

樱桃番茄真空渗透预脱水工艺优化

Optimization of Vacuum Osmotic Dehydration of Cheery Tomatoes

徐鑫¹ 吴越² 陶阳² 苏丽娟² 韩永斌²

XU Xin¹ WU Yue² TAO Yang² SU Li-juan² HAN Yong-bin²

(1. 六安职业技术学院经济管理学院, 安徽 六安 237158; 2. 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

(1. Lu'an Vocational and Technical College, Lu'a, Anhui 237158, China;

2. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

摘要:以苏龙一号樱桃番茄作为试材,通过比较烫漂划线、针刺、划线、超声波预处理方法,确定了烫漂划线作为真空渗透预脱水的预处理方法。在该基础上,运用单因素试验研究了真空度、糖液浓度、渗透温度、渗透时间对樱桃番茄渗透预脱水效果的影响,进而确定真空度为 0.080 MPa,并应用响应曲面法优化其它参数,得出樱桃番茄真空渗透预脱水的最佳工艺条件为:糖度 50 °Brix、温度 53.37 °C、时间 4.88 h,该条件下樱桃番茄失水率与固形物增加率比值最大,为 7.24。

关键词:樱桃番茄;预处理;真空;渗透预脱水

Abstract: The vacuum osmotic dehydration of cherry tomato cultivated "SU LONG NO.1" was studied. Prior to vacuum osmotic dehydration, cherry tomatoes were pre-treated by blanching combined with lineation, acupuncture, lineation and sonication, separately. Through comparison, blanching combined with lineation was selected as a suitable pre-treatment before osmotic dehydration. Next, the effects of vacuum degree, sugar content, temperature and time on the water loss and solid gain of cherry tomato during osmotic dehydration were studied by single factor study. The osmotic dehydration process at 0.080 MPa was further optimized by response surface methodology. The optimal conditions for osmotic dehydration of cherry tomato were sugar content 50 °Brix, treated at 53.37 °C for 4.88 h. Under this optimal condition, the ratio of maximum water loss and predicted solid gain was 7.24.

Keywords: Cherry tomatoes; pretreatment before dehydration; vacuum; osmotic dehydration

樱桃番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 又名迷你番茄、小番茄等,为茄科番茄属番茄栽培亚种中的一个变种。樱桃番茄起源于热带,中国栽培的主要品种有:丘比特、红色太阳、圣女玛丽亚、樱桃红、黄杨梨等。樱桃番茄的营养成分较普通大果番茄丰富,其维生素含量是普通大果番茄的 1.7 倍,还含有番茄红素、烟酸 Vpp、谷胱甘肽等有益于人体健康的功能物质,果皮中含有芦丁,可降血压,预防动脉硬化、脑溢血等^[1]。联合国粮农组织将其列为优先推广的“四大水果”之一^[2]。桃番茄是重要的水果型蔬菜,可以加工成果脯蜜饯^[3]、整果罐头^[4]、果干^[5]等。其味清甜,无核,口感好,营养价值高且风味独特,深受广大消费者青睐,但传统的番茄果脯糖含量普遍较高,不符合现代消费者需求,产品低糖化将成为未来主流的发展趋势。

真空渗透预脱水是干燥物料在真空条件下利用细胞膜的半渗透性使其水分快速转移到渗透液,能够很好地保持干燥样品的组织结构和风味物质、提高固形物含量,减少营养物质损失,该法易于同其他干燥方法联合使用,是理想的联合干燥前脱水的一种预处理方法。该方法可在较短的时间内脱去样品中部分水分,由于水分的迁移具有自发性,能够降低能耗^[6-7];此外渗透预脱水是在温和的条件下进行的,有利于保持产品原有的色泽、质地、营养成分和风味物质,提高产品的复水特征,从而进一步提高产品品质,同时制品中糖含量显著低于传统果脯^[8]。渗透预脱水已在樱桃番茄^[9]、草莓^[10]、芒果^[11]、香蕉^[12]、蓝莓^[13]、苹果^[14]等中应用。渗透预脱水传质速率受原料种种及其组织特性、渗透液种类和浓度、温度、时间等因素影响^[15-16]。因此需要对果蔬进行预处理以及渗透预脱水的工艺进行优化,确定渗透预脱水各因素最佳条件,从而缩短脱水时间,提高脱水效率,降低产品糖含量。另外,真空条件可加速渗透预脱水的传质速率^[6]。目前,关于樱桃番茄的真空渗透预脱水工艺研究较少,不同因素对其真空渗透预脱水过程中传质速率的影响未知,如果处理不当,将会造成樱桃番茄色泽劣变、营养成分流失和破坏、有毒

