

草莓脯贮藏期间酚类物质降解的动力学模型

胡丽丽^{1,2}, 牛丽影², 李大婧², 张钟元², 肖丽霞¹, 鲁茂林^{1*}

(1. 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225000)

(2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 酚类物质是草莓中重要的生物活性成分, 具有不稳定易降解的特点。为探究草莓脯酚类物质在贮藏过程中的变化规律, 研究了 4、25 和 37 °C 贮藏温度下, 不同包装的草莓脯中酚类物质的降解动力学。结果表明: 草莓脯中的酚类物质对热和光不稳定, 随贮藏温度的升高, 降解速率增大, 半衰期减小; 同一贮藏温度下, 真空避光包装的降解速率最慢, 其次是真空透光、非真空避光和非真空透光。四种包装方式下草莓脯中酚类物质的降解均符合一级动力学模型, 其反应活化能分别为 22.45、17.75、18.91 和 17.42 kJ/mol。四种包装材料预测模型的验证值与实测值的相关系数 $R^2 > 0.99$, 表明了模型的有效性, 可用于预测任意温度下贮藏的酚类物质含量及草莓脯货架期。同时对草莓脯中酚类物质的热力学参数值进行了计算分析, 为阐释酚类物质降解机制提供了依据。

关键词: 草莓脯; 酚类物质; 降解动力学; 贮藏温度; 包装方式

文章编号: 1673-9078(2022)07-197-204

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.7.1063

Degradation Kinetics Models of Phenolics in Dried Strawberry during Storage

HU Lili^{1,2}, NIU Liying², LI Dajing², ZHANG Zhongyuan², XIAO Lixia¹, LU Maolin^{1*}

(1.School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

(2.Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Phenolic substances are important bioactive components in strawberries, which are unstable and easy to degrade. In order to explore the changing trend of the phenolic substances in dried strawberries during storage, the degradation kinetics of these compounds in the dried strawberries stored in different packages at 4, 20 and 37 °C were examined. The results showed that the phenolic substances in dried strawberry were unstable to heat and light. With the increase of storage temperature, the degradation rate increased and the half-life decreased. At the same storage temperature, the degradation rate of the strawberries in vacuum light-proof packaging was the lowest, followed by those with vacuum light-transmitting packaging, non-vacuum light-proof packaging and non-vacuum light-transmitting packaging. The degradation of phenolic substances in the dried strawberries packaged with the four packagings all conformed to the first-order kinetic model, with their reaction activation energies as 22.45, 17.75, 18.91 and 17.42 kJ/mol, respectively. The correlation coefficients between the validated values of the strawberries in the four packaging materials obtained from the prediction model and the measured values, R^2 , were higher than 0.99, indicating the effectiveness of the model. The model can be used to predict the contents of phenolic substances stored at any temperature and the shelf life of dried strawberries. At the same time, the values of the thermodynamic parameters for the phenolic substances in the dried strawberries were calculated and analyzed, which provide a basis for explaining the degradation mechanism of phenolics.

Key words: dried strawberry; phenols; degradation kinetics; storage temperature; packaging method

引文格式:

胡丽丽,牛丽影,李大婧,等.草莓脯贮藏期间酚类物质降解的动力学模型[J].现代食品科技,2022,38(7):197-204

HU Lili, NIU Liying, LI Dajing, et al. Degradation kinetics models of phenolics in dried strawberry during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 197-204

收稿日期: 2021-09-22

基金项目: 江苏省重点研发计划项目 (BE2021316)

作者简介: 胡丽丽 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 2409586908@qq.com

通讯作者: 鲁茂林 (1963-), 男, 副教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: lumlcn@yzu.edu.cn

草莓富含没食子酸、原儿茶酸、对羟基苯甲酸、咖啡酸、香豆酸等酚类物质^[1], 且具有抗氧化、清除自由基等生理活性功能^[2], 同时又是重要的呈色成分。然而食品在加工和贮藏过程中, 酚类物质的性质极不稳定, 容易受到光、热、pH 和空气等条件的影响, 发生自身氧化反应, 产生非酶促褐变反应^[3], 同时其含量和抗氧化活性也会降低^[4]。另外, 不同包装材料因自身分子结构、加工工艺及所用助剂不同, 其透氧率、透光性、阻湿性等表现出较大差异^[5], 继而影响草莓脯贮藏期间酚类物质的降解速率。

