DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2021.06.028

滚筒催化红外—热风联合干燥核桃的贮藏特性

Storage properties of walnuts dried by drum catalytic infrared-hot air

曲文娟[1] 凡 威[2] 马海乐[1] 师俊玲[3] 蒋群辉[4] 潘忠礼[5]

QU Wen-juan[1] *FAN Wei*[2] *MA Hai-le*[1] *SHI Jun-ling*[3] *JIANG Qun-hui*[4] *PAN Zhong-li*[5]

(1. 江苏大学食品物理加工研究院,江苏 镇江 212013;2. 江苏大学食品与生物工程学院,江苏 镇江 212013;3. 西北工业大学生命学院,陕西 西安 710072;4. 镇江美博红外科技有限公司,江苏 镇江 212013;5. 美国加州大学戴维斯分校生物与农业工程系,美国 加州 95616)

(1. *Institute of Food Physical Processing, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu* 212013, *China*; 2. *School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu* 212013, *China*; 3. *School of Life Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi* 710072, *China*; 4. *Maybo Innovation Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu* 212013, *China*; 5. *Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis, California* 95616, *USA*)

摘要:以酸价和过氧化值为评价指标,研究不同贮藏温度和时间下核桃氧化酸败反应动力学过程,建立评价不同贮藏温度下核桃货架期的预测模型。结果表明,干燥处理后核桃贮藏期间酸价和过氧化值均随贮藏时间的延长而不断升高。变温滚筒催化红外—热风联合干燥处理的核桃酸价和过氧化值增幅最小,贮藏 90 d 后酸价为 1.27 mg/g,过氧化值为 0.019 9 g/100 g,其次是恒温滚筒催化红外—热风联合干燥核桃,最高的为单一热风干燥核桃,但均未超过国家规定标准,且品质良好。核桃的氧化酸败反应符合一级化学反应动力学模型。此外,分别以酸价和过氧化值建立了变温滚筒红外—热风联合干燥核桃的货架期预测模型,其 $R^2>0.99$,相对误差<9%,表明该预测模型在 5~35 ℃ 内可较好地预测核桃的货架期。

关键词:滚筒催化红外干燥;热风干燥;核桃;油脂;贮藏

Abstract: The kinetic processes of oxidative rancidity reaction of walnut under different storage temperatures and times were studied, by using acid value and peroxide value as evaluation indexes. The prediction models for evaluating the shelf life of walnut under different storage temperatures were established. The results showed that the acid and peroxide values of walnut increased with the prolonging of storage time. The increases of walnut acid and peroxide values were the lowest in the treatment of combined drying of drum catalytic infrared with a variable temperature and hot air. After 90 days of storage, the acid and peroxide values of walnut were 1.27 mg/g and 0.019 9 g/100 g, followed by the combined drying of drum catalytic infrared with a constant temperature and hot air and the highest was single hot air drying, which did not exceed the national standard and all had good quality. The oxidation and rancidity reaction of walnut accorded with the first-order chemical reaction kinetics model. In addition, the shelf-life models of walnut dried by the combined drying of drum catalytic infrared with a variable temperature and hot air were established by acid value and peroxide value respectively. The R^2 values were all greater than 0.99, and the relative error was less than 9%. It showed that the prediction model could better predict the shelf life of walnut under the storage condition of 5~35 ℃.

Keywords: drum catalytic infrared drying; hot air drying; walnut; oil; storage

核桃果仁含有丰富的蛋白质和亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸,而且富含多种人体必需的氨基酸和矿物质元素,经济价值较高[1]。但采摘后的新鲜核桃若不及时处理常常会导致腐烂发霉,影响食用品质,而干燥脱水是延长货架期最常见的加工方式之一[2]。

核桃仁含油率较高,其中不饱和脂肪酸占比达 95% 以上,n_6∶n_3 脂肪酸比例高达 5 以上,且必需脂肪酸含量占 75%以上[3]。富含油脂的产品在加工和贮藏过程中极易发生水解和氧化酸败,不仅出现异味,同时会产生对人体有害的物质,从而降低产品的感官品质、营养价值和货架期[4-5]。近年来,国内外学者已从干燥工艺[6]、包装[7-8]、贮藏因素[9]等方面对核桃的品质变化进行分析,

基金项目:国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项(编号:2017YFE0105300);江苏省"六大人才高峰"高层次人才项目(编号:NY-010)

作者简介:曲文娟(1980—),女,江苏大学教授,博士。E-mail:wqu@ujs.edu.cn

收稿日期:2021-04-15

但这些研究多集中于对核桃油脂氧化酸败指标的静态分析,而有关核桃在贮存过程中油脂氧化酸败变化的动力学特性及货架期预测研究较少,同时对于新型干燥方式——滚筒催化红外—热风联合干燥核桃的贮藏特性未见报道。

研究拟以酸价和过氧化值为指标,将恒温和变温滚筒催化红外—热风联合干燥的核桃进行加速贮藏试验用以评估其在不同贮藏时间下的油脂品质变化规律,并与单一热风干燥进行比较。此外,在不同贮藏温度条件下进行变温滚筒催化红外—热风联合干燥核桃的贮藏试验,应用氧化酸败反应动力学建立核桃货架期预测模型,以实现对产品在贮存过程中氧化酸败状况的实时监测,为预测核桃品质状况的长期变化趋势提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验原料与试剂