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目(编号:CX[15]1026);
2016 年安徽省省级高校人文社会科学重点研究项目(编号:
SK2016A0901);安徽省教育厅 2014 年高等学校省级质量
工程项目(编号:2014gxxk108)

作者简介:徐鑫,男,六安职业技术学院副教授,硕士。

通信作者:韩永斌(1963—),男,南京农业大学教授,博士。

E-mail: hanyongbin@njau.edu.cn

收稿日期:2017-01-15

有害物质残留、不良物理化学变化发生等,故需要进一步展开研究,进一步完善真空渗透预脱水工艺,提高产品品质。

为优化樱桃番茄真空渗透预脱水的条件,拟研究不同预处理方法对樱桃番茄真空渗透脱水效果的影响,通过 Design-Expert 8.0.6 对主要影响因子渗透温度、糖度、时间之间的单一和交互作用进行深入研究,得出樱桃番茄真空渗透预脱水的最佳工艺参数。以期对樱桃番茄深加工探索出一条新途径,为其产业化生产提供理论和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

樱桃番茄:苏龙1号,宜兴市茗悦生态农业有限公司;
白砂糖:食品级,市售。

1.1.2 主要仪器设备

手持糖量计:WYT型,成都豪创光电仪器有限公司;
数显恒温水浴锅:HH-6型,常州国华电器有限公司;
电子天平:JA2003型,上海精密科学仪器有限公司;
数控超声设备:KQ-300DB型,昆山市超声仪器有限公司;

真空干燥箱:DZF-6020型,上海一恒科技有限公司;
电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9030A型,上海一恒科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 预处理方法筛选 新鲜的樱桃番茄经去杂挑选清洗后,选取大小(12±2)g、成熟度一致(八成成熟)的樱桃番茄分别进行烫漂划线、针刺、划线、超声波处理,处理方法:

(1) 烫漂划线处理:将樱桃番茄先进行沸水浴热烫30s,取出后进行划线处理(每果3道,深达果肉)。

(2) 针刺处理:在樱桃番茄表面用针刺出小孔(1个/cm²)。

(3) 划线处理:在樱桃番茄表面用针划出几道缝隙(每果3道,深达果肉)。

(4) 超声处理:超声功率设为500W,超声时间设为10min,温度设为50℃。

将各预处理后樱桃番茄进行真空渗透预脱水,以未经过预脱水的样品作为对照。真空渗透预脱水过程中,渗透液的浓度为60°Brix,真空度为0.080MPa,温度为50℃。渗透脱水总时间为6h,每隔1h从渗透液中取样,取出的样品用蒸馏水冲洗表面渗透液,再用吸水纸吸干表面水分,每隔1h取出称重后放入真空干燥箱中于80℃干燥直至恒重(前后2次质量相差<0.04%),计算各段失水率和固形物增加率,每个试验重复3次,取平均值。

1.2.2 真空渗透预脱水工艺参数单因素试验 影响樱桃番茄预脱水过程中因素较多,为探究各个因素对樱桃番茄预脱水的影响,找出影响樱桃番茄渗透预脱水效果的工艺参数,分别对真空度、糖液浓度、渗透温度、渗透时间进行单因素试验,分析其对樱桃番茄脱水过程中失水率和固形物增加率的影响规律,并为多因素参数匹配试验选定因素水平范围做

准备。

(1) 真空度的影响:在糖度60°Brix、温度50℃和渗透时间5h条件下,以失水率和固形物增加率为考察指标,研究真空度(0.050,0.060,0.070,-0.080,0.090MPa)对樱桃番茄渗透预脱水的影响。

(2) 渗透温度的影响:在真空度0.080MPa、糖度60°Brix和渗透时间5h条件下,以失水率和固形物增加率为考察指标,研究渗透温度(30,40,50,60,70℃)对樱桃番茄渗透预脱水的影响。

(3) 渗透液糖度的影响:在真空度0.080MPa、温度50℃和渗透时间5h条件下,以失水率和固形物增加率为考察指标,研究渗透液糖度(30,40,50,60,70°Brix)对樱桃番茄渗透预脱水的影响。

(4) 渗透时间的影响:在真空度0.080MPa、温度50℃和糖度60°Brix条件下,以失水率和固形物增加率为考察指标,研究渗透时间(1,2,3,4,5,6h)对樱桃番茄渗透预脱水的影响。

1.2.3 响应面优化试验 根据单因素试验的结果,试验选取糖度、渗透温度、渗透时间为自变量,以失水率与固形物增加率的比值Y为响应值,采用Design-Expert 8.0.6软件,运用三因素三水平Box-Behnken试验设计,优化最佳工艺条件。

