

冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型建立与评价

李沐生, 黄智君, 张晓银, 阮征

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 本文以真空冷却后的热烫莴笋菜肴为对象, 研究在 0℃、4℃、10℃下冷藏的莴笋菜肴的品质变化规律, 并建立冷配送莴笋菜肴在 0℃~10℃冷藏温度下的货架期预测模型。结果表明: 随着冷藏时间的延长, 菌落总数、亚硝酸盐含量、色差 a^* 值呈上升趋势, 而硬度呈下降趋势。冷藏温度越高, 其品质变化程度越大。亚硝酸盐含量与菌落总数密切相关, 但其货架期终点比菌落总数的滞后, 而冷藏温度和时间对硬度影响不大, 两者均不适合作为冷配送莴笋菜肴货架期评定指标。以色差 a^* 值为指标得到的一级反应动力学方程和 Arrhenius 方程拟合度较高 ($R^2 > 0.97$), 而 Logistic 模型能很好拟合莴笋菜肴在 0℃~10℃冷藏温度下的菌落总数生长动态 ($R^2 > 0.99$)。建立的色差和菌落总数货架期模型的预测值与实测值之间相对误差均小于 10%。其中, 以色差 a^* 值为指标的货架期要求最高, 若对莴笋菜肴进行护色处理, 可提高其色差货架期。

关键词: 冷配送; 莴笋菜肴; 真空冷却; 货架期预测; 模型

文章编号: 1673-9078(2015)3-177-183

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.030

Evaluation and Establishment of Shelf Life Prediction Model for Cold-chain Lettuce Dish

LI Bian-sheng, HUANG Zhi-jun, ZHANG Xiao-yin, RUAN Zheng

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The quality variation rules of cold-chain lettuce dish under refrigeration at 0℃, 4℃ and 10℃ were researched in this paper, and its shelf life prediction model under refrigeration at 0℃~10℃ was established at the same time with blanching cooking lettuce dish after vacuum cooling as research object. The results showed that the total bacterial count, nitrite content and a^* value of lettuce dish were rising with the refrigerated time, while the hardness showed a downward trend. The higher the refrigeration temperature, the greater the quality indicators change. The nitrite content of lettuce dish was closely related to the total number of colonies, but its end of shelf life was later than that of total bacterial count, and refrigeration temperature and time had a little influence on the hardness, so both are not suitable for the evaluation index of shelf life prediction model for cold-chain lettuce dish. The established first-order kinetic model and Arrhenius equation of a^* value had high regression coefficients ($R^2 > 0.97$). Besides, the growth dynamic of total bacterial count of cold-chain lettuce dish under refrigeration at 0℃~10℃ can well described by Logistic model ($R^2 > 0.99$). The relative error between predicted value obtained from the developed color or total bacterial count growth prediction model and its observed shelf life was less than 10% respectively. Among them, the requirement for shelf life with a^* value as the evaluation index was highest. In addition, colorprotection can increase the color shelf life of cold-chain lettuce dish.

Key words: cold-chain; lettuce dish; vacuum cooling; shelf life prediction; model

莴笋, 菊科植物, 别名莴苣笋, 是春秋冬季节的主要蔬菜之一。莴笋营养价值非常高, 可提高人体血糖功能、防治贫血、增进食欲、促消化, 并具有止咳、镇痛、清肝等生理功能, 可供药用。研究还发现莴笋中的莴笋素具有抗癌作用, 是我国南北地区广泛栽种的保健蔬菜^[1]。冷配送菜肴指烹饪后的菜肴在 2 h 内须使中心温度降至 10℃以下, 并在该温度条件下分装、

收稿日期: 2014-06-24

基金项目: 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室资助项目 (2010A060801004)

作者简介: 李沐生 (1962-), 男, 教授, 研究方向: 加工与保藏方向

贮存、运输, 食用前须进行加热处理^[2]。烹饪莴笋是具有代表性的一道常见的绿色菜肴, 其色泽鲜亮、口感爽脆、滋味鲜美, 耐储藏, 尝试将其作为冷配送蔬菜菜肴。

在低温条件下, 食物中微生物的生长繁殖受到一定的抑制^[3], 若冷链系统中的温度控制不当, 冷配送蔬菜菜肴中品质劣变速率迅速增大, 货架期缩短, 甚至对消费者健康有害。根据 Time-Temperature-Tolerance (时间-温度-货架期) 体系的原则, 食品的品质变化是随着贮藏时间而累积的, 且不可逆, 因此对冷藏过程中蔬菜菜肴的时间-温度-货架期体系研究