新鲜带青皮核桃:清香,于 9 月份成熟时采摘于陕西,−20 ℃贮藏备用;

无水硫酸钠、酚酞、异丙醇、无水乙醇、正己烷、三氯甲烷、冰乙酸、无水乙醚、碘化钾、硫代硫酸钠、重铬酸钾、氢氧化钾、可溶性淀粉:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2　主要仪器与设备

滚筒催化红外干燥设备(图 1):江苏大学食品学院联合镇江美博红外科技有限公司研制;

热风干燥设备:江苏大学食品学院联合泰州圣泰科红外科技有限公司研制;

天平:BAS2202S 型,德国 Sartorius 公司;

循环水式多用真空泵:SHZ-D(Ⅲ)型,上海秋佐科学仪器有限公司;

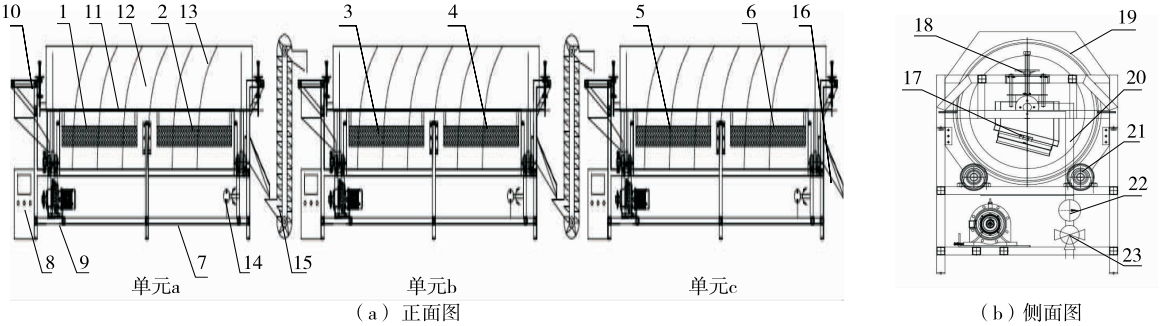
旋转蒸发器:RE-2000B 型,上海亚荣生化仪器厂;

恒温恒湿培养箱:HWS-P250C 型,合肥华德利科学器材有限公司。

1.3　试验方法

1.3.1　核桃干燥处理　将鲜核桃从冷藏室取出,室温(25 ℃)解冻,除去外层青皮及表面杂质,清洗后于通风处沥干表面水分,分别经恒温滚筒催化红外—热风联合、变温滚筒催化红外—热风联合和单一热风干燥至干基含水率 8%以下,具体干燥条件详见表 1。收集 3 种干燥方式处理后的核桃作为后续贮藏试验原料。

1.3.2　加速贮藏试验　将 3 种干燥方式处理后的核桃于 35 ℃、相对湿度 75%的培养箱中进行加速贮藏,每隔15 d 取样提取油脂,分别测定酸价和过氧化值。



(a) 正面图　　(b) 侧面图

1~6. 催化式红外发生器(1 800 mm×480 mm×40 mm)　7. 机架　8. 电器控制箱　9. 滚筒转动电机　10. 进料料斗　11. 支撑轴　12. 滚筒干燥室 a/b/c(Φ 1 000 mm×4 000 mm)　13. 滚筒干燥室内壁挡板　14. 空气泵　15. 物料传送带　16. 出料料斗　17. 温度传感器　18. 红外板距离调整装置　19. 滚筒干燥室外壁　20. 气体管道　21. 传动齿轮　22. 燃气压力表　23. 燃气调节阀门

图 1　滚筒催化红外干燥设备

Figure 1　Drum catalytic infrared drying device

表 1　不同干燥处理方法的条件

Table 1　Conditions of different drying treatment methods

干燥方式	红外干燥				热风干燥			干燥总时间/h
	温度/℃	距离/cm	滚筒转速/(r·min^{-1})	时间/min	温度/℃	风速/(m·s^{-1})	时间/h	
单一热风干燥	—	—	—	—	43	3	20	20.00
恒温滚筒催化红外—热风联合干燥	发生器 1 和 2 均为 450	30	单元 a 为 1.5	9.5	43	3	16	16.16
变温滚筒催化红外—热风联合干燥	发生器 1,3,5 为 300,发生器 2,4,6 为 400	30	单元 a,b,c 分别为 1.5,2.0,2.0	22.5	43	3	14	14.38

1.3.3　核桃油脂提取　参照孟阿会[10]16的方法并略有修改。取核桃仁粉碎处理后，与正己烷按 $m_{核桃粉}:V_{正己烷}$ 为 1∶5 (g/mL)混合后置于具塞锥形瓶中，暗处提取 12 h，真空抽滤，经旋转蒸发处理除去提取剂，得到核桃油样。

