentration on shear and extensional rheology of guar gum solutions [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 40(10): 85-95
- [19] Palaniraj A, Jayaraman V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(1): 1-12
- [20] 王玉珠,林伟锋,陈中,等.多糖类食品添加剂对米饭质构特性的影响[J].中国食品添加剂,2012,3:82-87
WANG Yu-zhu, LIN Wei-feng, CHEN Zhong, et al. The effect of polysaccharides food additives on the texture of steamed rice [J]. China Food Additives, 2012, 3: 82-87

- [21] 何义雁,张珺,朱香燕,等.复合改良剂对青团抗老化的影响[J].中国食品添加剂,2014,9:184-189
HE Yi-yan, ZHANG Jun, ZHU Xiang-yan, et al. Study on anti-aging effects of green sticky bun using compound modifier [J]. China Food Additives, 2014, 9: 184-189
- [22] 徐幸莲,王霞,周光宏,等.磷酸盐对肌球蛋白热凝胶硬度,保水性和超微结构的影响[J].食品科学,2005,26(3):42-46
XU Xing-lian, WANG Xia, ZHOU Guang-hong, et al. Effect of phosphates on heat-induced gelation properties of myosin from rabbit skeletal muscles [J]. Food Science, 2005, 26(3): 42-46
- [23] 朱晓龙.磷酸盐在肉类加工中的应用及检测[J].肉类工业,2003,7:36-41
ZHU Xiao-long. Application and detection of phosphates in meat processing [J]. Meat Industry, 2003, 7: 36-41
- [24] Karim A A, Norziah M H, Seow C C. Methods for the study of starch retrogradation [J]. Food Chemistry, 2000, 71(1): 9-36
- [25] 高红岩,张守文.硬脂酰乳酸钠对面粉品质特性及馒头品质的影响[J].食品科学,2005,26(1):84-87
GAO Hong-yan, ZHANG Shou-wen. Effect of sodium stearoyl-2-lactylate on wheat flour characteristics and steamed-bread quality [J]. Food Science, 2005, 26(1): 84-87
- [26] Ribotta P D, Pérez G T, Leon A E, et al. Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(2): 305-313