具有实际意义。国内外已有关于蔬菜泥^[4]、生鲜鲢鱼片^[5]、鱼肉^[6]等的货架期研究。

然而目前对冷配送蔬菜菜肴冷藏过程中的微生物、品质变化的动力学特性的研究甚少。本实验以冷配送莴笋菜肴为对象,研究其在0℃、4℃、10℃^[3~4, 7]温度下的菌落总数、亚硝酸盐、色差、硬度的变化规律,并采用动力学模型建立冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型,为冷配送蔬菜菜肴在冷链流通过程中的时间-温度-货架期体系提供理论基础和指导。

1 材料与方法

1.1 材料

市售新鲜莴笋、食用油、调味料等。

1.2 烹饪方式

对新鲜莴笋进行削皮、切片(厚0.5cm)、清洗、沥水备用。实验采用热烫方式^[8]进行烹饪。将含盐量1%的水加热至沸腾,将300g莴笋放入水中热烫45s,起锅后淋上10g热油,搅拌使其混合均匀。烹饪过程中蔬菜与水的质量比例为1:5。

1.3 冷却冷藏方式

采用真空冷却方式^[9](日本株式会社, S-100-C)将莴笋菜肴中心温度冷却至约10℃,对冷却后各蔬菜菜肴进行分装(约150g/碗),密封,分别置于0℃、4℃、10℃温度下冷藏。

1.4 微波复热方式

各温度下冷藏后的莴笋菜肴150kg于800W,2450MHz的微波炉中复热2min。

1.5 测定方法

1.5.1 菌落总数测定

对0℃、4℃、10℃温度下冷藏的样品每隔48h测定其菌落总数。测定方法为国家标准GB4789-2010^[10],结果以cfu/g表示。微生物卫生指标参照上海市地方标准DB31/160-2005^[2],冷藏盒饭(包括冷藏下的食物和复热后的食物)的菌落总数 $\leq 10^5$ cfu/g。复热对菜肴中微生物的营养体具有一定的杀灭作用,因此选择菜肴冷藏后的菌落总数作为货架期终点判定指标。

1.5.2 亚硝酸盐含量测定

对0℃、4℃、10℃温度下冷藏的样品每隔48h测定其亚硝酸盐含量。测定方法为国家标准GB

5009.33-2010的分光光度法^[11]。莴笋中亚硝酸盐限量指标参照国家标准GB2762-2012^[12],蔬菜及其制品中亚硝酸盐含量的限量指标为20mg/kg。热处理可在一定程度上降低亚硝酸盐含量,因此选择菜肴冷藏后的亚硝酸盐含量作为货架期终点判定指标。

1.5.3 色差测定

采用便携式色差仪(日本Konica Minolta, CR-400)对微波复热后的冷配送莴笋菜肴进行色差测定^[13],每组平行测定15次,记录L*、a*、b*值。其中L*值表示蔬菜菜肴的亮度,黑色=0,白色=100;a*值表示红绿色值,绿色<0,红色>0,a*值越小绿色越深;而b*值表示黄蓝色值,蓝色<0,黄色>0,b*值越大的黄色越深。由于其色差测定结果中L*值、b*值的变化无明显规律,而色差a*值指标数据稳定性较高。冷配送莴笋菜肴微波复热后的色差a*值与其感官色泽具有显著的线性相关,能够比较准确的反应莴笋菜肴的色泽变化规律。考虑复热对色泽的影响,选取菜肴复热后的色差a*值作为货架期终点判定指标。

1.5.4 TPA测定

微波复热后的冷配送莴笋菜肴的硬度测定使用TA.XT. plus型质构仪(英国Stable Micro System公司)进行评估^[13]。采用P/0.5的探头,测试条件为:测前速率5mm/s,测试速率和测后速率1mm/s,两次压缩样本40%的深度,触发值5g,停留时间5s。测定样品的规格为5×5×5mm的长方体。平行测定15次,取均值。菜肴在复热过程中受热会导致其质构软化,考虑菜肴对消费者的适口性,选取菜肴复热后的硬度作为货架期终点判定指标。

1.6 货架期预测模型

1.6.1 化学反应动力学模型

食品的大多数品质变化遵循化学反应动力学模型^[14]。其中一级反应模型应用较为广泛。一级反应模型^[15]有: $C = C_0 \times \exp(-kt)$ (1);式中t为食品的冷藏时间,d;k为食品的品质指标值变化速率常数; C_0 为食品初始的品质指标值;C为食品冷藏t d的品质指标值。

1.6.2 Arrhenius方程

实验通过测定不同冷藏温度下莴笋菜肴的品质指标值随冷藏时间的变化曲线,通过一级反应动力学模型对实验数据进行拟合分析,得到不同温度下莴笋菜肴的品质指标值的变化速率常数(k_T)。并对各冷藏温度和与其对应的 k_T 值进行拟合得到Arrhenius方程,进而预测冷配送莴笋菜肴在0℃~10℃温度下的剩余货架期。