1.3.4　核桃油理化指标测定

(1) 酸价(AV)：按 GB 5009.229—2016 执行。

(2) 过氧化值(POV)：按 GB 5009.227—2016 执行。

1.3.5　货架期预测试验　将变温滚筒催化红外—热风联合干燥的核桃分别于 5，15，25，35 ℃、相对湿度 75%条件下进行贮藏，每隔 15 d 取样提取油脂，分别测定酸价和过氧化值。

(1) 氧化酸败反应动力学方程：根据杨虎清等[11]的方法，选择一级反应动力学模型，其反应方程为：

$$\ln\frac{A_t}{A_0}=kt\ , \tag{1}$$

式中：

A_t——贮藏 t 时间后某理化指标含量；

A_0——某理化指标的初始含量；

t——贮藏时间，d；

k——氧化酸败反应速率常数，d^{-1}。

(2) 氧化酸败反应速率常数与温度的关系：根据式(1)计算不同贮藏温度下的氧化酸败反应速率常数 k_T，按照 Arrhenius 方程[12-13]计算 k_T 与 T 的关系式为：

$$k_T=k_0\exp(-\frac{E_A}{RT})\ , \tag{2}$$

式中：

k_T——温度 T 下的氧化酸败反应速率常数，d^{-1}；

k_0——指数前因子，d^{-1}；

E_A——活化能，J/mol；

R——气体常数，8.314 4 J/(mol·K)；

T——热力学温度，K。

对式(2)取自然对数得：

$$E_A=R\frac{T_1T_2}{T_1-T_2}\ln\frac{k_{T2}}{k_{T1}}\ , \tag{3}$$

式中：

k_{T1}、k_{T2}——对应于温度 T_1、T_2 下的氧化酸败反应速率常数，d^{-1}。

试验中，通过不同温度 T 条件下的 k_T 值可计算获得不同温度段 278～288，288～298，298～308 K 下氧化酸败反应的活化能 E_{A1}、E_{A2} 和 E_{A3}。

(3) 货架期预测模型：通常用 Q_{10} 表示油脂氧化酸败速率对温度的敏感性[11-13]，其计算公式为：

$$Q_{10}=\frac{\theta_T}{\theta_{T+10}}=\frac{k_{T+10}}{k_T}\ , \tag{4}$$

式中：

Q_{10}——温差为 10 ℃某理化指标降低速率比或食品品质保持的时间比原来延长的倍数；

θ_T——温度为 T 时的贮藏时间，d；

θ_{T+10}——温度为 $T+10$ ℃时的贮藏时间，d。

将式(2)代入式(4)得：

$$Q_{10}=\frac{k_{T+10}}{k_T}=\exp\frac{E_A\times10}{RT(T+10)}\ 。 \tag{5}$$

试验中，通过不同温度段 278～288，288～298，298～308 K 下核桃的 Q_{10}^1、Q_{10}^2 和 Q_{10}^3，再根据温度段范围内最低温度 T_0 条件下的最长贮藏时间 θ_{T0}，建立不同贮藏温度下的货架期预测模型，其计算公式为：

$$\theta_T=\theta_{T0}\times Q_{10}^{(T0-T)/10}(T\geqslant T_0)\ 。 \tag{6}$$

1.3.6　货架期预测模型的验证实验　将变温滚筒催化红外—热风联合干燥的核桃分别于 18，28 ℃、相对湿度 75%条件下进行贮藏，每隔 15 d 取样提取油脂，分别测定酸价和过氧化值，用以验证货架期预测模型。

1.4　数据统计分析

所有试验均平行 3 次，结果以平均值±标准偏差表示，采用 OriginPro 9.1 软件制图。利用 IBM SPSS Statistics 25 软件对试验数据进行显著性分析，采取 Duncan 检验，当 $P<0.05$ 时，代表数据之间存在显著性差异。

2　结果与讨论

2.1　3 种干燥方式核桃酸价和过氧化值变化与贮藏时间的关系

2.1.1　酸价　酸价(AV)是用以表征油脂氧化酸败水解程度的指标，可以用来反映油脂水解的程度。当 AV 升高时，油脂内游离脂肪酸占比上升[11]。由图 2 可知，3 种干燥方式处理的核桃在贮藏期间 AV 均随贮藏时间的延长而上升，是由脂肪水解酶不断水解油脂产生越来越多的游离脂肪酸造成的[14]，与杨虎清等[11]的结论一致。此外，单一热风干燥处理的核桃 AV 升高最为显著，35 ℃贮藏 90 d 后，AV 达到 1.71 mg/g；恒温滚筒催化红外—热风联合干燥的升高幅度次之，90 d 后为 1.39 mg/g；而变温滚筒催化红外—热风联合干燥的增幅最小，90 d 后 AV 仅为 1.27 mg/g。3 种干燥方式处理的核桃在 35 ℃下贮藏 90 d 后的 AV 值(1.27～1.71 mg/g)接近山核桃[11]的。贮藏 90 d 后，变温滚筒催化红外—热风联合干燥处理的核桃 AV 最低，其次是恒温滚筒催化红外—热风联合干燥核桃，单一热风干燥的最高，这是由于 3 种干燥方式的干燥时间不同引起的核桃油初始品质不同。在达到相同干燥效果(干基含水率 8%)下，变温滚筒催化红外—热风联合干燥、恒温滚筒催化红外—热风联合干燥、单一热风干燥所需时间分别为 14.38，16.16，20.00 h。变温滚筒催化红外—热风联合干燥时间最短，故油脂初始品质最好，随着贮藏时间的增加，AV 增幅最小。3 种干燥方式处理的核桃贮藏 90 d 后的 AV 值均未超过 GB 19300—2014《坚果与籽类食品》的要求，表明核桃 AV 指标达标。