1.2.4 测定指标与方法

(1) 含水量测定:采用AOAC恒重法^[11]。

(2) 失水率测定:参照文献^[12]。按式(1)计算失水率。

$$WL = \frac{M_0 X_0 - M_t X_t}{M_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

WL——失水率,%;

M₀——初始物料质量,g;

M_t——渗透预脱水t时刻物料质量,g;

X₀——初始物料湿基含水量,%;

X_t——渗透预脱水t时刻物料湿基含水量,%。

(3) 固形物增加率测定:参照文献^[12]。按式(2)计算固形物增加率。

$$SG = \frac{M_t S_t - M_0 S_0}{M_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

SG——固形物增加率,%;

M₀——初始物料质量,g;

M_t——渗透预脱水t时刻物料质量,g;

S₀——初始物料固形物含量,%;

S_t——样品的初始固形物含量,%。

1.3 统计分析方法

试验设3次重复,结果以 $\bar{x} \pm SD$ 的形式表示,采用Excel 2007和Design-Expert 8.0.6软件对试验数据进行统计分析和图形处理,并进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 预处理方式对樱桃番茄真空渗透预脱水的影响

为了更好地提高樱桃番茄真空渗透预脱水的效率,分别

对样品表皮进行针刺、划线、烫漂划线和超声等预处理^[15-16], 研究其对樱桃番茄真空渗透预脱水的影响(见图 1)。

由图 1 可知, 各试验组樱桃番茄的失水率和固形物增加率均高于对照组的。不同预处理下的樱桃番茄失水率差别较大, 其中烫漂划线预处理的失水率最高, 其次为划线、针刺、超声, 可能是烫漂可以使樱桃番茄果皮软化, 划线可以更好地促进渗透预脱水传质过程的进行, 烫漂结合划线更有利于樱桃番茄渗透预脱水过程中物质的转移。而由图 1(b) 可以看出, 烫漂划线预处理的固形物增加率相对比较高, 其次为划线、针刺、超声。而且烫漂可显著改善干燥物料的组织结构状态、有助护色和提高失水率^[17], 因此烫漂划线处理为樱桃番茄真空渗透预脱水前的理想预处理方法。

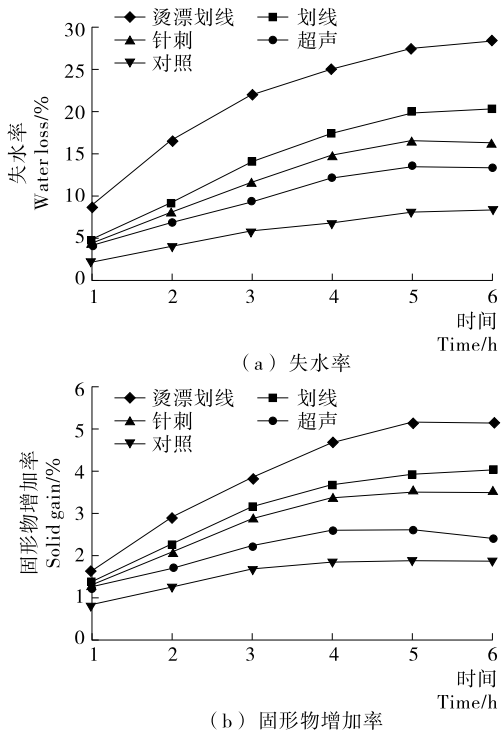


图 1 预处理方式对樱桃番茄真空渗透预脱水的失水率和固形物增加率的影响

Figure 1 Effect of different pretreatments on water loss and solid gain of cherry tomato during vacuum osmotic dehydration

2.2 真空度对樱桃番茄真空渗透预脱水的影响

由图 2 可知, 随着真空度的增加, 失水率和固形物增加率呈增大趋势。可能是真空使细胞间隙被渗透液填满, 进而增加渗透液与细胞的接触面积, 毛细管作用增强, 物质迁移速率也随之提高^[17]。樱桃番茄在真空渗透预脱水过程中, 前期失水率和固形物增加率快速上升, 中后期趋于平缓, 可能是在真空渗透预脱水前期, 系统两相的可溶性固形物含量差距较大, 产生的压力差大, 但到中后期, 随着渗透时间的延长, 渗透压差随干燥物料含水量减小而逐渐降低, 传质推动力变小, 导致失水率和固形物增加率提高变缓。由图 2(b) 发现, 在渗透预脱水 5 h、真空度 0.080 MPa 时樱桃番茄固形物增加率升幅最大达 5.57%, 与真空度 0.090 MPa 时固形物增