Arrhenius方程:

$$k_T = k_0 \times \exp(-E_a / RT) \quad (2)$$

式中 k_0 为频率因子; E_a 为反应的表现活化能(J/mol); R 为摩尔气体常量 ($R=8.3144 \text{ J}/(\text{mol K})$); T 为绝对温度(K)。

由式(2)取对数得到:

$$\ln(k_T) = \ln(k_0) - E_a / RT \quad (3)$$

即对 $\ln(k_T)$ 与其所对应的热力学温度的倒数($1/T$) 作图, 可求得式(2)中的活化能 E_a 和 k_0 , 进而可求得冷配送莴笋菜肴在各冷藏温度下货架期模型(4), 并对货架期预测模型的准确性进行评估。

$$SL = \frac{\ln(C / C_0)}{K_0 \times \exp(-E_a / RT)} \quad (5)$$

1.6.3 Logistic 模型

微生物的预测模型一般分为 3 个级别, 分别为初级、2 级和 3 级模型; 其中初级模型包括 Logistic^[5-6,16] 等模型, 主要是描述一定条件下微生物数量与时间的关系。2 级模型包括 Square Root 等模型, 主要是描述外界因素对一级模型中参数的影响, 如微生物的最大比生长速率和生长延迟期。

Logistic 方程:

$$N_t = N_0 + (N_{\max} - N_0) / \{1 + \exp [4 \times \mu_m \times (\lambda - t) / (N_{\max} - N_0) + 2]\} \quad (6)$$

其中 t 为蔬菜菜肴的冷藏时间, d ; N_t 为 t 时蔬菜菜肴的菌落总数, $\lg(\text{cfu/g})$; N_0 为初始菌落总数, $\lg(\text{cfu/g})$; N_{\max} 为稳定期时蔬菜菜肴菌落总数最大值, $\lg(\text{cfu/g})$; μ_m 为最大比生长速率, d^{-1} ; λ 为生长延迟期, d 。

1.7 数据分析

本文数据应用 SPSS 17.0 和 Excel 软件进行处理分析。

2 结果与讨论

2.1 冷藏温度对冷配送莴笋菜肴的品质影响研究

2.1.1 冷配送莴笋菜肴的菌落总数变化规律研究

实验采用 0°C 、 4°C 、 10°C 作为冷配送莴笋菜肴的冷藏温度, 研究冷藏温度和时间对其菌落总数的影响。

由图 1 可知, 随着冷藏时间的延长, 莴笋菜肴的菌落总数均呈增长的趋势。不同冷藏温度下, 菌落总数的变化情况有较明显的差别。冷藏温度越低, 菌落

总数的增长速率越小, 其中 0°C 下的菌落总数增长最为缓慢。另外, 随着冷藏温度的下降, 莴笋菜肴的细菌总数生长延迟期增大。

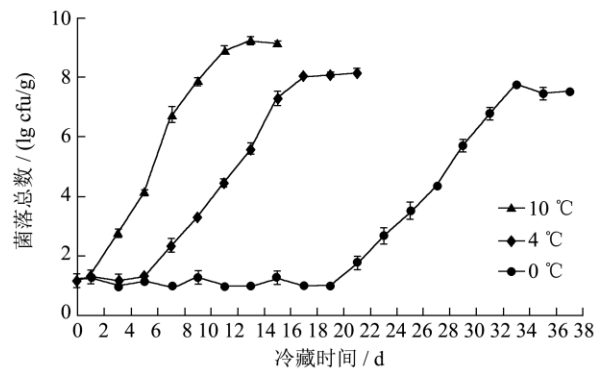


图 1 冷藏温度对冷配送莴笋菜肴菌落总数的影响

Fig.1 Effects of storage temperature on the total bacterial count of cold-chain lettuce dish

10°C 冷藏 7 d 的莴笋菜肴菌落总数已达到 6.75 个数量级, 超过了上海地标 DB31/160-2005 标准中规定的菌落总数小于 10^5 cfu/g 的界限。 4°C 、 0°C 冷藏温度下莴笋菜肴的菌落总数增长速率相对较慢, 其中 4°C 冷藏 13 d 的莴笋菌落总数达到 5.61 个数量级, 而 0°C 冷藏 29 d 其菌落总数达到 5.71 个数量级。总的来说, 冷藏温度是影响冷配送莴笋菜肴卫生品质的一个重要因素。