2.1.2　过氧化值　过氧化值(POV)是用以衡量脂肪一级

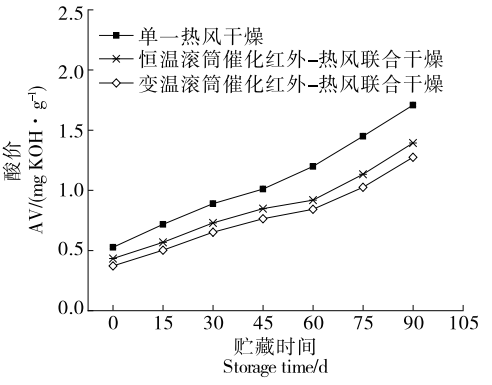


图 2　3 种干燥方式核桃酸价随贮藏时间的变化

Figure 2　Change in the acid value of walnut with storage time at three drying methods

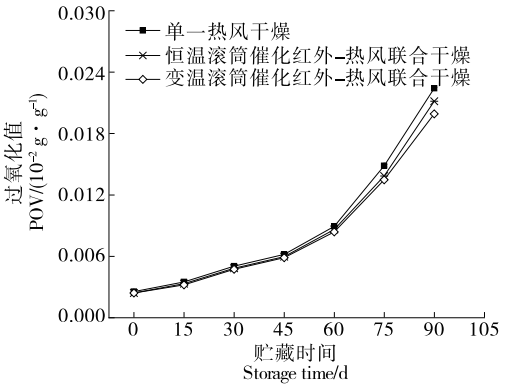


图 3　3 种干燥方式核桃过氧化值随贮藏时间的变化

Figure 3　Change in the peroxide value of walnut with storage time at three drying methods

氧化产物的指标,表明物料内脂肪氧化的初级程度,因而可以通过测定 POV 的高低来评判脂肪氧化的程度[11]。由图 3 可知,3 种干燥方式处理的核桃在贮藏期间 POV 的变化趋势一致,均随贮藏时间的延长不断升高,是因为随着贮藏时间的延长,油脂氧化反应速度不断增加,与杨虎清等[11]的结果一致。POV 升高最显著的为单一热风干燥处理的核桃,贮藏 90 d 后,POV 由最初的 0.002 5 g/100 g 上升至 0.022 4 g/100 g,增加了 7.96 倍;其次是恒温滚筒催化红外—热风联合干燥处理的核桃,POV 由 0.002 4 g/100 g 上升至 0.021 1 g/100 g,增加了 7.79 倍;POV 增幅最小的为变温滚筒催化红外—热风联合干燥处理的核桃,POV 上升至 0.019 9 g/100 g,增加了 7.29 倍。3 种干燥方式处理的核桃在 35 ℃下贮藏 90 d 后的 POV 值(0.019 9～0.022 4 g/100 g)低于山核桃[11]的。此外,贮藏 90 d 后,变温滚筒催化红外—热风联合干燥处理的核桃油 POV 最低,其次是恒温滚筒催化红外—热风联合干燥,单一热风干燥核桃的 POV 最高。3 种干燥方式处理的核桃 POV 随贮藏时间的变化趋势与 AV 的相似,均是由 3 种干燥方式处理下核桃油初始品质不同引起的。3 种干燥方式处理的核桃贮藏 90 d 后的 POV 值均未超过 GB 19300—2014《坚果与籽类食品》的要求,表明核桃 POV 指标达标。