草莓脯是近年来深受消费者喜爱的新型果干, 它以新鲜或冷冻的草莓为原料, 经过疏处理、糖渍、烘干等工艺制成。在果脯加工中, 有机酸、黄酮、膳食纤维、维生素等都会降低^[6]。目前, 在食品成分变化规律的研究中, 动力学方程是一种重要的方法^[7], 通过建立食品品质指标变化模型, 可用于预测货架寿命^[8]、研究色泽^[9]、营养风味成分^[10,11]的变化机制等。但对于草莓脯在不同包装和贮藏条件下酚类物质降解动力学研究还较少。随着草莓脯的需求量越来越大, 现阶段为改进草莓脯贮藏工艺并准确预测其货架期, 需从理论角度建立草莓脯在不同贮藏工艺下的酚类物质降解的动力学模型。

本文以草莓脯为研究对象, 选取 4、25 和 37 °C 为试验温度, 作为低温、常温和高温贮藏环境^[12,13], 测定草莓脯酚类物质在真空避光、真空透光、非真空避光和非真空透光四种包装方式下随贮藏时间延长的含量变化, 拟合各温度和包装方式下草莓脯酚类物质降解的动力学, 计算半衰期与反应活化能, 从而确定温度和包装对降解速率等动力学常数的影响, 建立草莓脯贮藏期酚类物质变化的预测模型。结果将为提高草莓脯的品质和延长货架期提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

草莓购买于云南曲靖; 挑选成熟度一致, 无机械损伤和病虫害的草莓果, 清洗去蒂后, 置于-20 °C 的低温冰箱中冻藏, 备用。

没食子酸、乙醇、Folin 酚、碳酸钠均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司

1.2 仪器与设备

UV-6300 型分光光度计, 上海坤权生物科技有限公司; KH-500DE 型数控超声波清洗器, 昆山禾创超声仪器有限公司; H3-16KR 台式高速冷冻离心机, 湖

南可成仪器设备有限公司; 新飞冷柜。

1.3 草莓脯加工及贮藏条件

以冷冻草莓为原料, 制作方法参照文献^[14-16]。将制作好的草莓脯分别进行真空避光、真空透光、非真空避光和非真空透光包装, 然后置于 4、25 和 37 °C 下进行贮藏。

1.4 草莓脯中酚类物质的测定

样品处理: 称取冷冻干燥后的草莓脯 1 g, 置于研钵中捣碎, 收集捣碎的草莓脯加入 5 mL 70% 的乙醇, 30 °C 超声 30 min, 9000 r/min 离心 5 min, 收集上清液, 重复两次, 合并上清液。

样品测定: 吸取 1 mL 测定液, 参考 Kalt^[17]的方法, 测定吸光度, 实验重复 3 次。

2 动力学方程分析

2.1 酚类物质降解的动力学模型

为确定草莓脯贮藏过程中酚类物质降解的规律, 用零级和一级模型来描述草莓脯在贮藏过程中酚类物质的动态变化^[18]:

$$C = C_0 - kt \quad (1)$$

$$\ln \frac{C_t}{C_0} = -kt \quad (2)$$

式中:

C_t —在一定温度下贮藏 t 后酚类物质的含量;

C_0 —样品初始贮藏时的酚类物质含量;

k —在一定温度下酚类物质降解反应速率常数;

t —时间, h。

2.2 反应半衰期

当样品初始品质指标下降 1/2 时, 所需时间 $t_{1/2}$ 为反应的半衰期^[10]。

由 (1) 式可得, 零级反应的半衰期为:

$$t_{1/2} = f(t_0) / 2k \quad (3)$$

由 (2) 式可得, 一级反应的半衰期为:

$$t_{1/2} = \ln 2 / k \quad (4)$$

2.3 Arrhenius 方程^[19,20]

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

将式 (3) 两边同时取对数, 可得:

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A \quad (6)$$

式中:

E_a —活化能, kJ/mol;

R —气体常数, 8.314×10^{-3} kJ/(mol·K);

T —绝对温度, K;

A —指前因子, h^{-1} 。

2.4 预测模拟方程及验证试验

预测草莓脯在不同贮藏条件的酚类物质变化的动力学模型, 由(2)和(5)式可得:

$$t = \frac{\ln(C_0 - C_t)}{A \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (7)$$

式中:

E_a —活化能, kJ/mol;

R —气体常数, 8.314×10^{-3} kJ/(mol·K);

T —绝对温度, K;