2.1.2 冷配送莴笋菜肴的亚硝酸盐含量变化规律研究

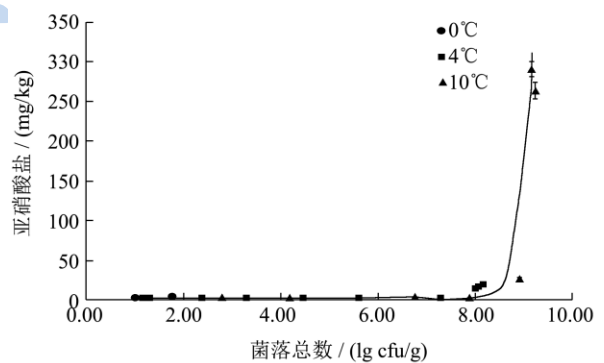


图 2 冷配送莴笋菜肴中亚硝酸盐含量随菌落总数变化曲线

Fig.2 Curve of nitrite contents change with the total bacterial count of cold-chain lettuce dish

冷藏过程中蔬菜菜肴中亚硝酸盐含量变化情况与微生物活动密切相关。由图 2 可知当细菌总数小于 10^7 cfu/g 时, 莴笋菜肴中亚硝酸盐含量成小幅度、波浪形的变化趋势, 且亚硝酸盐含量均在小于 4 mg/kg , 符合 GB 2762-2012 中的亚硝酸盐限量要求, 即亚硝酸盐含量小于 20 mg/kg , 蔬菜菜肴中硝酸盐含量未作要求。后期随着菌落总数的增长, 莴笋菜肴中亚硝酸盐含量迅速升高。当菌落总数达到 $8.91 \text{ lg}(\text{cfu/g})$ 时莴笋中亚

硝酸盐含量为 26.38 mg/kg, 超过国标规定值。而菌落总数为 9.23 lg(cfu/g)的莴笋菜肴中亚硝酸盐含量更是高达 263.19 mg/kg, 此时的莴笋菜肴已处于腐烂状态。因此, 在蔬菜菜肴冷藏过程中, 降低冷藏温度能够有效控制微生物的生长繁殖, 进而能够有效的降低亚硝酸盐含量的增长速率。

另外, 当莴笋菜肴中细菌总数达到 10^7 cfu/g 时(已超过标准规定的 10^5 cfu/g 界限), 其亚硝酸盐含量仍小于 4.0 mg/kg, 小于国标 GB 2762-2012 规定要求。因此, 在该情况下, 以莴笋菜肴中亚硝酸盐含量为评价指标的货架期具有相对滞后性, 不适合作为冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型评价指标。

2.1.3 冷配送莴笋菜肴的色差 a^* 值变化规律研究

冷藏过程中绿色蔬菜菜肴颜色劣变主要是由于叶绿素的分解和变化而导致绿色变浅, 甚至黄化。实验采用便携式色差仪对的复热后莴笋菜肴的色泽进行测定, 并以色差 a^* 值(红绿色值)反映不同冷藏条件下莴笋菜肴的色泽变化趋势。

当冷配送莴笋菜肴复热后的感官色泽不可接受时, 所对应的色差 a^* 值为-6.49, 此时莴笋的 a^* 值约占烹饪起锅后 a^* 值($a_0^*=-11.38$)的 57%。当 $a^*/a_0^* < 57\%$ 时, 冷配送莴笋菜肴的色泽没有商品价值。因此对冷配送莴笋菜肴而言, 可以确定 $a^*/a_0^*=57\%$ 为其色差的限控量。

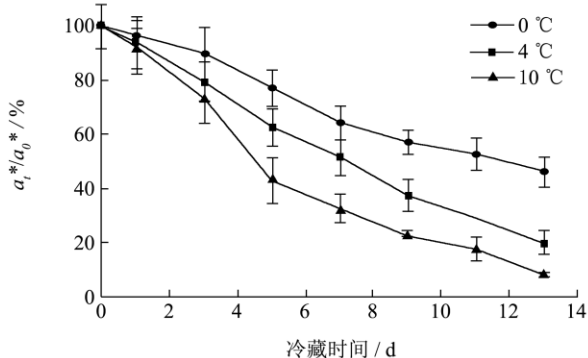


图3 冷藏温度对冷配送莴笋菜肴的色差 a^* 值影响

Fig.3 Effects of storage temperature on a^* value of cold-chain lettuces dish

注: a_t^* 表示冷藏 t d 的冷配送莴笋菜肴复热后的色差 a^* 值; a_0^* 表示烹饪后莴笋的初始色差 a^* 值, 为-11.38。

由图 3 可知, 随着冷藏时间的延长, 复热后莴笋菜肴的 a^* 值均呈增大趋势(或 a_t^*/a_0^* 值呈减小趋势), 即莴笋菜肴的绿色变浅。冷藏温度对莴笋菜肴的色泽具有显著性影响 ($P < 0.5$), 其中冷藏温度越高, a^* 值变化幅度越大。其中 10 °C、4 °C 温度下冷藏 7 d 的复热莴笋 a^* 值分别仅为 a_0^* 值的 32.82%、51.45%, 已