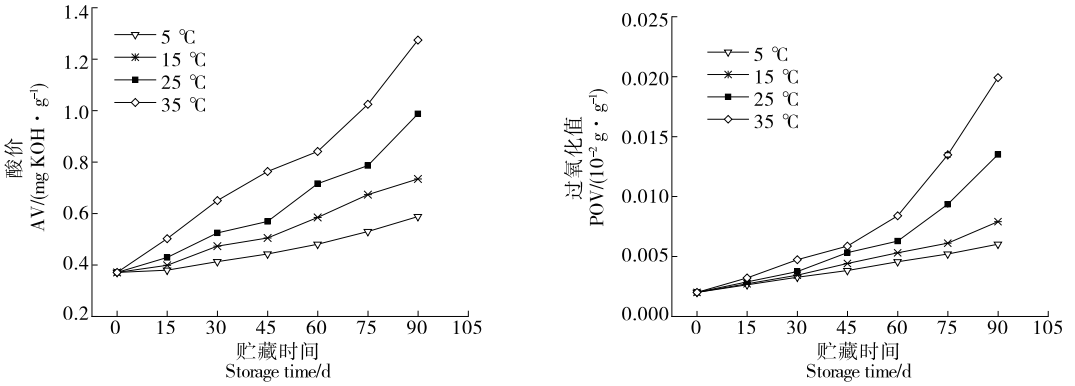
2.2　变温滚筒催化红外—热风联合干燥核桃贮藏期油脂变化和货架期模型构建

2.2.1　核桃酸价和过氧化值的变化与贮藏时间的关系

由图 4 可知,不同贮藏温度下核桃 AV 和 POV 均呈相似的变化趋势,随贮藏时间的延长而逐渐升高,且增长速率与贮藏温度关系密切[15],贮藏温度越高,AV 和 POV 增加的速率越大,与杨虎清等[11]的结论一致。以贮藏 90 d 为例,不同贮藏温度下 AV 和 POV 均出现显著性差异($P<0.05$);35 ℃下的核桃 AV 值从 0.37 mg/g 上升至 1.27 mg/g,升高了 2.43 倍;25 ℃下的 AV 值从 0.37 mg/g 上升至 1.00 mg/g,升高了 1.70 倍;其次是 15 ℃的,AV 值增加了 0.97 倍;而 5 ℃的 AV 值仅增加了 0.59 倍。不同贮藏温度下 POV 值变化趋势与 AV 值的相似,35 ℃时的 POV 值升高幅度最大,由 0.002 g/100 g 升高至0.020 g/100 g,升高了 8.97 倍;其次是 25 ℃的,POV 值由 0.002 g/100 g 升高至 0.013 g/100 g,升高了 5.50 倍;15 ℃下的 POV 值由 0.002 g 升高至 0.008 g,提升了3 倍;而 5 ℃下的 POV 值升高幅度最小,仅增加了 2.01 倍。说明低温贮藏处理可以有效抑制脂肪酶的活性,降低脂肪氧化酸败程度[11,16]。而较高的贮藏温度对于脂肪氧化酸败的影响主要有两方面:① 加速脂肪内部碳链的受热断裂;② 加速脂肪酶、过氧化物酶以及脂氧合酶等酶类对脂肪的水解和氧化,产生了更多的游离脂肪酸和过氧化氢,从而提高了酸价和过氧化值[17-18]。5 ℃下贮藏的核桃的 AV 和 POV 值呈缓慢上升趋势,表明核桃内部氢过氧化物处于缓慢累积阶段,油脂氧化程度较慢,品质依旧保持良好,与王玉良[19]15-17的结论一致,说明低温贮藏有利于降低氧化反应程度。

2.2.2　油脂氧化酸败反应动力学结果　Labuza 等[20]指出大多数食品的品质变化可以用定量的质量指标 A(营养物质、特殊风味等)的损失或不良质量指标 B(有害物质、异味等)的生成来评价。运用式(1)分别建立不同贮藏温度下的贮藏时间 t 与 AV 和 POV 值的回归方程,求出反应速率常数 k 和回归系数 R^2,结果见表 2。

由表 2 可知,以 AV 和 POV 为指标的核桃氧化酸败反应符合一级反应动力学,与杨虎清等[11]和任斯忱等[21]的结论一致。其 R^2 均>0.99,表明各回归方程均具有较高的拟合精度,建立的一级动力学模型可以很好地预测不同贮藏时间下油脂氧化酸败反应的进展情况。所有贮藏温度下,k 均为正值,表明 AV 和 POV 值均与贮藏时间呈正相关,随着贮藏时间的不断延长,POV 和 AV 不断增加,且两者增加的快慢受温度影响显著,k 值均随贮藏温度的升高而升高,也进一步证明了贮藏温度的升高可以加快脂质氧化酸败反应速度[17-18]。这可能是由于高温



（a）酸价　　（b）过氧化值

图 4　不同贮藏温度下核桃酸价和过氧化值随贮藏时间的变化

Figure 4　Acid and peroxide values of walnut with storage time at different storage temperatures

表 2　不同贮藏温度下的回归方程、回归系数和最长贮藏时间

Table 2　Regression equations, regression coefficients and maximum shelf lifes at different storage temperatures

指标	贮藏温度/℃/K	回归方程	R^2	最长贮藏时间 θ_{T0}/d
酸价	5/278	$\ln A_{AV}=0.005\ 8t-1.065\ 1$	0.99	373
	15/288	$\ln A_{AV}=0.008\ 1t-1.026\ 5$	0.99	262
	25/298	$\ln A_{AV}=0.010\ 7t-1.002\ 7$	0.99	196
	35/308	$\ln A_{AV}=0.011\ 7t-0.829\ 5$	0.99	165
过氧化值	5/278	$\ln A_{POV}=0.010\ 9t-6.075\ 2$	0.99	326
	15/288	$\ln A_{POV}=0.013\ 8t-6.092\ 2$	0.99	258
	25/298	$\ln A_{POV}=0.020\ 3t-6.190\ 6$	0.99	181
	35/308	$\ln A_{POV}=0.024\ 1t-6.143\ 1$	0.99	150