A —指前因子, h^{-1} 。

通过在 4、25、37 °C 贮藏的验证试验, 得出 Arrhenius 方程动力学模型预测值与真实值之间的平均相对误差率和相关系数, 判断模型的有效性。

3 结果与讨论

3.1 包装方式对草莓脯贮藏过程中酚类物质含量的影响

酚类物质是草莓脯中重要的营养成分之一, 然而在外界环境的影响下, 自身易发生氧化, 使其活性降低^[21]。将四种包装方式的草莓脯置于不同温度下进行贮藏, 由图 1 所示, 随着贮藏时间的增加, 酚类物质的含量都呈下降趋势。贮藏一个月后不同包装材料的酚类物质含量与贮藏开始时的含量呈显著差异 ($p < 0.05$)。因酚类物质对热呈现不稳定性, 温度越高, 下降的速度越快^[22], 同种包装方式, 4 °C 和 25 °C 贮藏至第 150 d 时, 真空避光包装的酚类物质含量分别为 1.34 mg/g、1.18 mg/g, 分别下降了 1.21、1.37 mg/g, 37 °C 贮藏 75 d 时真空避光包装的酚类物质含量为 0.93 mg/g, 下降了 1.61 mg/g; 同一温度不同的包装方式的酚类物质含量的下降速率也各不相同, 贮藏 150 d 后, 真空避光包装的酚类物质的含量下降了 47.84%、53.73%、63.52%, 真空透光包装酚类物质的含量下降了 61.57%、65.88%和 85.49%; 非真空避光包装在三种温度下酚类物质的含量分别下降了 86.67%、91.46%、92.54%; 非真空透光包装酚类物质的含量下降了 93.33%、95.69%、96.47%。

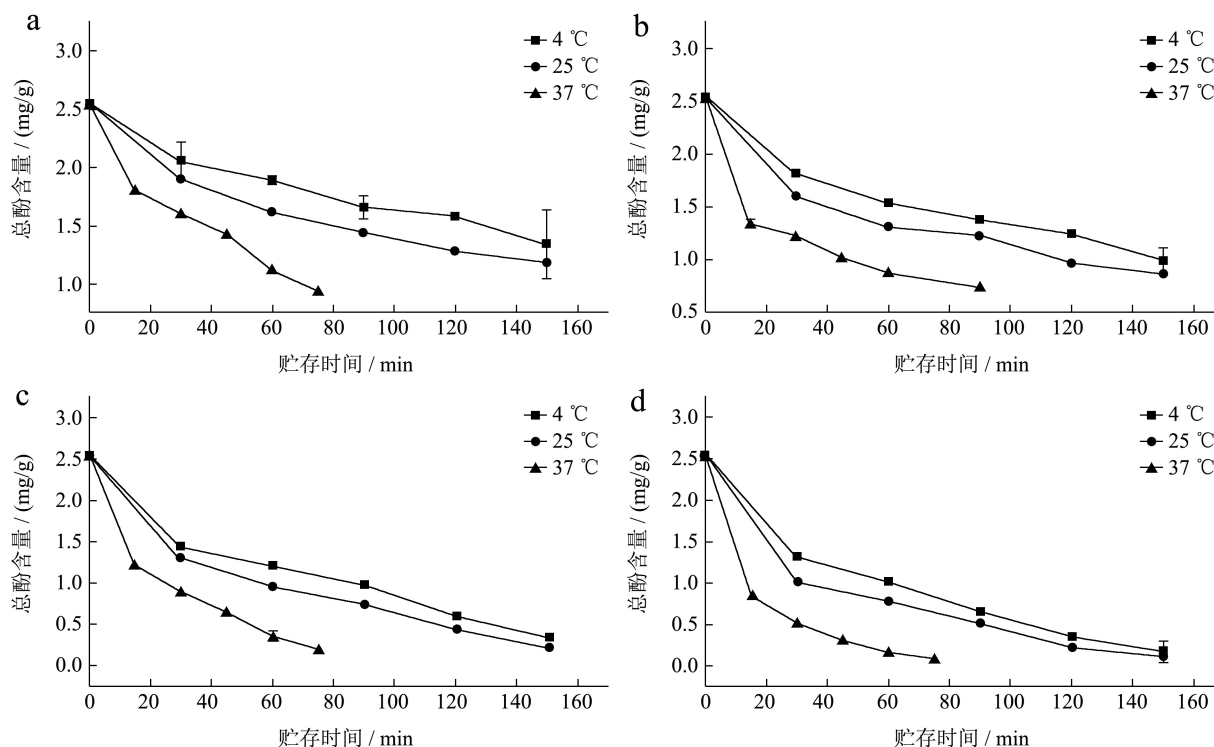


图 1 贮藏温度对真空避光 (a)、真空透光 (b)、非真空避光 (c) 以及非真空透光 (d) 包装条件下酚类物质的影响

Fig.1 The effect of storage temperature on the total phenol content under vacuum protection (a), vacuum transmission (b), non-vacuum protection (c) and non-vacuum transmission (d) packaging conditions

