

果蔬比热容的影响因素

张 敏, 钟志友, 杨 乐, 陈健华, 车贞花

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘 要: 食品的比热容在其加工、流通、保鲜环节起着重要的作用。利用同步法测定 35 种果蔬的比热容及其可溶性固形物含量、密度和含水率, 并确定其相关性。结果表明: 果蔬比热容随着温度的增大而缓慢增大, 并且随着温度的升高, 比热容的增长率逐渐减小直至不再变化。果蔬含水率和可溶性固形物含量与比热容的相关性分别达到极显著水平; 果蔬密度与比热容的相关性没有达到显著水平。果蔬比热容随着果蔬含水率增加呈递增趋势, 而可溶性固形物含量大的果蔬具有较小的比热容。

关键词: 果蔬; 比热容; 温度; 含水率; 可溶性固形物含量; 密度

Affecting Factors of Heat Capacity of Fruits and Vegetables

ZHANG Min, ZHONG Zhi-you, YANG Le, CHEN Jian-hua, CHE Zhen-hua

(College of Food Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The heat capacity of food plays an important role in manufacturing, circulation and fresh-keeping processes. The heat capacities, soluble solid contents, water contents and densities of 35 fruits and vegetables were determined by a simultaneous determination method. The results showed that the 35 fruits and vegetables revealed a slow increase in heat capacity with increasing temperature, and the growth rate of heat capacity decreased gradually until no change over the temperature range investigated. The heat capacities of these fruits and vegetables were significantly correlated with the water contents or soluble solid contents, and had no significant correlation with the densities. Moreover, the heat capacity-water content correlation was positive, while the heat capacity-soluble solid content correlation in a negative manner.

Key words: fruits and vegetables; heat capacity; temperature; soluble solid content; water content; density

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)11-0009-05

食品的比热容在其加工、流通、保鲜环节起着重要的作用。在食品的杀菌、冷冻、干燥等单元操作中都伴随着很多加热和冷却环节, 其设备和物料都会有从高温向低温部位的热量传递, 因此, 需要预测干燥或冷却的速率及研究物料内部温度分布的规律, 尤其在用加热的方法进行杀菌时, 还会出现诸如蛋白质变性和维生素破坏等劣化现象。因此, 对食品热物性的研究对于设计食品的制冷、冻结及冷链系统有重要的作用^[1-3]。食品材料比热容不仅与其含水率、组分、温度有关, 还与食品的结构、水和组分的结合情况等有关, 其中含水率是影响比热容的重要因素^[4]。关于比热容的研究, 欧美一些发达国家起步较早, 主要是针对一些含水率较低的农业物料或含水率较高的肉制品物料, 通过实验获得了一些实验数据或预测公式^[5-7]。但是, 由于影响比热容的因素甚多, 使用中常受到一些限制。在

我国, 目前关于这方面的研究尚属起步阶段, 尤其对果蔬等高分水含量的农产品物料的研究较少, 远远不能满足生产和科研工作的需要^[8]。随着商品经济的发展, 食品的加工与贮存在国民经济中占有越来越重要的地位, 开展这方面的研究对该行业的发展将会起到推动作用。本实验利用 DSC 测试果蔬材料的比热容以及对比热容的影响因素进行实验研究。

1 材料与方法

1.1 材料

选取上海市场的新鲜成熟的果蔬为研究对象, 包括西红柿、黄瓜、火龙果、苹果、白萝卜、香蕉等 35 种果蔬样品, 每种果蔬样品取 3 个。

1.2 仪器与设备

收稿日期: 2010-08-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(30771245); 上海市教委重点学科建设项目(J50704)

作者简介: 张敏(1969—), 女, 教授, 博士, 主要从事生物传热及食品热物性研究。E-mail: zhangm@shou.edu.cn

MA100C 卤素水分测定仪 德国赛多利斯公司；WAY(2WAJ)型阿贝折射仪 上海精科上海物理光学仪器厂；DSC823e 差示扫描量热仪 瑞士梅特勒公司。

1.3 实验原理

在 DSC 中, 试样是处在线性的程序温度控制下的, 流入试样的热流速率是连续测定的, 并且所测定的热流速率 dH/dT 与试样的瞬间比热容成正比^[9]。因此, 热流速率可用下列方程式表示:

$$dH/dT = mC_p dT/dt \quad (1)$$

式中: H 为补偿功率/W, T 为温度/℃, m 为试样质量/kg, C_p 为试样比热容/(kJ/kg·℃), 试样的比热容可通过上式测定, 这是直接测量法。