状态下，脂肪氧化生成氢过氧化物反应速率加快，同时促进了氢过氧化物向低级产物（醛、酮等）的转化进程，与 Mexis 等[22]的结论一致。最长贮藏时间随贮藏温度的增加而缩短，以 AV 为指标，最长贮藏时间从 5 ℃的 373 d 缩短至 35 ℃的 165 d；以 POV 为指标，最长贮藏时间从 5 ℃的326 d 缩短至 35 ℃的 150 d。这是因为贮藏温度升高加速了氧化酸败反应，使贮藏时间变短，与杨虎清等[11]的变化趋势一致。

2.2.3　贮藏货架期预测模型建立　建立不同贮藏温度 T 与 AV 和 POV 反应速率常数 k_T 的 Arrhenius 方程回归曲线见图 5。由图 5 可知，AV 和 POV 的 $\ln k_T$ 值与 $1/T$ 拟合方程的 R^2 值均＞0.95，说明该方程具有较高的拟合精度，可以很好地预测不同贮藏温度下油脂氧化酸败反应的进展情况，与任斯忱等[21]的变化趋势一致。

根据图 5 中的 4 个温度点 T 与其对应的 k_T 值，通过式(3)求得不同温度段下的活化能 E_{A1}、E_{A2} 和 E_{A3}，运用式(5)求得贮藏时间 Q_{10}^1、Q_{10}^2 和 Q_{10}^3，结果见表 3。

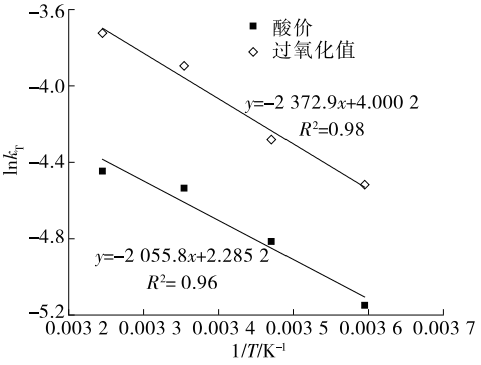


图 5　不同贮藏温度下的 Arrhenius 方程回归曲线

Figure 5　Arrhenius equation regression curves at different storage temperatures

活化能 E_A 是指品质因子发生质变所需要突破的能量壁垒，可以用来表示化学反应进行的难易程度，E_A 值越小，表明该反应发生时所需克服的能垒越低，化学反应越容易进行。由表 3 可知，以 AV 为指标时，5～15 ℃下的 E_A 为 2 2257.84 J/mol，25～35 ℃下为 6 824.94 J/mol，降低了 2.26 倍；以 POV 为指标时，5～15 ℃下的 E_A 为 15 720.53 J/mol，25～35 ℃下为 13 107.57 J/mol，降低了 0.20 倍，说明随着贮藏温度的升高核桃氧化酸败反应 E_A 降低，反应更容易进行，从而导致贮藏时间 Q_{10} 变短，与杨虎清等[11]的变化趋势一致。根据表 3 的 Q_{10} 和表 2 的 θ_{T0} 数据，通过式(6)建立以 AV 和 POV 为评价指标的核桃货架期预测模型，其数学方程见表 4。

2.2.4　贮藏货架期预测模型的验证　在不同贮藏温度(18，28 ℃)下，用货架期实测值验证货架期预测模型，结果如表 5 所示。

由表 5 可知，当贮藏温度分别为 18，28 ℃时，核桃货架期实测值与预测值的相对误差均＜9%，具有较低的预测偏差，表明试验建立的货架期模型能够较好地对贮藏温度为 5～35 ℃下的核桃货架期进行预测。

表 3　不同贮藏温度区间的 E_A 和 Q_{10}†

Table 3　E_A and Q_{10} at different storage temperature ranges

指标	5～15 ℃		15～25 ℃		25～35 ℃	
	E_{A1}/(J·mol^{-1})	Q_{10}^1/d	E_{A2}/(J·mol^{-1})	Q_{10}^2/d	E_{A3}/(J·mol^{-1})	Q_{10}^3/d
酸价	22 257.84±2 169.05^a	1.40±0.05^a	19 884.83±1 970.47^a	1.32±0.04^b	6 824.94±1 322.12^b	1.09±0.02^c
过氧化值	15 720.53±636.53^b	1.27±0.01^b	27 568.81±443.47^a	1.47±0.01^a	13 107.57±175.89^c	1.19±0.01^c

†　字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 4　不同贮藏温度下的货架期预测模型

Table 4　Shelf life prediction model at different storage temperatures

贮藏温度/K	酸价	过氧化值
278～288	$Q_T=373\times1.40^{\frac{278-T}{10}}$	$Q_T=326\times1.27^{\frac{278-T}{10}}$
288～298	$Q_T=262\times1.32^{\frac{288-T}{10}}$	$Q_T=258\times1.47^{\frac{288-T}{10}}$
298～308	$Q_T=196\times1.09^{\frac{298-T}{10}}$	$Q_T=181\times1.19^{\frac{298-T}{10}}$