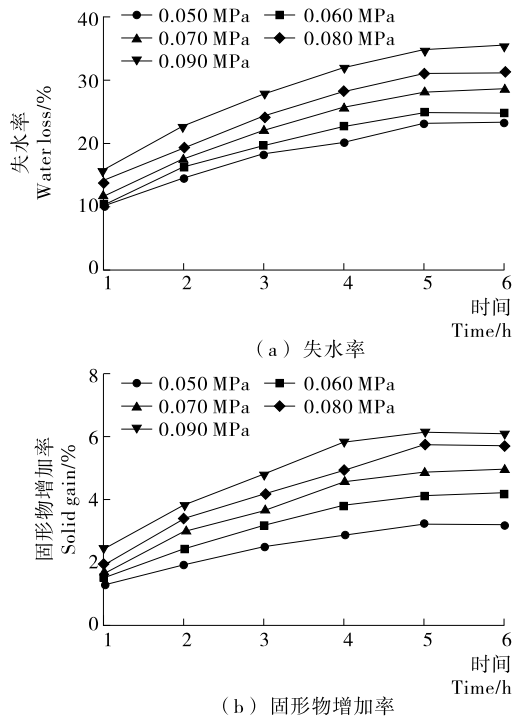


图 2 真空度对樱桃番茄真空渗透预脱水失水率和固形物增加率的影响

Figure 2 Effect of different vacuum degree on water loss and solid gain of cherry tomato during vacuum osmotic dehydration

加率 5.69% 无显著差异 ($P > 0.05$)。另外, 试验还发现处理时间过长和真空度高都可导致果蔬组织结构明显破坏和干燥物料内容物大量流出等现象, 这与任亭等^[18] 研究不同条件对熟化竹荪干燥品质的影响和赵金红等^[19] 对芒果渗透脱水研究得到的结论一致。因此, 较理想的樱桃番茄真空预脱水条件为渗透脱水时间 5 h、真空度 0.080 MPa。

2.3 温度对樱桃番茄真空渗透预脱水的影响

由图 3 可知, 随着温度的增加, 失水率和固形物增加率均呈增大趋势, 表明随着渗透温度升高, 渗透液的黏度下降, 减小了樱桃番茄表面传质的外部阻力, 细胞膜的通透性提高, 使水更容易穿过细胞膜而流出; 同时随着渗透温度升高, 渗透液的溶质分子和水分子的运动加剧, 从而进一步加快渗透预脱水过程中物质交换^[18]。真空渗透预脱水 4 h 前, 失水率和固形物增加率上升较快, 5 h 后, 失水率和固形物增加率逐渐趋于动态平衡, 这与赵金红等^[19] 的研究结论相符。可能是脱水前期样品和渗透液间的渗透压差较大, 随着时间的延长, 样品和渗透液之间的渗透压差逐渐变小, 质量传递的驱动力随渗透压差变小而降低, 导致渗透脱水后期失水率和固形物增加率的提高趋缓; 此外, 随着固形物增加率的增加, 较多的溶质聚集在渗透界面处, 从而阻碍了固形物和水分的迁移。试验还发现, 在 70 °C 条件下渗透预脱水一段时间后, 易出现樱桃番茄表皮脱落、内部组织结构发生破坏和内容物大量流出等现象, 这与尹晓峰等^[20] 通过朝天椒渗透脱水处理和张黎骅等^[21] 探索高山野山药片鲜切条件下微波间歇脱

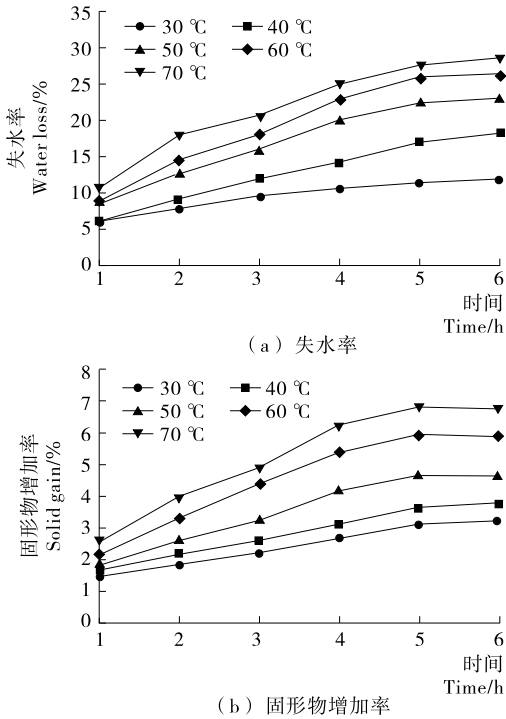


图3 渗透液温度对樱桃番茄真空渗透预脱水失水率和固形物增加率的影响

Figure 3 Effect of different temperature on water loss and solid gain of cherry tomato during vacuum osmotic dehydration