4 °C贮藏三个月后,真空避光包装的酚类物质的损失率为47.45%,而真空透光包装的酚类物质下降了61.57%。这可能与包装材料的材质相关,避光包装的材质为铝箔袋,透光包装的材质为PET,相比之下,避光包装的透光性较透光包装的弱,也有研究表明在紫外光和自然散射光条件下,酚类物质含量和抗氧化性能均呈明显的减少^[23];非真空避光包装的酚类物质比真空避光的降解增快了40.47%,这可能是由于真空包装可以减少氧气的进入,阻止其发生自身氧化,可以较好的保持酚类物质的含量和抗氧化活性^[4]。另外,由图可知,四种包装的草莓脯随着贮藏温度和贮藏时间的增加,酚类物质的含量都呈下降的趋势,可能是由酚类物质对热不稳定性引起的,与陈一等^[24]研究的小米中酚类物质会随贮藏时间和贮藏温度的增加而显著降低的结果相似。Kalt等^[25]也报道了苹果中的酚类物质在5 °C的条件下贮存6个月后,其含量下降了27%。

3.2 不同贮藏温度下四种包装方式的降解速率及反应级数

表1 不同贮藏温度下四种包装方式的降解速率及反应级数

Table 1 Degradation rate and reaction order of the four packaging methods at different storage temperatures

包装方式	温度 /°C	零级		一级	
		R ²	K	R ²	K
真空避光	4	0.9372	0.0074	0.9684	0.0040
	25	0.8803	0.0084	0.9440	0.0081
	37	0.9192	0.0196	0.9727	0.0125
真空透光	4	0.8926	0.0093	0.9571	0.0057
	25	0.8240	0.0099	0.9243	0.0067
	37	0.7530	0.0203	0.8869	0.0147
非真空避光	4	0.8967	0.0131	0.9648	0.0123
	25	0.8529	0.0138	0.9708	0.0152
	37	0.8292	0.0277	0.9817	0.0322
非真空透光	4	0.8753	0.0144	0.9807	0.0171
	25	0.7869	0.0141	0.9742	0.0196
	37	0.6937	0.0275	0.9779	0.0418

分别假设草莓脯中酚类物质的降解符合零级和一级动力学,计算出不同包装和温度下酚类物质在相应级数下的降解速率,将数据进行线性回归,并得到回归系数,结果如表1所示。在一定温度下,通过比较各级反应的降解速率常数k值来比较降解反应的快慢;通过比较各级反应的相关系数R²来推断反应级数,R²较高的说明反应符合此级数。如表1所示,一

级动力学的回归系数均大于零级动力学,说明了不同温度和不同包装方式下的草莓脯中的酚类物质的降解均符合一级动力学规律。有研究表明食品使用不同包装方式贮藏过程中其营养成分的变化大多都符合一阶动力模型^[26,27]。由表1可知,四种包装方式的草莓脯中的酚类物质均表现为随贮藏时间和温度的增加,降解速率增加。对于同一种包装方式,酚类物质的降解速率则表现为37 °C>25 °C>4 °C,以一级动力学速率常数为例,三种温度相比之下,37 °C的k值是25 °C的1.53~2.21倍,是4 °C的3.15~2.45倍,而25 °C的k值是4 °C的k值的1.15~2.05倍,显然由25 °C与37 °C变化速率上升幅度大于4 °C与25 °C,慕菁华^[12]研究发现苹果汁中的酚类物质在贮藏过程中随着时间和温度的增加,易发生化学氧化,造成含量降低。三种温度下,四种包装方式的酚类物质降解速率表现为非真空透光包装>非真空避光包装>真空透光包装>真空避光包装,因此避光和真空包装可以更好的保持食品的品质^[4,5]。

3.3 不同包装方式在不同温度下的半衰期

表2 四种包装方式在不同温度贮藏的半衰期

Table 2 The half-life of the four packaging methods stored at different temperatures

包装方式	温度/°C	半衰期
真空避光	4	94.31
	25	82.32
	37	35.46
真空透光	4	74.85
	25	69.94
	37	34.06
非真空避光	4	52.75
	25	50.41
	37	25.01
非真空透光	4	49.17
	25	48.19
	37	25.21

表2为四种不同包装方式的草莓脯分别在4 °C、25 °C以及37 °C贮藏过程中酚类物质降解的半衰期。对于同一种包装材料,温度越高,半衰期t_{1/2}越短^[26]。Kim等^[27]在研究猕猴桃原浆中酚类物质的动力学降解时发现随着温度的升高,t_{1/2}值降低,降解反应加速。在贮藏温度相同时,真空避光的半衰期比其余包装方式更长,非真空避光包装最短。相同包装的草莓脯,贮藏温度越高,半衰期越短,酚类物质下降越快。因此推荐低温、真空避光的环境下贮藏草莓脯。