表 5　核桃在 8,28 ℃下的货架期预测值和实测值†

Table 5　Predicted and measured values of walnut shelf life at 18 and 28 ℃

指标	贮藏温度/℃/K	货架期预测值/d	货架期实测值/d	相对误差/%
酸价	18/291	241^b	254.00±1.64^a	5.33±0.68
	28/301	191^b	199.00±0.67^a	4.35±0.35
过氧化值	18/291	230^b	251.00±1.02^a	8.93±0.44
	28/301	172^b	183.00±0.50^a	6.51±0.29

†　字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3　结论

建立了变温滚筒红外—热风联合干燥核桃的贮藏货架期预测模型,以实现产品贮藏过程中氧化酸败状况的实时监测。结果表明,3 种干燥方式处理后的核桃酸价和过氧化值均随贮藏时间的延长而不断升高,贮藏温度越高,酸价和过氧化值增加的速率越大,且符合一级化学反应动力学模型;其中变温滚筒催化红外—热风联合干燥处理的核桃酸价和过氧化值增幅最小,贮藏 90 d 后酸价为 1.27 mg/g,过氧化值为 0.019 9 g/100 g,其次是恒温滚筒催化红外—热风联合干燥的,单一热风干燥处理的核桃酸价和过氧化值增幅最大,但均未超过国家规定标准,品质良好。建立了以酸价和过氧化值为评价指标的变温滚筒红外—热风联合干燥核桃的贮藏货架期预测模型,其 R^2 均>0.99,相对误差<9%,具有较高的拟合精度,表明该模型可以较好地对贮藏温度为 5～35 ℃下的核桃货架期进行预测。但由于试验中因核桃品种、试验温度、时间、湿度因素的有限性,以上由试验值推导的货架寿命预测模型在适用性上仍存在局限性,如进一步研究并控制这些影响因素,可进一步完善以上模型,拓宽适用性。

参考文献

[1] 李瑞, 陆斌, 刘云, 等. 云南 17 种核桃仁氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 80-85, 180.

[2] 付露莹, 原双进, 陈浩, 等. 喷雾干燥与真空冷冻干燥对核桃粕红枣复合粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 204-208.

[3] 陆俊, 赵安琪, 成策, 等. 核桃营养成分与生理活性及开发利用[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 238-242.

[4] BUTHELEZI N M D, TESFAY S Z, NCAMA K, et al. Destructive and non-destructive techniques used for quality evaluation of nuts: A review[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 247(15): 138-146.

[5] CANNEDDU G, JUNIOR L C C, TEIXEIRA G H D A. Quality evaluation of shelled and unshelled macadamia nuts by means of near-infrared spectroscopy (NIR)[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(7): C1613-C1621.

[6] 安啸, 张友青, 陈燕茹, 等. 2 种干燥方式对山核桃贮藏品质变化的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(3): 534-536.

[7] 秦南南, 李学文, 齐志文, 等. 包装对薄皮核桃贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(4): 62-68.

[8] 郭园园, 鲁晓翔, 李江阔, 等. 自发气调包装对青皮核桃采后生理及品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 205-209.

[9] 张烨, 王克建, 郝艳宾, 等. 影响核桃贮藏品质因素的分析[J]. 保鲜与加工, 2005, 5(3): 8-9.

[10] 孟阿会. 核桃油成分及抗氧化性质研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012: 16.

[11] 杨虎清, 吴峰华. 山核桃基于温度变化的贮藏寿命预测[J]. 食品科学, 2010, 31(12): 274-278.

[12] BREDA C A, SANJINEZ-ARGANDONA E J, CORREIA C D A C. Shelf life of powdered *Campomanesia adamantium* pulp in controlled environments[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2 960-2 964.

[13] GAO Meng, TANG Ju-ming, WANG Yin, et al. Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestation[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(3): 225-231.

[14] 王建华, 沈其萍. 食用植物油中酸价测定结果的不确定度评定[J]. 中国卫生检验杂志, 2004, 14(6): 783-783.

[15] 王萍, 宋丽军, 陆健康, 等. 包装处理对阿克苏地区鲜食核桃贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 137-143, 181.

[16] 马艳萍, 吕新刚, 马惠玲, 等. 低温对鲜核桃贮藏效果及胚芽内源激素变化的影响[J]. 北方园艺, 2013(5): 134-138.

[17] 袁德保, 刘兴华, 马艳萍, 等. 鲜食核桃贮藏中脂肪酶活性及油脂酸价变化[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(11): 79-81.