水得到的结论一致。因此,为保证真空渗透预脱水樱桃番茄半成品质量,选定合理的温度范围为40~60 °C。

2.4 糖度对樱桃番茄真空渗透预脱水的影响

由图4可知,糖度为30~60 °Brix时,随着糖度的增加,失水率和固形物增加率均呈增大趋势,表明糖度越高,越有利于水分子的运动,从而进一步加速渗透预脱水过程中物质交换的进程^[22]。但在糖度为70 °Brix时失水率低于60 °Brix,可能是糖度过高使渗透液黏稠度增加,进而使水分的传质阻力加大,影响脱水效果,抑制渗透脱水的进程^[22-23]。由图4还可看出,在渗透初期4 h内,失水率和固形物增加率变化趋势比较大,后期变化趋缓。可能是渗透预脱水初期,樱桃番茄和渗透液之间浓度差比较大,有利于物质交换的进行,随后浓度差逐渐减小,物质交换进程放缓。因而由试验结果初步选定合理的糖度范围为50~70 °Brix。

2.5 响应面优化试验

在单因素试验的基础上,确定真空度为0.080 MPa,进一步优化渗透液糖度、时间和温度的工艺参数。选用三因素三水平 Box-Behnken 试验设计,以渗透液糖度、时间和温度为自变量,以失水率与固形物增加率的比值为响应值,响应面试验设计见表1,结果见表2。

2.5.1 失水率/固形物增加率影响因素分析 利用 Design-expert 8.0.6 分析软件对表2 数据进行二次多元回归拟合,得到方差分析结果见表3。由表3 可知,该模型达到了显著水平(P=0.019 8),且失拟项不显著(P=0.050 6)。回归模型

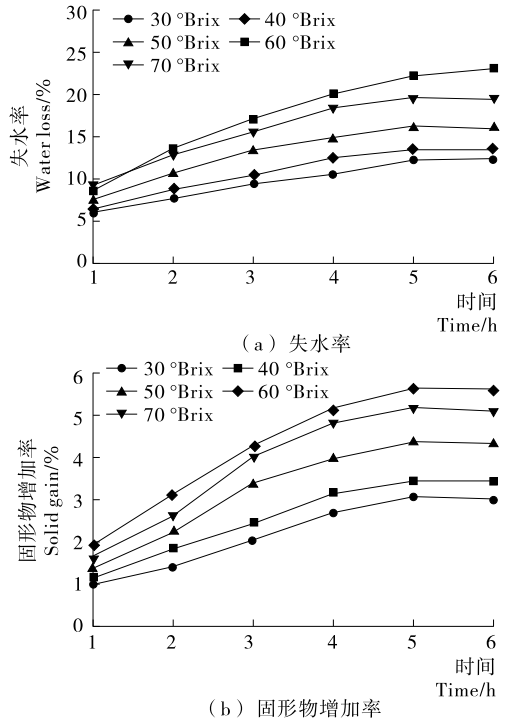


图4 渗透液糖度对樱桃番茄真空渗透预脱水失水率和固形物增加率的影响

Figure 4 Effect of sugar degree on water loss and solid gain of cherry tomato during vacuum osmotic dehydration

表1 响应面分析因素水平编码表

Table 1 The levels of different variables in coded and uncoded forms used for response surface methodology

水平	X ₁ 糖度/°Brix	X ₂ 时间/h	X ₃ 温度/°C
-1	50	4	40
0	60	5	50
+1	70	6	60

的相关系数 $R^2=0.901 1$,说明超过 90.11%的试验数据能被模型预测,相关性较好;校正决定系数 $R_{Adj}^2=0.871 3$,说明该模型能够解释 87.13%的变化,拟合程度较好;信噪比为 8.079,表明试验精密度达 8.079。因此,可用该模型对樱桃番茄渗透预脱水工艺进行分析和预测。比较各因素的 F 值,可得出,各因素对失水率/固形物增加率的影响顺序是:温度>时间>糖度。得到的二次回归方程为:

$$Y=7.09-0.24X_1+0.091X_2+0.75X_3-0.53X_1X_2-0.31X_1X_3+0.082X_2X_3-0.56X_1^2-0.91X_2^2-0.64X_3^2 \quad (3)$$