为了减少因读取 dH/dT 坐标和程序升温速率 dH/dT 的非线性而产生的误差, 常采用间接测量法, 具体方法如下: 首先, 把空的铝坩埚放在样品支持器和参比物支持器上, 在所测温度范围下空扫出一条 DSC 基线。其次, 再在相同条件下使用同一个试样坩埚依次测定蓝宝石(sapphire)、样品的 DSC 曲线。可通过式(3)求出试样在任一温度下的比热容值^[10]:

$$C_p/C_p' = m' \Delta Y / m \Delta Y' \quad (2)$$

$$C_p = (m'/m) C_p' (\Delta Y / \Delta Y') \quad (3)$$

式中: C_p' 、 m' 和 $\Delta Y'$ 分别为蓝宝石的比热容、质量和蓝宝石与空白基线之间的 Y 轴量程差; C_p 、 m 和 ΔY 分别为试样的比热容、质量和试样与空白基线之间的 Y 轴量程差。

由于蓝宝石的比热容值在所测温度范围内准确性为 $\pm 0.2\%$, 故一般文献上对于测量比热容值皆以蓝宝石做标准样品。在测量的温度范围内, 忽略压力的影响, 即所测比热容近似看作等压比热容^[11]。

1.4 实验方法

实验采取顺序测量法, 每个样品按照密度→含水率→可溶性固形物含量→比热容顺序进行同步测量, 其中含水率和可溶性固形物含量测定的取样部位为果肉中部, 每种果蔬样品取 3 个, 取其平均值。

在果蔬样品温度稳定后用排水法测试其密度; 用 WAY(2WAJ)型阿贝折射仪测试其可溶性固形物含量; 用 MA100C 卤素水分测定仪测试含水率; 用差示扫描量热仪(DSC)测试样品的比热容。

由于蓝宝石的质量为 30mg, 所以被测试样品的质量控制在大约 30mg 左右。比热容测试的起始温度为: 0℃, 恒温 3min, 加热速率: 10℃/min, 升温至: 40℃, 恒温 3min, 吹扫气及流量: 高纯度氮气, 50mL/min; 保护气及流量: 高纯度氮气, 100mL/min, 每种样品进行 3 次测量, 取其平均值作为最终结果。

注意将样品放入铝坩埚后, 必须用 DSC 专用压模机将坩埚盖与坩埚压紧封口, 最好改变角度多压几次,

以避免挥发性样品蒸汽在高温下顶开坩埚盖。为获得准确的测试结果, 使用前必须对仪器进行温度校正和灵敏度校正。

2 结果与分析

2.1 果蔬样品比热容的测定

比热容的测定采用梅特勒公司生产的 DSC823e 差示扫描量热仪测定。差示扫描量热仪(DSC)是在程序控温下, 测量输入到试样和参比物间的热流差与温度的关系。实验用间接测量法分别测定 35 种果蔬样品的比热容, 如图 1 所示, 扫描出 3 条 DSC 曲线, 分别为空白基线、蓝宝石曲线、样品曲线。

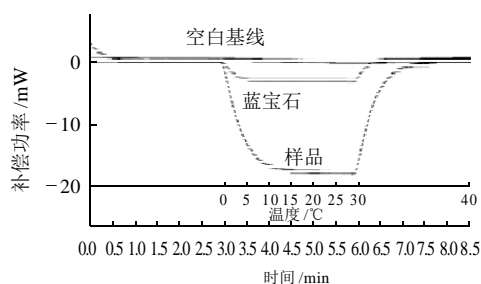


图1 生姜的 DSC 曲线
Fig.1 DSC curve of ginger

2.2 果蔬样品比热容影响因素

食品材料比热容不仅与其含水率、组分、温度有关, 还与食品的结构、水分子与组分的结合情况等有关, 其中含水率是影响比热容的重要因素^[12]。

2.2.1 果蔬样品理化参数的测定

利用同步法分别测定 35 种不同果蔬的比热容及其可溶性固形物含量、密度和含水率, 其实测值如表 1 所示。

表1 果蔬样品理化参数测试数据
Table 1 Physical and chemical parameters of 35 fruits and vegetables