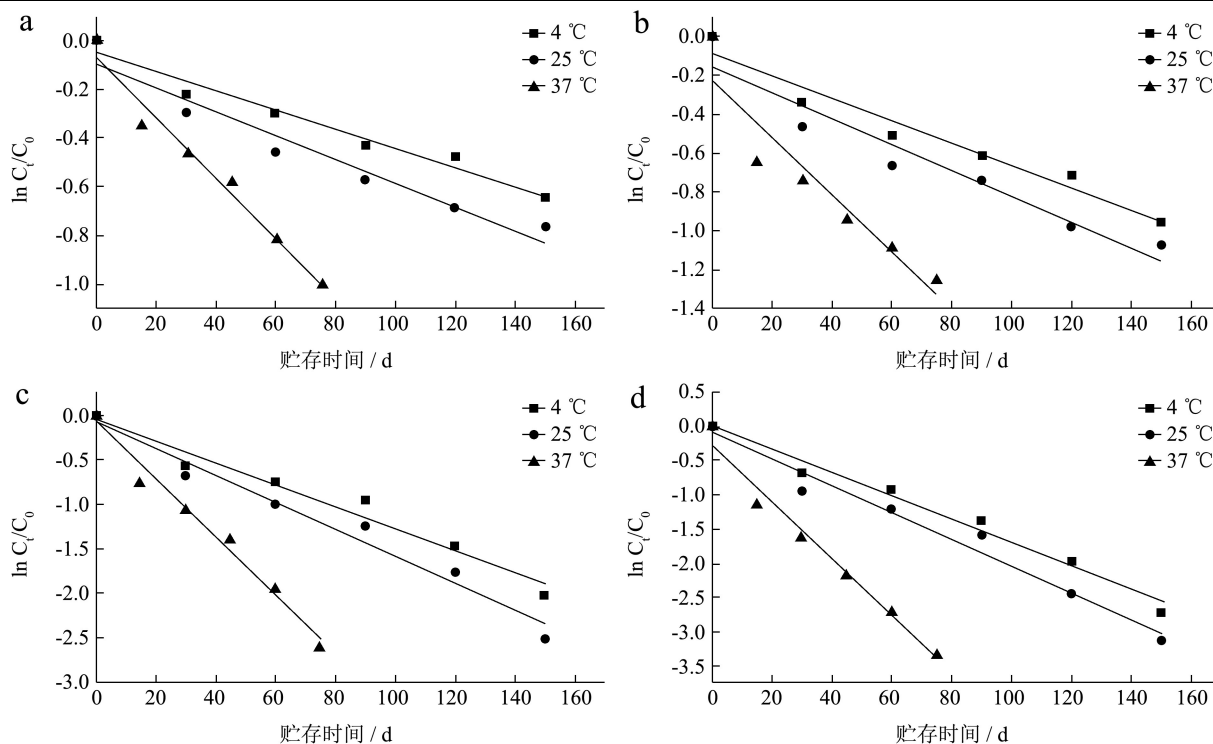


图2 真空避光 (a)、真空透光 (b)、非真空避光 (c)、非真空透光 (d) 的草莓脯在 4 °C、25 °C 和 37 °C 贮存条件下的酚类物质的降解动力学

Fig.2 Vacuum protection (a), vacuum transmission (b), non-vacuum protection (c), non-vacuum transmission (d) degradation kinetics of total phenols of dried strawberry under storage conditions of 4 °C, 25 °C and 37 °C

表3 基于阿伦尼乌斯方程的动力学参数

Table 3 Kinetic parameters based on Arrhenius equation

包装方式	方程式	Ea/R	LnA	Ea	A
真空避光	$Y=-2700.48854x+4.0779$	2700.49	4.08	22.45	50.01
真空透光	$Y=-2181.08124x+2.5969$	-2181.08	2.60	17.75	13.42
非真空避光	$Y=-2274.93525x+3.7090$	-2274.94	3.71	18.91	40.81
非真空透光	$Y=-2094.83322x+3.3797$	-2094.83	3.38	17.42	29.36

表4 不同温度贮存条件下草莓脯中酚类物质降解的热力学参数

Table 4 Thermodynamic parameters of total phenol degradation in dried strawberries under different temperature storage conditions

包装方式	温度/°C	ΔH /(kcal/mol)	K	G/(kcal/mol)	S/(kcal/mol)
真空避光	4	20.15	6.84	80.46	-213.68
	25	19.97	13.09	84.95	-213.94
	37	19.87	19.29	87.37	-213.63
真空透光	4	15.45	9.94	79.60	-217.46
	25	15.28	10.71	85.45	-217.38
	37	15.18	22.72	86.95	-217.42
非真空避光	4	16.61	21.36	77.84	-220.93
	25	16.43	24.44	83.50	-224.60
	37	16.33	49.88	84.92	-221.24
非真空透光	4	15.11	29.55	77.09	-223.63
	25	14.94	31.55	82.76	-227.42
	37	14.84	64.72	84.25	-223.80