由图5~7可知,樱桃番茄预脱水过程中的失水率/固形物增加率随着渗透时间的延长和渗透温度提高而增大,随着渗透液的糖度增大先增大后减小。在温度保持一定时,樱桃番茄脱水过程失水率/固形物增加率对时间变化比糖度变化敏感,时间和糖度之间交互作用显著。温度和糖度与温度和时间之间交互作用对渗透脱水有促进作用。

表 2 樱桃番茄真空渗透预脱水工艺的响应面设计方案和结果

Table 2 Experimental and predicted values of water loss and solid gain of cherry tomato during vacuum osmotic dehydration according to the three-factor three-level Box-Behnken design

序号	X ₁	X ₂	X ₃	WL/%	SG/%	WL/SG
1	0	+1	-1	18.04	3.91	4.61
2	0	-1	+1	24.13	3.99	6.05
3	-1	+1	0	25.01	3.89	6.43
4	0	0	0	28.72	4.18	6.87
5	-1	0	+1	28.82	4.04	7.13
6	+1	0	-1	18.02	3.60	5.01
7	0	0	-1	27.18	4.02	6.76
8	0	+1	+1	33.42	4.98	6.71
9	+1	-1	0	20.38	3.32	6.14
10	0	0	0	28.32	4.14	6.84
11	-1	0	-1	14.89	3.03	4.91
12	0	0	0	25.69	3.57	7.20
13	0	0	0	27.84	3.97	7.01
14	-1	-1	0	15.88	2.89	5.49
15	+1	0	+1	25.59	4.28	5.98
16	0	0	0	27.96	4.06	6.89
17	0	-1	-1	13.35	3.12	4.28

表 3 失水率/固形物增加率回归方程方差分析[†]

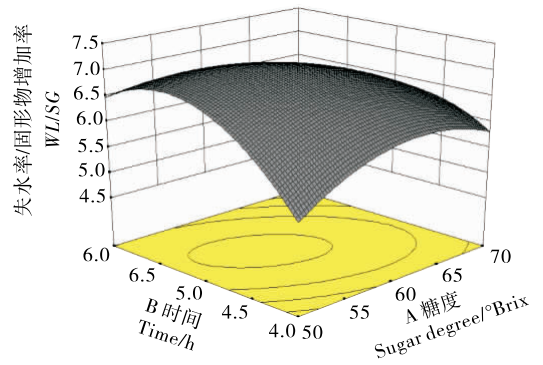
Table 3 Analysis of variance of water loss and solids increase rate for the regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平 P
模型	12.62	9	1.40	5.26	0.019 8*
X ₁	0.31	1	0.31	1.16	0.316 3
X ₂	0.04	1	0.04	0.17	0.693 8*
X ₃	4.94	1	4.94	18.54	0.003 5**
X ₁ X ₂	0.58	1	0.58	2.20	0.181 9
X ₁ X ₃	0.39	1	0.39	1.46	0.266 5
X ₂ X ₃	0.03	1	0.03	0.10	0.759 7
X ₁ ²	1.15	1	1.15	4.34	0.076 7
X ₂ ²	2.97	1	2.97	11.17	0.012 4*
X ₃ ²	1.49	1	1.49	5.61	0.049 8*
残差	1.86	7	0.27		
失拟项	1.78	3	0.59	9.75	0.050 6
纯误差	0.08	4	0.02		
总和	14.48	16			

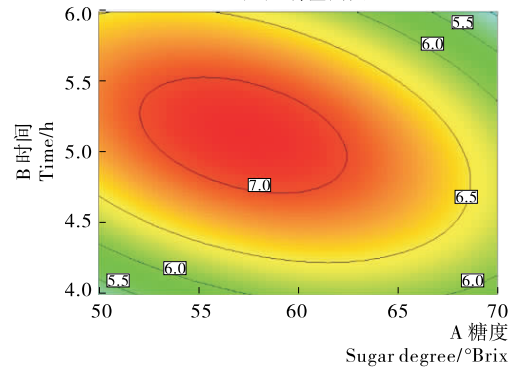
[†] **表示差异极显著(P<0.01), *表示差异显著(P<0.05);

R²=0.901 1; R_{Adj}²=0.871 3; Adeq Precisor = 8.079.