编号	名称	密度/ (g/cm ³)	含水 率/%	可溶性固 形物含量/%	比热容/(kJ/(kg·℃))		
					10℃	15℃	20℃
1	橙子	0.904	89.59	9.86	3.28	3.39	3.42
2	黄瓜	0.971	97.77	5.48	3.61	3.77	3.90
3	黑布林	1.038	83.44	12.10	2.95	3.04	3.10
4	甜橘	0.848	87.90	11.46	2.94	3.03	3.05
5	香蕉	1.028	73.35	16.61	2.99	3.09	3.12
6	红富士苹果	0.912	84.73	10.26	2.91	3.07	3.15
7	红蛇果	0.884	88.97	9.84	3.26	3.39	3.42
8	苹果梨	1.020	89.05	10.81	3.14	3.29	3.32
9	香梨	1.033	83.60	12.78	3.03	3.15	3.20
10	胡萝卜	1.013	89.04	6.77	3.30	3.39	3.41
11	白萝卜	0.959	91.91	5.76	3.22	3.33	3.35
12	西红柿	0.990	94.96	6.75	3.33	3.54	3.68
13	生姜	1.027	92.00	5.40	3.66	3.79	3.81
14	马铃薯	1.040	83.35	7.17	3.11	3.27	3.32
15	番薯	1.039	81.61	10.24	3.39	3.57	3.61
16	洋葱	0.952	89.49	10.54	3.09	3.19	3.23

续表 1

编号	名称	密度/ (g/cm ³)	含水 率/%	可溶性固 形物含量/%	比热容/(kJ/kg·°C)		
					10℃	15℃	20℃
17	茄子	0.539	95.37	4.35	3.43	3.57	3.61
18	芋艿	1.017	81.85	5.07	2.97	3.05	3.09
19	莴笋	1.001	94.48	5.48	3.07	3.27	3.32
20	山药	1.076	88.11	4.22	3.01	3.17	3.2
21	西葫芦	0.919	95.46	5.39	3.45	3.64	3.66
22	佛手瓜	1.002	92.55	6.25	3.19	3.31	3.34
23	茭白	0.756	90.07	5.48	3.19	3.31	3.34
24	猕猴桃	1.024	84.59	11.23	2.94	3.12	3.16
25	人参果	0.887	93.16	6.22	3.10	3.26	3.30
26	大青枣	0.978	86.85	7.13	3.09	3.22	3.26
27	丝瓜	0.810	94.34	5.44	3.39	3.51	3.54
28	苦瓜	0.870	94.53	4.75	3.17	3.34	3.38
29	火龙果	0.993	88.93	11.52	3.15	3.31	3.34
30	贡柑	1.003	85.77	12.42	2.99	3.18	3.22
31	贡梨	1.000	85.72	12.86	3.25	3.35	3.37
32	鸭梨	0.993	88.89	10.17	3.28	3.42	3.46
33	雪莲果	1.048	87.77	8.75	3.08	3.28	3.34
34	黄香蕉苹果	0.823	87.92	11.96	3.06	3.25	3.30
35	柿子	0.981	80.03	17.86	2.78	2.88	2.99