小于其色差的限控量 (57%); 而 0 °C 温度下的莴笋菜肴复热后 a^* 值为 a_0^* 值的 64.25%, 仍可接受。

2.1.4 冷配送莴笋菜肴的硬度变化规律研究

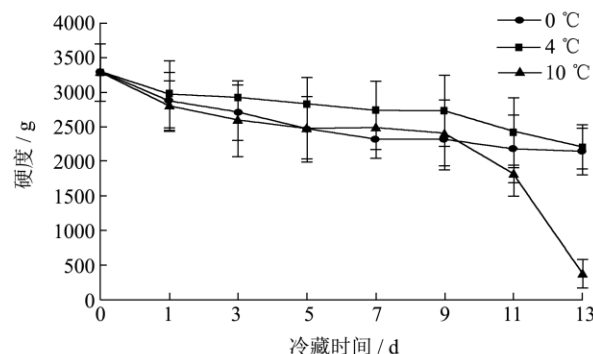


图4 冷藏温度对冷配送莴笋菜肴的硬度影响

Fig.4 Effects of storage temperature on hardness of cold-chain lettuce dish

蔬菜菜肴硬度是其品质评定中的一项重要指标, 是影响菜肴食用性的重要因子。实验在相同的复热条件下, 对不同冷藏条件的莴笋菜肴硬度进行测定。由图 4 可知, 各温度下, 随着冷藏时间的延长, 复热后莴笋菜肴的硬度均呈下降趋势。其中 4 °C 冷藏条件下, 莴笋的硬度下降最为缓慢。而在 10 °C 冷藏 13 d 的莴笋, 复热后其硬度有较大程度的下降, 此时菌落总数为 9.23 lg(cfu/g), 莴笋菜肴处于腐烂状态而导致质构有较大的劣变。总体上, 冷藏过程中, 冷藏温度和时间对莴笋菜肴的硬度影响程度相对较小。

大多数食品可以通过采用定量的质量指标(营养物质、色泽、质构等指标)或者不良的质量指标(如微生物、有毒有害物质等指标)来衡量产品的品质损失^[17]。根据上海市地标 DB31/160-2005 中规定冷藏盒饭的菌落总数不得超过 10^5 cfu/g, 以及国标 GB 2762-2012 中规定蔬菜制品中亚硝酸盐含量的限量指标为 20 mg/kg, 将菌落总数和亚硝酸盐含量的标准规定要求作为冷配送莴笋菜肴货架期终点, 并与色差 a^* 值、硬度的货架期终点进行对比。莴笋菜肴的亚硝酸盐含量变化与菌落总数密切相关, 但其货架期终点与菌落总数的相比具有滞后性, 而冷藏温度和时间对莴笋菜肴的硬度影响程度相对较小, 两者均不适合作为冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型评价指标。而以细菌总数和色差 a^* 值为评价指标的货架期要求最高, 这是由于莴笋菜肴没有经过护色处理, 色泽劣变较快导致。

2.2 冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型

2.2.1 以色差 a^* 值为标准的货架期预测模型

2.2.1.1 色差货架期模型建立

实验对冷配送莴笋菜肴在 0℃、4℃、10℃三个冷藏温度下进行色差 a* 值的一级动力学回归分析, 结果见表 1, 其中各温度下回归方程的 R 均大于 0.97。随着冷藏温度的升高, 色差 a* 值的反应速率常数 k 增大, 说明温度升高可导致蔬菜菜肴色泽劣变加快。

表 1 各温度下冷配送莴笋菜肴的色差 a* 值反应动力学模型拟合

Table 1 Kinetics model simulation for a* value of cold-chain lettuce dish at different storage temperatures

种类	冷藏温度 / (°C/K)	反应速率常数 / (k/d ⁻¹)	R ²	P 值
莴笋	0/273	0.060	0.986	0.000
	4/277	0.112	0.976	0.000
	10/283	0.171	0.974	0.000

由反应速率常数的对数值 ln(k_T) 和热力学温度倒数 1/T 作图, 得到斜率为 -E_a/R 的直线方程 ln(k_T) = -7909/T + 26.234, 从而可求得色差 a* 值变化的活化能 E_a (65758.59 J/mol) 和 k₀ (2.47 × 10¹¹)。结合式(4)求得冷配送莴笋菜肴的色差货架期预测模型(7):

$$SL = \frac{\ln(a_t/a_0)}{2.47 \times 10^{11} \times \exp(-65758.59/RT)} \quad (7)$$