2.5.2 樱桃番茄真空渗透预脱水最佳工艺验证 樱桃番茄渗透预脱水后, 还需进一步干燥脱水, 故期望渗透脱水过程能得到高的失水率和低的固形物增加率, 即失水率/固形物

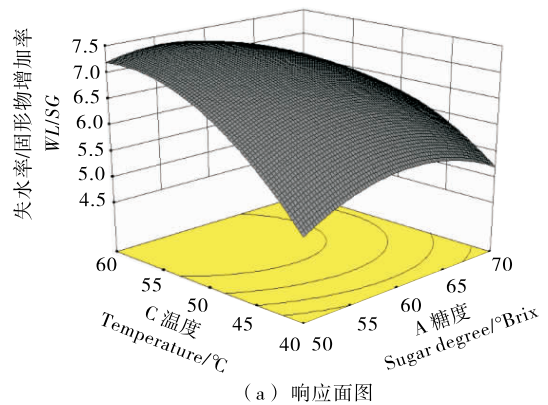


(a) 响应面图

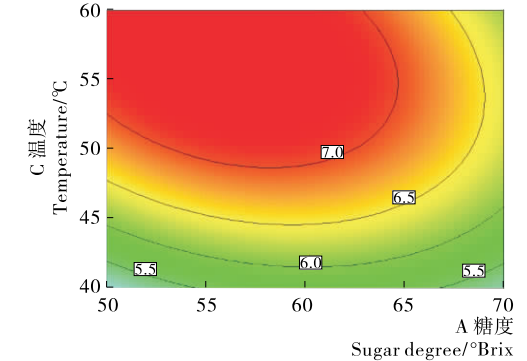


(b) 等高线

图 5 渗透糖度和时间对固形物增加率影响的响应面图和等高线
Figure 5 Response surface and Contour plotsse surface of the effects of sugar degree and time on solid gain of cherry tomato



(a) 响应面图



(b) 等高线

图 6 渗透糖度和温度对固形物增加率影响的响应面图和等高线
Figure 6 Response surface and Contour plotsse surface of the effects of sugar degree and temperature on solid gain of cherry tomato

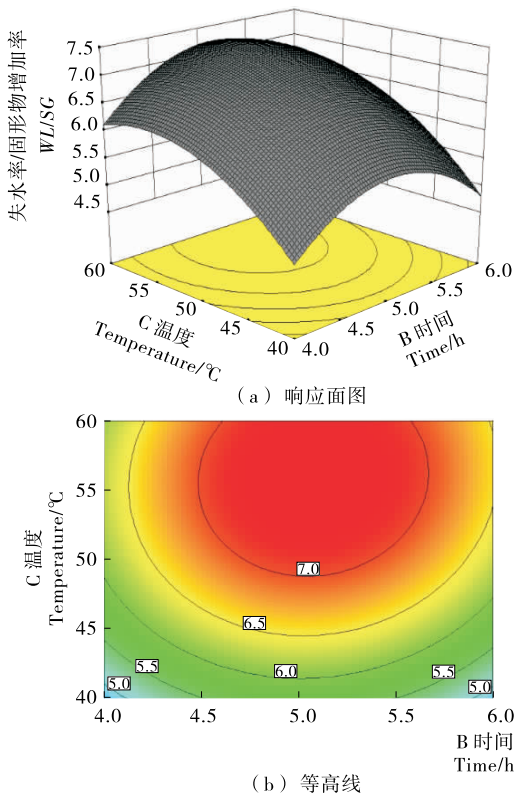


图7 渗透温度和时间对固形物增加率影响的响应面图和等高线
Figure 7 Response surface and Contour plots of the effects of temperature and time on solid gain of cherry tomato

增加率的比值最大。采用 Design-Expert 8.0.6 软件进行目标优化分析,得出在真空度为 0.080 MPa 条件下,樱桃番茄真空渗透预脱水的最佳条件为:糖度 50 °Brix,温度 53.37 °C,时间 4.88 h。在此条件下,失水率与固形物增加率的比值为 7.24。考虑生产实际操作性,将优化的真空渗透预脱水工艺条件修正为:糖度 50 °Brix、温度 53 °C、时间 4.9 h 条件下进行验证实验,经 3 次重复,实际测得的失水率的平均值为 27.11%、固形物增加率的平均值为 3.75%,得到失水率与固形物增加率的比值为 7.23。与模型预测最大值相比仅有 0.01 的误差,表明预测模型与实际情况拟合较好,故优化得到的樱桃番茄真空渗透脱水工艺条件是可行的。

3 结论

本试验结果表明,烫漂划线是樱桃番茄真空渗透脱水前理想的预处理方法;樱桃番茄真空渗透预脱水最佳工艺为:糖度 50 °Brix、温度 53.37 °C、时间 4.88 h,此时失水率与固形物增加率比值达到最大为 7.24。本试验探明了不同因素对渗透预脱水过程中脱水效果的影响,解决了果蔬干燥速率慢、干燥物质流失严重和商品品质差等问题。但本试验尚未涉及樱桃番茄在真空预脱水中各因子对其外观形态、质构、复水性、感官品质及营养价值的影响,还有待后续更深层次探讨。

参考文献

[1] SURESH C, DURVESH K. Recent development in osmotic de-

hydrat ion of fruit and vegetables; a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 55(4): 552-561.