3.4 不同贮藏温度下四种包装方式的草莓脯

酚类物质降解动力学参数

3.4.1 不同贮藏温度下四种包装方式的草莓脯中酚类物质降解的一级反应线性图和动力学参数

采用表 1 中酚类物质在不同温度下降解的一级反应速率常数 k , 根据阿伦尼乌斯方程, 对一级反应速率常数的对数 $\ln k$ 与贮藏温度的倒数 $1/T$ 进行线性回归分析, 分别求得其 E_a 和 A 。通常认为化学反应的活化能为 40~400 kJ/mol, 活化能越小化学反应越容易进行^[28]。由表 3 可知, 四种包装方式的 E_a 都较小, 且真空避光包装的 E_a 最小, 说明真空避光包装的草莓脯贮藏过程中酚类物质含量下降较慢。光照条件下, 苹果中的酚类物的邻位酚羟基在空气、光照等条件下容易氧化, 造成酚类物质含量降低^[23]。真空透光和非真空避光的 E_a 值分别为 17.75 kJ/mol 和 18.91 kJ/mol, 这可能是光照对酚类物质的影响较氧气的影响大的原因。

3.4.2 不同贮藏温度下四种包装方式草莓脯中酚类物质降解的热力学参数

阿伦尼乌斯方程通常用来描述温度对动力学常数的影响, 帮助解释酚类物质降解的机理^[29]。吉布斯自由能 ΔG 的值代表了反应物本身与其活化状态之间的差异, 通常介于 77.09 至 86.95 kcal/mol^[19]。 ΔH 为正值, 代表反应是吸热状态, 随着温度升高酚类物质的降解速率会加快。四种包装方式中, 真空避光包装的 ΔH 最大, 说明真空避光包装方式的酚类物质降解需要能量较多, 反应较难发生。 ΔS 绝对值越大, 代表体系最终混乱度越大, 反应越容易发生^[11], 这与非真空透光包装中酚类物质容易降解相符。

3.5 草莓脯贮藏期酚类物质变化的预测模型

及验证

分别将表 2 中的活化能、活化因子, 气体常数代入式 (7) 中, 可得到不同包装方式的动力学降解模型:

$$t = \frac{\ln(C_0 - C_t)}{50.01 \cdot \exp(-\frac{22.45}{8.31T})} \quad (8)$$

$$t = \frac{\ln(C_0 - C_t)}{13.42 \cdot \exp(-\frac{17.45}{8.31T})} \quad (9)$$

$$t = \frac{\ln(C_0 - C_t)}{40.82 \cdot \exp(-\frac{18.91}{8.31T})} \quad (10)$$

$$t = \frac{\ln(C_0 - C_t)}{29.36 \cdot \exp(-\frac{17.42}{8.31T})} \quad (11)$$

式 (8) 为真空避光包装的草莓脯酚类物质降解的一级动力学模型; 式 (9) 为真空透光包装的草莓脯酚类物质降解的一级动力学模型; 式 (10) 为非真空避光包装的草莓脯酚类物质降解的一级动力学模型; 式 (11) 为非真空透光包装的草莓脯酚类物质降解的一级动力学模型, 通过上述模型可以计算出不同包装方式在不同温度下贮藏的草莓脯酚类物质的保留率和降解速率^[25]。为了验证建立的草莓脯酚类物质降解动力学模型的有效性, 试验分别选取 4、25、37 °C 进行了验证试验, 用 3.5 中方程式分别预测在 4、25、37 °C 贮藏 150 d、75 d 后四种包装方式的酚类物质的降解率, 结果如表 5 所示。对表中的预测值和实测值进行相关性分析, 实测值和预测值的决定系数分别为 0.9125 和 0.9980; 0.9503、0.9991; 0.9349、0.9324; 0.9857、0.9071。结果表明所建立的四种包装方式贮藏下草莓脯酚类物质降解的一级动力学模型有效, 可以用于预测特定时间下不同包装及贮藏温度的草莓脯中的酚类物质的降解, 或者根据酚类物质含量预测草莓脯贮藏期。

表 5 草莓脯贮藏过程中酚类物质降解动力学模型验证试验

Table 5 Validation test of kinetic model of total phenol degradation in dried strawberry during storage

温度/°C	真空避光		真空透光		非真空避光		非真空透光	
	实测降解率/%	预测降解率/%	实测降解率/%	预测降解率/%	实测降解率/%	预测降解率/%	实测降解率/%	预测降解率/%
4	47.8	35.60	61.56	53.46	86	81.13	93.33	89.95
25	53.64	58.28	65.88	73.79	91.76	94.88	95.67	98.80
37	63.41	71.09	71.37	83.09	92.54	98.16	96.47	99.41