2.2.1.2 色差货架期模型验证

表 2 各贮藏温度下冷配送莴笋菜肴的货架期预测值和实测值比较

Table 2 Comparison of the predicted and observed shelf life of cold-chain lettuce dish's color at different storage temperatures

菜肴种类	温度 (°C/K)	货架期预测值/d	货架期实测值/d	相对误差/%
莴笋	0/273	8.7	9.0	3.33%
	4/277	5.7	6.0	5.00%
	10/283	3.1	3.3	6.06%

注: 相对误差/% = |(预测值 - 实测值)/实测值| × 100%

对各温度下冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型进行验证。由表2可知本实验建立的冷配送莴笋菜肴的货架期预测模型所得到的预测值的准确率均较高, 相对误差均小于7%, 表明在0~10℃温度范围内, 根据该模型可快速准确预测冷配送莴笋菜肴的色泽剩余货架期。若对莴笋菜肴进行护色处理, 可以相应增加冷配送莴笋菜肴的货架期。

2.2.2 以菌落总数为标准的货架期预测模型

2.2.2.1 菌落总数货架期模型建立

实验对冷配送莴笋菜肴在 0℃、4℃、10℃三个冷藏温度下进行菌落总数的一级动力学回归分析, 结

果见表 3, 其中各温度下回归方程的 R 均小于 0.97, 拟合效果较差。采用 Logistic 模型拟合不同冷藏温度下冷配送蔬菜菜肴的菌落总数生长动态, 见表 4。

表 3 各温度下冷配送莴笋菜肴的菌落总数反应动力学模型拟合

Table 3 Kinetics model simulation for the total bacterial count of cold-chain lettuce dish at different storage temperatures

种类	冷藏温度 / (°C/K)	反应速率常数 / (k/d ⁻¹)	R ²	P 值
莴笋	0/273	0.061	0.782	0.000
	4/277	0.111	0.935	0.000
	10/283	0.144	0.863	0.000

表 4 各温度下冷配送莴笋菜肴的菌落总数生长 Logistic 模型

Table 4 Logistic model for the total bacterial count of cold-chain lettuce dish at different storage temperatures

种类	冷藏温度 / (°C/K)	N ₀ / (lg cfu/g)	N _{max} / (lg cfu/g)	μ _m /d ⁻¹	λ/d	R ²
莴笋	0/273	1.18	7.75	0.673	21.890	0.992
	4/277	1.18	8.16	0.784	6.734	0.994
	10/283	1.18	9.23	1.171	2.353	0.996

由表 4 可知莴笋菜肴的菌落总数增长的回归模型的决定系数 R² 均大于 0.99, 说明在 0~10℃冷藏温度下, Logistic 模型能够很好的拟合和预测冷配送莴笋菜肴的菌落总数生长动态。在 0~10℃温度范围内, 随着冷藏温度的升高, 莴笋菜肴中细菌总数的最大比生长速率 μ_m 呈增大趋势。其中 10℃温度下莴笋菜肴的细菌总数 μ_m 为 1.171 d⁻¹, 约为 0℃时 μ_m 的 1.7 倍。另外, 随着冷藏温度的升高, 莴笋菜肴中细菌总数的生长延迟期 λ 呈减小趋势。其中 0℃冷藏温度下莴笋的细菌总数生长延迟期 λ 为 21.89d, 约为 4℃冷藏温度的 3.3 倍, 10℃冷藏温度的 9.3 倍。

2.2.2.2 温度对菌落生长动力学参数的影响

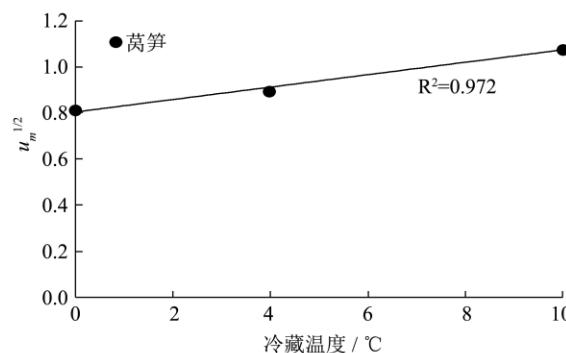


图 5 冷藏温度与最大比生长速率 μ_m 的关系

Fig.5 Relationship between the storage temperature with the maximum specific growth rate (μ_m)