2.2.2 果蔬样品温度对比热容的影响

分别测定 35 种果蔬样品在 5~25℃ 时的比热容, 图 2 是生姜的比热容随温度的变化, 图 3 是生姜比热容增长率随温度的变化。

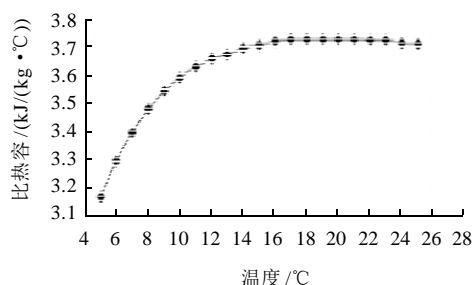


图 2 生姜比热容随温度变化
Fig.2 Change in heat capacity of ginger with temperature

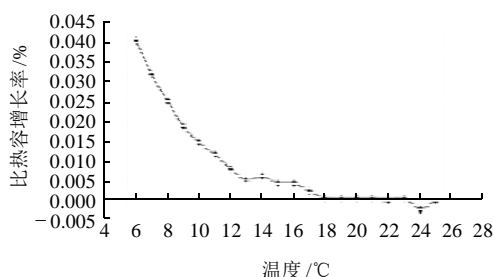


图 3 生姜比热容增长率随温度的变化
Fig.3 Change in heat capacity rate of ginger with temperature

由图 2、3 可知, 果蔬的比热容随着温度的升高而缓慢增大, 并且随着温度的升高, 果蔬比热容的增长

率逐渐减小直至比热容不再变化。

2.2.3 含水率对果蔬比热容的影响

水分是果蔬的主要成分之一, 是影响比热容的重要因素, 不同含水率的果蔬具有不同的比热容^[14]。同步测定 10、15、20℃ 条件下新鲜果蔬的比热容, 所测果蔬的比热容与含水率之间的关系如图 4~6 所示。

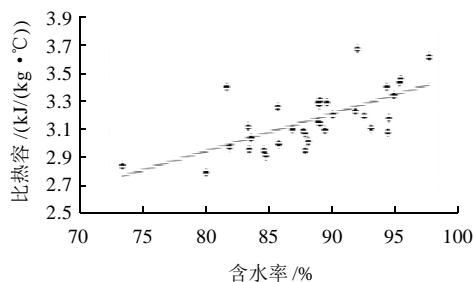


图 4 10℃ 果蔬比热容与含水率的关系
Fig.4 Relationship between heat capacities at 10℃ and water contents of 35 fruits and vegetables

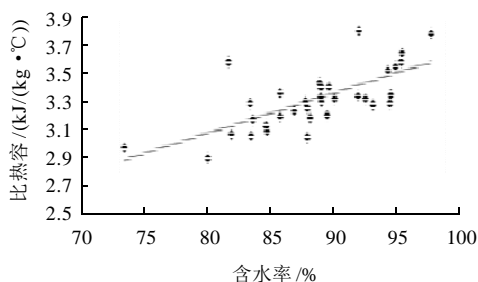


图 5 15℃ 果蔬比热容与含水率的关系
Fig.5 Relationship between heat capacities at 15℃ and water contents of 35 fruits and vegetables

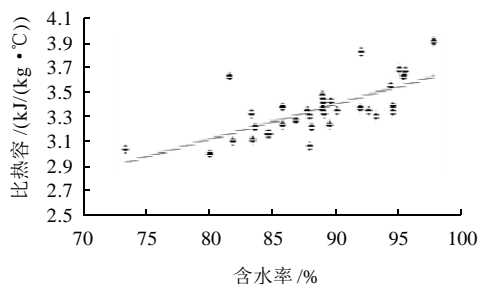


图 6 20℃ 果蔬比热容与含水率的关系
Fig.6 Relationship between heat capacities at 20℃ and water contents of 35 fruits and vegetables

由图 4~6 可知, 果蔬的比热容随着果蔬含水率的增大呈增大趋势, 主要是由于水分的比热容很大, 所以果蔬的比热容也是随着含水率的增大而增大。通过 Excel 进行线性回归, 建立 10、15、20℃ 条件下各含水率(ω)与比热容之间的回归方程如表 2 所示, 经 $\alpha=0.01$ 的 F 检验结果可知 $F > F_{0.01}$, 回归方程均具有高度显著性。利用回归方程, 只要快速测出果蔬的含水率, 便可迅速算出该温度下的果蔬比热容。

表2 果蔬比热容关于含水率的回归方程和方差分析

Table 2 Regression equations and variance analysis for the correlations between water contents and heat capacities of 35 fruits and vegetables

温度/℃	回归方程	线性相关度	F值	$F_{0.01}$	显著性
10	$C_p=0.0266\omega+0.8075$	0.677	8919	7.02	**
15	$C_p=0.0283\omega+0.843$	0.699	8888	7.02	**
20	$C_p=0.0286\omega+0.7724$	0.688	8878	7.02	**