4 结论

通过研究四种包装方式在 4、25 和 37 °C 下草莓

脯酚类物质含量的变化, 结果表明贮藏温度和包装方式对草莓脯中酚类物质的含量有显著的影响。酚类物质的含量随贮藏温度的升高而降低, 真空避光包装的

酚类物质含量下降最慢,非真空透光包装的酚类物质含量下降最快,说明了光照和氧气对酚类物质有一定程度的影响。通过进行动力学分析,四种包装方式的草莓脯中酚类物质的含量均符合一级动力学模型。本研究结果可为优化草莓脯贮藏工艺、有效控制贮藏过程中酚类物质的损失提供理论依据与技术支持。

参考文献

- [1] 刘文旭.草莓酚类物质分离纯化、生物活性和结构的研究[D].南京:南京农业大学,2012
LIU Wenxu. Study on the separation, purification, biological activity and structure of strawberry phenolic compounds [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
- [2] 曹贵寿,张倩茹,尹蓉,等.不同草莓品种酚类物质含量及抗氧化能力研究[J].农学学报,2018,8(2):35-41
CAO Guishou, ZHANG Qianru, YIN Rong, et al. Study on the phenolic compound content and antioxidant capacity of different strawberry varieties [J]. Acta Agricultural Science, 2018, 8(2): 35-41
- [3] Bocharova O, Bocharova M. The dual role of phenolic compounds in oxidative changes in fruit products [J]. International Food Research Journal, 2017, 24(3): 1261-1269
- [4] 杨春梅.影响核桃仁中多酚类物质抗氧化活性因素的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2007
YANG Chunmei. Study on the factors affecting the antioxidant activity of polyphenols in walnut kernels [D]. Huhehot: Inner Mongolia Agricultural University, 2007
- [5] 刘春芝,许洪高,高彦祥,等.包装技术与工程不同包装橙汁贮藏期间物理品质的变化[J].包装工程,2012,33(15):1-5,20
LIU Chunzhi, XU Honggao, GAO Yanxiang, et al. Packaging technology and engineering. Changes in physical quality of different packaging orange juice during storage [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 1-5, 20
- [6] 杨文博,刘慧,刘杰超,等.加工条件对青梅果脯营养成分的影响[J].食品安全质量检测学报,2017,8(12):4669-4674
YANG Wenbo, LIU Hui, LIU Jiechao, et al. The effect of processing conditions on the nutritional components of candied green plums [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2017, 8(12): 4669-4674
- [7] Goncalves E M, Abreu M, Pinheiro J, et al. Quality changes of carrots under different frozen storage conditions: a kinetic study [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(12): 14953
- [8] Bozkurt H, Göğüş F, Eren S. Nonenzymic browning reactions in boiled grape juice and its models during storage [J]. Food Chemistry, 1999, 64(1): 89-93
- [9] Wang H, Ni Y, Hu X, et al. Kinetics of amino acid loss in carrot juice concentrate during storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(5): 785-792
- [10] 刘春菊,钱旻,宋江峰,等.速冻莲藕片贮藏过程中品质变化动力学模型[J].农业工程学报,2017,33(6):301-308
LIU Chunju, QIAN Min, SONG Jiangfeng, et al. Kinetic model of quality change during storage of quick-frozen lotus root slices [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(6): 301-308
- [11] 刘凤霞,张燕,汪厚银,等.热破碎番茄浆贮藏期间非酶褐变动力学分析[J].食品科学,2011,10:266-271
LIU Fengxia, ZHANG Yan, WANG Houyin, et al. Non-enzymatic browning kinetic analysis of thermally crushed tomato pulp during storage [J]. Food Science, 2011, 10: 266-271
- [12] 蔡菁华.苹果浓缩汁二次混浊形成机理及控制技术研究[D].北京:中国农业大学,2003
QI Jinghua. Study on the formation mechanism and control technology of secondary turbidity of apple juice concentrate [D]. Beijing: China Agricultural University, 2003
- [13] Zcw A, Yxy A, Hpa C, et al. The shelf-life of chestnut rose beverage packaged in PEN/PET bottles under long term storage: a comparison to packaging in ordinary PET bottles [J]. Food Chemistry, 2022, 370: 131044
- [14] 孙永刚,韦勇.一种草莓果脯及其加工方法:中国,CN 103976121A [P]
SUN Yonggang, WEI Yong. A kind of strawberry fruit and its processing method: China, CN 103976121A [P]
- [15] 黄文杰.草莓脯、草莓脯的制作[J].农家顾问,2015,23:56-57
HUANG Wenjie. The production of dried strawberry and dried strawberry [J]. Nongjia Consultant, 2015, 23: 56-57
- [16] 张友峰,邓洁红,张华.草莓脯加工工艺优化研究[J].包装与食品机械,2013,31(5):15-18
ZHANG Youfeng, DENG Jiehong, ZHANG Hua. Research on optimization of processing technology of dried strawberry [J]. Packaging and Food Machinery, 2013, 31(5): 15-18
- [17] Kalt W. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants [J]. Journal of Food Science, 2010, 70(1): R11-R19
- [18] Martynenko A, Chen Y. Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blueberry hydrothermodynamic (HTD) processing [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 171: 44-51
- [19] Zhang W, Luo Z, Wang A, et al. Kinetic models applied to