利用平方根模型即 Belehradek^[18] 方程描述冷藏温

度对莴笋菜肴菌落总数生长动力学参数的影响。图 5 为 Belehraddek 方程描述的冷藏温度(°C)与莴笋菜肴中菌落总数的最大比生长速率 μ_m 的关系。方程(8)为冷配送莴笋菜肴的菌落总数最大比生长速率的平方根模型, 该模型的 R^2 为 0.972。表明在 0 °C~10 °C 冷藏温度下, 温度与 $\mu_m^{1/2}$ 呈现良好的线性关系。

$$\mu_m^{1/2} = 0.0267 \times (T - (-30.139)) \quad (8)$$

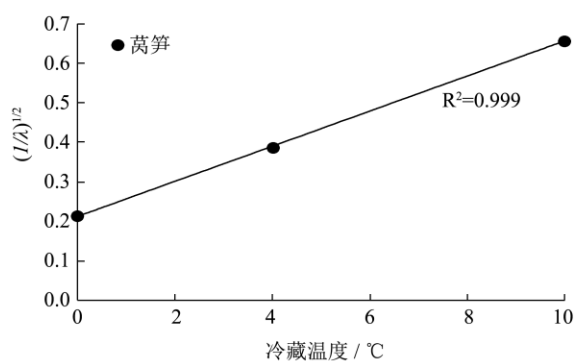


图 6 冷藏温度与生长延迟期 λ 的关系

Fig.6 Relationship between the storage temperature with the growth delay (λ)

$$SL = \frac{1}{\{0.0439 \times [T - (-4.836)]\}^2} \left[\ln \left(\frac{8.38 - 1.18}{5.0 - 1.18} - 1 \right) - 2 \right] \times \frac{8.38 - 1.18}{4 \times \{0.0267 \times [T - (-30.139)]\}^2} \quad (10)$$

对各冷藏温度下莴笋菜肴的细菌总数货架期预测模型进行验证, 由表5可知本实验建立的冷配送莴笋菜肴货架期预测模型所得到的预测值的准确率均较高, 相对误差均小于6%。根据菌落总数货架期预测模型可快速准确预测0~10 °C冷藏温度下冷配送莴笋菜肴的菌落总数剩余货架期。

表 5 各温度下冷配送莴笋菜肴的菌落总数货架期预测值和实测值比较

Table 5 Comparison of the predicted and observed shelf life of cold-chain lettuce dish's total bacterial count at different storage temperature

菜肴种类	冷藏温度 / (°C/K)	货架期预测值/d	货架期实测值/d	相对误差/%
莴笋	0/273	28.1	28.0	0.36%
	4/277	11.2	11.9	5.88%
	10/283	5.7	5.4	5.56%

注: 相对误差/% = |(预测值 - 实测值)/实测值| × 100%

3 结论

3.1 在0 °C、4 °C、10 °C温度下, 随着冷藏时间的延长, 莴笋菜肴的菌落总数、亚硝酸盐含量呈上升趋势, 而色差 a^* 值、硬度结果呈下降趋势。另外, 冷藏温度越

图 6 为 Belehraddek 方程描述的冷藏温度(°C)与莴笋菜肴中菌落总数的生长延迟期 λ 的关系。方程(9)为冷配送莴笋菜肴的菌落总数生长延迟期 λ 的平方根模型, 该模型的 R^2 为 0.999。表明在 0 °C~10 °C 冷藏温度下, 温度与 $\lambda^{1/2}$ 呈现良好的线性关系。

$$(1/\lambda)^{1/2} = 0.0439 \times (T - (-4.836)) \quad (9)$$

总体上, 在 0 °C~10 °C 温度范围内, 平方根模型能够很好的拟合各温度下莴笋菜肴中菌落总数的最大比生长速率和延迟期, 温度与以上两者均具有良好的线性关系。

2.2.2.3 菌落总数货架期模型验证

以上海市地分标准 DB31/160-2005 中规定的 5 lg(cfu/g) 为细菌总数限控量 N_s , 结合冷配送莴笋菜肴的初始细菌总数 N_0 和最大菌数 N_{max} , 建立菌落总数货架期预测模型。其中蔬菜菜肴的最大菌数 N_{max} 为各冷藏温度下最大菌数的平均值, 由实验结果可知莴笋的 N_{max} 为 8.38 lg(cfu/g), N_0 为 1.18 lg(cfu/g)。上述数据代入 Logistic 模型求得 0~10 °C 温度范围内冷配送莴笋菜肴的菌落总数货架期预测模型为方程(10)。