2.2.4 可溶性固形物含量对果蔬样品比热容的影响

果蔬细胞内部可溶性固形物的含量反映了细胞内部糖、有机酸、盐、果胶、多元醇、维生素与色素等的可溶性汁液的浓度,它是反映果蔬生理生化和品质的重要指标之一^[15]。所测果蔬的比热容与可溶性固形物含量之间的关系如图7~9所示。

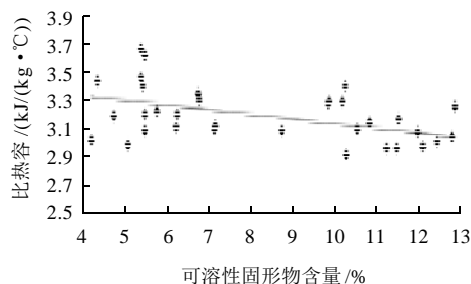


图7 10℃果蔬比热容与可溶性固形物含量的关系

Fig.7 Relationship between heat capacities at 10 °C and soluble solid contents of fruits and vegetables

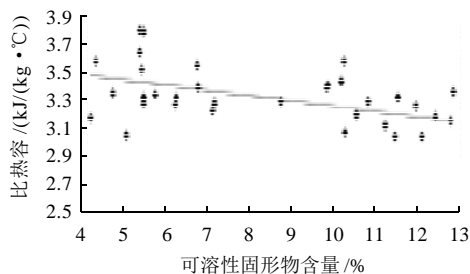


图8 15℃果蔬比热容与可溶性固形物含量的关系

Fig.8 Relationship between heat capacities at 15 °C and soluble solid contents of fruits and vegetables

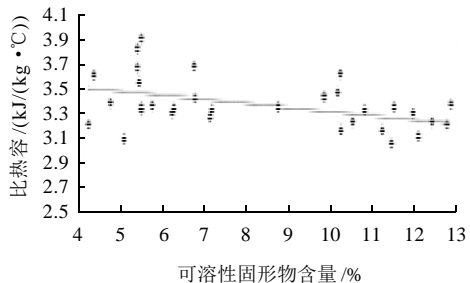


图9 20℃果蔬比热容与可溶性固形物含量的关系

Fig.9 Relationship between heat capacities at 20 °C and soluble solid contents of fruits and vegetables

由图7~9可知,可溶性固形物含量大的果蔬具有较小的比热容,通过Excel进行线性回归,建立10、15、

20℃条件下各可溶性固形物含量(s)与比热容之间的回归方程如表3所示,经 $\alpha=0.01$ 的F检验结果可知 $F > F_{0.01}$,回归方程均具有高度显著性。利用回归方程,只要快速测出果蔬的可溶性固形物含量,便可迅速算出该温度下的果蔬比热容。

表3 果蔬比热容关于可溶性固形物含量的回归方程和方差分析

Table 3 Regression equations and variance analysis for the correlations between soluble solid contents and heat capacities of 35 fruits and vegetables

温度/℃	回归方程	线性相关度	F值	$F_{0.01}$	显著性
10	$C_p=-0.033s+3.4520$	0.568	204	7.02	**
15	$C_p=-0.035s+3.6105$	0.578	204	7.02	**
20	$C_p=-0.033s+3.6414$	0.547	203	7.02	**

2.2.5 密度对果蔬样品比热容的影响

密度是果蔬的一项重要生理生化指标,反映果蔬组织空隙率大小。果蔬的比热容与密度之间的关系如图10~12所示。

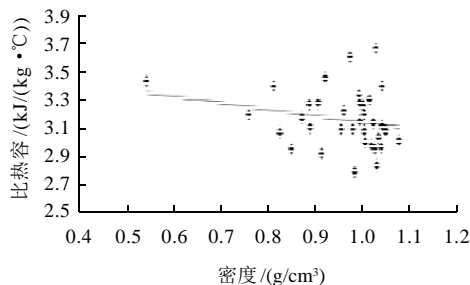


图10 10℃果蔬比热容与密度的关系

Fig.10 Relationship between heat capacities at 10 °C and densities of fruits and vegetables