- quality change and shelf life prediction of kiwifruits [J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 138(21): 110610
- [20] 李恩惠, 矫馨瑶, 王晨歌, 等. 蓝莓花色苷降解动力学及稳定性[J]. 食品科学, 2018, 39(5): 1-7
- LI Enhui, JIAO Xinyao, WANG Cheng, et al. Degradation kinetics and stability of blueberry anthocyanins [J]. Food Science, 2018, 39(5): 1-7
- [21] 曹一菲, 严守雷, 李洁, 等. 水煮藕带贮藏期非酶褐变的主要影响因素探究[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 251-257
- CAO Yifei, YAN Shoulei, LI Jie, et al. Research on the main influencing factors of non-enzymatic browning of boiled lotus root during storage [J]. Food Science, 2021, 42(3): 251-257
- [22] 黄微. 加工和贮藏对红枣浓缩汁酚类物质的影响[D]. 西安: 西北大学, 2012
- HUANG Wei. The effect of processing and storage on the phenolic substances in red jujube juice concentrate [D]. Xi'an: Northwest University, 2012
- [23] 袁歆贻. pH 与光照对苹果多酚稳定性的影响[J]. 现代农业科技, 2014, 19: 297-299, 4
- YUAN Xinyi. The effect of pH and light on the stability of apple polyphenols [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014, 19: 297-299, 4
- [24] 陈一, 曲丽洁. 不同贮藏条件下“张杂谷”系列小米酚类物质含量的变化规律[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(5): 73-75
- CHEN Yi, QU Lijie. Variation of the total phenol content of "Zhangzagu" millet under different storage conditions [J]. Grain and Oils, 2020, 33(5): 73-75
- [25] Kalt W, CF Forney, Martin A, et al. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999, 47(11): 4638-4644
- [26] 张元元, 张映瞳, 胡花丽, 等. 草莓汁贮藏期维生素 C 的降解动力学研究[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 120-126
- ZHANG Yuanyuan, ZHANG Yingtong, HU Huali, et al. Study on the degradation kinetics of vitamin C in strawberry juice during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 120-126
- [27] AhNa Kim, HyunJin Kim, Jiyeon Chun, et al. Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperatures [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 120-126
- [28] 李敏, 熊维. 不同贮藏温度条件下大白菜品质动力学方程分析研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(6): 160-164
- LI Min, XIONG Wei. Analysis of Chinese cabbage quality kinetic equations under different storage temperatures [J]. China Brewing, 2019, 38(6): 160-164
- [29] Berline C, Brat P, Brillouet J, et al. Ascorbic acid, aroma compounds and browning of orange juices related to PET packaging materials and pH [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(13): 2206-2212
-
- (上接第 308 页)
- [28] XIAO Zuobing, LUO Jing, NIU Yunwei, et al. Olfactory impact of esters on rose essential oil floral alcohol aroma expression in model solution [J]. Food Research International (Ottawa, Ont.), 2019, 116: 211-222
- [29] Yu A, Tan Z, Wang F. Mechanism of formation of sulphur aroma compounds from l-ascorbic acid and l-cysteine during the Maillard reaction [J]. Food Chemistry, 2012, 132(3): 1316-1323
- [30] Li X, Liu S. Effect of pH, xylose content and heating temperature on colour and flavour compound formation of enzymatically hydrolysed pork trimmings [J]. LWT, 2021, 150: 112017
- [31] 王李平, 张乐, 林晨, 等. 花生油挥发性风味物质 SPME-GC/MS 指纹图谱的研究[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 162-165
- WANG Liping, ZHANG Le, LIN Chen, et al. Investigation of volatile components in peanut oil by SPME-GC-MS and its fingerprinting analysis [J]. The Food Industry, 2020, 41(7): 162-165
- [32] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS 和 HS-SPME-GC-MS 对 5 种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(9): 102-111
- YUAN Taojing, ZHAO Xiaoyin, PANG Yiyang, et al. Detection of volatile flavor compounds in five edible vegetable oils by electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS [J]. China Oils and Fats, 2020, 45(9): 102-111
- [33] 王文通, 江汉美, 轩菲洋. HS-SPME-GC-MS 分析莲须、莲子心挥发性成分[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(3): 137-140
- WANG Wentong, JIANG Hanmei, XUAN Feiyang. Analysis of volatile components in nelumbinis stamen and nelumbinis plumula by HS-SPME-GC-MS [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(3): 137-140