高, 莴笋菜肴的品质指标变化程度越大。其中 10 °C 冷藏温度下莴笋菜肴的品质劣变速率最快。

3.2 对以莴笋菜肴的菌落总数、亚硝酸盐含量、色差 a^* 值、硬度为评价指标的货架期终点进行比较, 莴笋菜肴的亚硝酸盐含量变化与菌落总数密切相关, 但其货架期终点与菌落总数的相比具有滞后性, 而冷藏温度和时间对莴笋菜肴的硬度影响程度相对较小, 因此亚硝酸盐含量和硬度均不适合作为冷配送莴笋菜肴的货架期评定指标。

3.3 各冷藏温度下莴笋菜肴的色差 a^* 值变化遵循一级反应动力学模型, 以色差 a^* 为指标的所建立的一级反应动力学方程和 Arrhenius 方程的 R^2 均大于 0.97, 且在 0 °C~10 °C 温度下莴笋菜肴的冷藏货架期预测值与实测值之间相对误差均小于 7%, 表明在该温度范围内, 根据该模型可快速准确地预测冷配送莴笋菜肴的色差剩余货架期。以色差 a^* 值为指标的货架期要求最高, 若对莴笋菜肴进行护色处理, 可以相应提高冷配送莴笋菜肴的货架期。

3.4 冷配送莴笋菜肴菌落总数的一级反应动力学模拟效果较差, 而采用 Logistic 模型能够很好的拟合莴笋菜肴的菌落总数生长动态, 其 R^2 均大于 0.99。结合平方根模型确定温度对莴笋菜肴的菌落总数生长动力学参数的影响, 从而建立 0~10 °C 温度范围内冷配送莴笋菜肴

的菌落总数货架期预测模型, 预测值与实测值之间相对误差均小于6%, 可快速准确预测地冷配送莴笋菜肴的菌落总数剩余货架期。

参考文献

- [1] 李会合, 田秀英. 不同品种莴笋的品质比较研究[J]. 北方园艺, 2009, 9: 17-19
LI Hui-he, TIAN Xiu-yin. Comparative studies on quality of different lettuce cultivars [J]. Northern Horticulture, 2009, 9: 17-19
- [2] DB31/160-2005, 上海市地方标准盒饭卫生与营养要求[S]
DB31/160-2005, Shanghai local standard - bento health and nutrition requirements [S]
- [3] Huey R B, Kingsolver J G. Variation in universal temperature dependence of biological rates [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, 108(26): 10377-10378
- [4] Carlin F, Guinebretiere M H, Choma C, et al. Spore-forming bacteria in commercial cooked, pasteurised and chilled vegetable purees [J]. Food Microbiology, 2000, 17(2): 153-165
- [5] 朱耀强, 龚婷, 赵思明, 等. 生鲜鲢鱼片货架期预测模型的建立与评价[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 380-383
ZHU Yao-qiang, GONG Ting, ZHAO Si-ming, et al. Evaluation and establishment of shelf-life prediction model for fresh grass carp slices [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(2): 380-383
- [6] Koutsoumanis K, Nychas G J E. Application of a systematic experimental procedure to develop a microbial model for rapid fish shelf life predictions [J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 60(2): 171-184
- [7] Koutsoumanis K, Taoukis P S, Nychas G J E. Development of a safety monitoring and assurance system for chilled food products [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 100(1): 253-260
- [8] Amin I, Lee W Y. Effect of different blanching times on antioxidant properties in selected cruciferous vegetables [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(13): 2314-2320
- [9] McDonald K, Sun D W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45(2): 55-65
- [10] GB 4789.2-2010, 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S]
GB 4789.2-2010, National food safety standard - food microbiological examination: aerobic plate count [S]
- [11] GB 5009.33-2010, 食品安全国家标准食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S]
GB 5009.33-2010, National food safety standard - determination of nitrite and nitrate in foods [S]
- [12] GB 2762-2012, 食品安全国家标准食品中污染物限量[S]
GB 2762-2012, National food safety standard-maximum levels of contaminants in foods [S]
- [13] Guiné R P F, Barroca M J. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper) [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 90(1): 58-63
- [14] Boekel M. Statistical aspects of kinetic modeling for food science problems [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(3): 477-486
- [15] Van Boekel M A J S. Kinetic modeling of food quality: a critical review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008, 7(1): 144-158
- [16] Augustin J C, Brouillaud-Delattre A, Rosso L, et al. Significance of inoculum size in the lag time of *Listeria monocytogenes* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(4): 1706-1710
- [17] Labuza T P, Shapero M, Kamman J. Prediction of nutrient losses [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1978, 2(2): 91-99
- [18] Lebert I, Robles-Olvera V, Lebert A. Application of polynomial models to predict growth of mixed cultures of *Pseudomonas* spp. and *Listeria* in meat [J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 61(1): 27-39