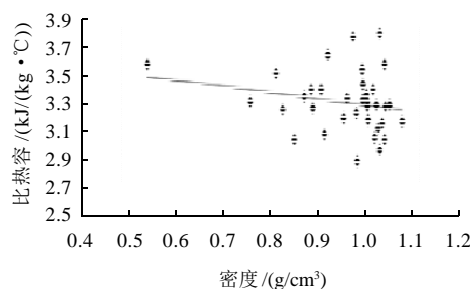


图11 15℃果蔬比热容与密度的关系

Fig.11 Relationship between heat capacities at 15 °C and densities of fruits and vegetables

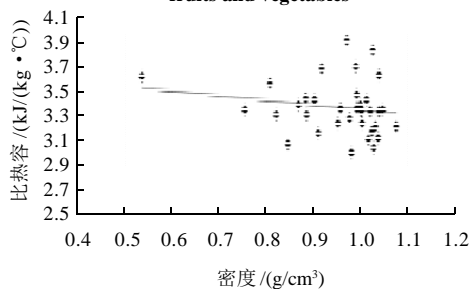


图12 20℃果蔬比热容与密度的关系

Fig.12 Relationship between heat capacities at 20 °C and densities of fruits and vegetables

由图 10~12 可知, 果蔬的比热容不能随果蔬密度的变化呈明显的递增或递减趋势。通过 Excel 进行线性回归, 建立 10、15、20℃ 条件下各可溶性固形物含量与比热容之间的回归方程, 其相关系数分别为 0.0552、0.0464、0.0375, 经 $\alpha=0.05$ 的 F 检验结果可知 $F < F_{0.05}$, 因此, 回归方程都不具有显著性。

3 结 论

实验对 35 种新鲜果蔬样品的生理生化指标和比热容进行同步测试。结果表明: 果蔬样品比热容随着温度的增大而缓慢增大, 并且随着温度的升高, 比热容的增长率逐渐减小直至比热容不再变化。果蔬样品含水率和可溶性固形物含量与比热容的相关性分别达到极显著水平; 密度与比热容的相关性没有达到显著水平。果蔬样品比热容随着果蔬含水率增大呈递增趋势, 可溶性固形物含量大的果蔬具有较小的比热容, 这将为新鲜果蔬的冷藏保鲜及加工提供可靠的理论和数据参考, 对于设计食品的制冷、冻结及冷链系统有重要的作用。

参考文献:

- [1] 华泽钊, 李云飞, 刘宝林. 食品冷冻冷藏原理与设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 39.
- [2] LISOWA H, WUJECM, LIS T. Influence of temperature and variety on the thermal properties[J]. Int Agrophysics, 2002, 16:43-52.
- [3] PEACOCK S. Predicting physical properties of factory juices and syrups [J]. Int Sugar, 1995, 97: 571-573.
- [4] 叶庆银, 张桂芳, 易小红, 等. 食品冷加工工艺中的几个重要物性参数[J]. 天津商学院学报, 2007, 27(3): 17-20.
- [5] 俞微微. 计算猪肉、牛肉和鳕鱼的热物理性质的经验公式[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(1): 50-54.
- [6] 关志强, 蒋小强. 食品热焓和比热容的经验计算公式[J]. 食品工程, 2006(3): 55-58.
- [7] SANZ P D, ALONSO M D, MASCHERONI R H. Thermo physical properties of meat products[J]. Transactions of ASAE, 1987, 30(1): 283-289.
- [8] 谢秀英, 刘建学, 白崇仁, 等. 高水分农副产品物料比热容的研究[J]. 洛阳学院学报, 1999, 14(3): 53-58.
- [9] 陈镜泓, 李传儒. 热分析及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 382-385.
- [10] 杨长生, 马沛生, 夏淑倩. DSC 法测定醋酸-水溶液的比热[J]. 高校化学工程学报, 2002, 5(16): 479-483.
- [11] 严嘉, 厉彦忠, 肖建军. 离体生物组织不同含水量下比热的 DSC 测试[J]. 制冷与空调, 2007, 21(4): 5-8.
- [12] CHEN C S. Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: Enthalpy and apparent specific heat[J]. Journal of Food Science, 1985, 50(4): 1158-1162.
- [13] SHAFIUR RAHMAN M. Food properties handbook[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995: 238.
- [14] 冯志哲. 食品冷藏学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 50.
- [15] 张敏, 张杰, 张雷杰. 生鲜食品热导率影响因素的试验与分析[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(6): 680-683.