(下转第 240 页)

能力的有效塑造。

高校开设食品专业英语教学的主要目的是通过教学使食品英语专业学生进一步强化和巩固所学英语基础知识、加强对专业英语特点的了解，学会英语文献检索的方法，初步掌握食品英语的阅读技巧，熟悉国内外食品行业最新的前沿发展动态。食品专业学生通过学习该领域的最前沿进展，从而更加易于引发自身的创新性思考，同时也有利于进一步增强该专业学生知识经济背景下的竞争力和发展潜力。文章将“高校食品专业的英语课堂教学实践”作为研究主题，具体对高校食品专业英语教学模式、教学考核以及应用能力等进行了一系列探索。

在食品专业英语的教学目标层面，该书在参考教学目标的基础上确定食品专业英语的教学目标为：旨在让学生灵活掌握与食品相关的专业英语词汇、食品专业的英语表达方法、搜索专业英语文献的技能、科学的翻译方法和写作技巧，通过对传统教学目标的及时和适当调整，以此引导食品专业学生尽早适应新形势下对食品专业学生的总体要求。

在教学内容建设方面，该书着重考虑各大高校食品专业的设置侧重点和课程设置的差异，在内容设置中创新性地引入一系列英文书籍和英文杂志，其知识点的难度较好地与学生的背景知识相吻合，另一特点是具体跟随食品专业学生的学习能力循序渐进、逐步完善，这既可以让学生加强对专业英语基础知识的了解，同时也能使学生建立食品专业英语学习的自信。因此，教师在进行英语专业教学时，应适时为该专业学生提供部分英文网站等开放性的学习渠道，引导学生自主查阅学习、深入探究其中要点、激发学习热情、增强学习主动性，培养学生建立主动获取英语资源的良好习惯，这对增强学生的英语词汇量和拓展认知领域具有重要意义。

在食品专业英语的教学方法层面，教育者应积极改变传统的课堂教学模式，选择合理科学的教学方式是食品专业英语教学的重点内容。① 启发诱导式的教学方式可以引导该专业学生及时释放自身创新思维、抓住学习机会适时参与课堂教学互动，从而在轻松愉悦的氛围中获取对英语知识的了解。② 积极借助新媒体也是重要的教学方式，视频网站、微博以及微信等的不断涌现，已成为日常教学的重要载体。在这一形势下，食品专业英语教学者应积极挖掘教学资源，丰富和拓展教师的教学方式和学生的学习方法，以此为取得较好的教学效果奠定重要基础。比如，教师可将微信设置名为“食品＋”的公众号，定期定时为该专业学生推送涉及食品专业学科的英语期刊、文献等，以此作为食品专业学生的课外学习读物，实现对相关专业英语学习内容的巩固和熟练；同时，教师还可利用哔哩哔哩等网站上的英文教学视频，一方面可以锻炼该专业学生的英语听力能力，另一方面，利用这些网站图片、文本以及音频等多种形式可以增强对该专业学生的吸引力。

在食品专业的教学考核层面应建立更为客观、合理和多样化的考核系统。专业英语知识过程性评价的重要性远远超过结果的评价，其主要强调知识获得的整个过程。全新的考核体系应调整为：减少对该专业学生阅读和翻译的考核，增加对学生的课堂表现考核力度，注重加强对学生听、说、读、写、译等综合能力的考核。多重的考核体系能够有效避免学生只注重翻译和阅读而忽视听说能力的问题，有利于极大增强该专业学生对专业的思考能力和应用能力。在食品英语的教学模式方面，促进传统英语模式向新兴英语模式转变需要教学工作者不断加强实践探索，合理把握该专业学生的整体学习水平，进一步强化学生之间的交流和切磋，切实提升该专业学生的综合技能，同时也为食品领域的国际化人才培养作出贡献。

综上，由陈忠军编著的《食品专业英语》一书具有以下特点：① 内容编排科学合理，从食品安全、食品微生物、食品添加剂等多章内容，向读者构建起了一个完整的知识架构，有利于引导广大读者加强对食品专业英语知识的了解和掌握；② 重点突出、详略得当，该书在综合关照时代发展趋势、食品专业学生基本认知能力的基础上进行内容取舍，最终形成了符合学生实际学习状况的教学知识点；③ 使用性强和适用范围广，听说读写等是食品专业英语学习的重要内容，该专业学生各个环节能力的提升都需要依据特别的学习技巧，该书针对这一问题，主要从语法、语态、文章写作、时态使用以及口语交流等多个方面进行论述，既可以为相关院校食品专业学生提供内容参考，同时也可以作为食品行业人员的指导书籍。高校食品专业的英语教师应密切结合社会发展对复合型人才的需求，切实提升该专业英语的教学水平和教学效果，不断为市场发展输送高素质的英语人才。

（作者：孙莉，女，南阳理工学院讲师，博士）

（上接第 173 页）

[18] YESILOGLU Y, DEMIRKAN B. Biocatalytic properties of lipase from walnut seed (*Juglans regia* L.)[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87(6): 659-665.

[19] 王玉良. 贮藏因素和加工工艺对山核桃脂肪氧化的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2011: 15-17.

[20] LABUZA T P, FU B. Growth kinetics for shelf-life prediction: Theory and practice[J]. Journal of Industrial Microbiology, 1993, 12(3/4/5): 309-323.

[21] 任斯忱, 李汴生, 申晓曦, 等. 花生仁与核桃仁贮藏货架期预测模型[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 290-295.

[22] MEXIS S F, BADEKA A V, RIGANAKOS K A, et al. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts[J]. Food Control, 2009, 20(8): 743-751.