[2] DEMIRAY E, TULEK Y, YILMAZ Y. Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50 (1): 172-176.

[3] 张佰清. 樱桃番茄果脯加工工艺的试验研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 105-107.

[4] DEROSI C, SEVERINI A, MASTRO D T, et al. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 641-648.

[5] 陈恺, 王娟, 姜婧, 等. 番茄粉中果胶含量粒径贮藏温度与色泽稳定性的相关性[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 170-173.

[6] SAGAR V R, SURESH KUMAR P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables; a review[J]. Food Science Technology, 2010, 47: 15-26.

[7] AN Ke-Jing, LI Hui, ZHAO Dan-dan, et al. Effect of Osmotic Dehydration with Pulsed Vacuum on Hot-Air Drying Kinetics and Quality Attributes of Cherry Tomatoes[J]. Drying Technology, 2013, 31(6): 698-706.

[8] ALLALI H, MARCHAL L, VOROBIEV E. Blanching of Strawberries by Ohmic Heating: Effects on the Kinetics of Mass Transfer during Osmotic Dehydration[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(3): 406-414.

[9] ZHAO Jin-hong, HU Rui, XIAO Hong-wei, et al. Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples[J]. Int J Food Sci Technol, 2014, 49(4): 960-968.

[10] GIOVANA D M, LIGIA D F, ISABEL C T, et al. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (Musa sapientum, shum.)[J]. LWT - Food Science and Technology, 2010, 44(1): 82-91.

[11] KUCNER A, PAPIEWSKA A, KIEWICKI R, et al. Chemical and Microbiological Changes in Blueberries and in Hypertonic Solution during Osmotic Dehydration Employing Reused Concentrate[J]. J Food Process Eng, 2013, 36(5): 608-618.

[12] SIMAL S, FEMEN A, LLULL P, et al. Osmotic dehydration of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller)[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 97: 154-160.

[13] 孟阳, 刘峰娟, 王玉红, 等. 热风干燥温度对无核白葡萄干品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 204-207.

[14] WIKTOR A, NOWACKA M, CHUDOBA T. Pulsed Electric Field Pretreatment for Osmotic Dehydration of Apple Tissue: Experimental and Mathematical Modeling Studies[J]. Drying Technology, 2014, 32(2): 408-417.

[15] LUIS M R, FRANCISCO J P. Comparison study of conventional hot-water and microwave blanching on quality of green beans[J]. Technologies, 2013, 20(9): 191-197.

(下转第 210 页)

表 7 班组制丝工艺综合评价结果对比

Table 7 The evaluation results comparison of each team

评价方式	甲班				乙班				丙班			
	9月	10月	11月	12月	9月	10月	11月	12月	9月	10月	11月	12月
模糊评价	87.14	83.64	79.11	83.74	87.76	75.24	76.14	73.66	83.16	72.81	83.56	79.07
神经网络	—	—	82.82	85.47	—	—	71.47	70.79	—	—	82.47	83.55

进行判定。其优点是训练数据越多其准确性越高,减少了权重评价主观因素的作用;其缺点是不能对影响评价等级的不良因素进行判断。因此,当样本数据足够多,并且不需要指出影响评价等级的不良因素时,采用神经网络评价模型准确度更高;但如果需要对影响评价等级的不良因素进行排查时,则多因素模糊综合评价模型的应用更广泛。两种方法相结合,互相验证,对提高制丝工艺综合生产水平提供了科学、简洁的依据,对查找工艺质量、设备运行状态、生产消耗指标下的各项不良因素提供了支持。

参考文献

- [1] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2003: 20-25.
- [2] 国家烟草专卖局. 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中央文献出版社, 2016: 30-35.
- [3] 刘继辉, 许磊, 马晓龙, 等. 基于随机森林回归的制丝过程参数影响权重分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(2): 63-71.
- [4] 熊安言, 于建春, 王二彬, 等. 叶丝加料工序参数对加料效果的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 66-71.
- [5] 刘晓龙. 卷烟制造过程关键质量特性识别及实证研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013: 20-25.
- [6] 张涛, 苏明亮, 赵伟, 等. 制丝工艺参数对 9 种主流烟气成分释放量的影响[J]. 烟草科技, 2014(8): 32-37.
- [7] 陶永峰, 张胜华, 李文璟, 等. Z 比分数—模糊 AHP 评价模型在卷烟成品实验室检测能力评价中的应用[J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 85-89.
- [8] 刘璇, 王沛, 毕金峰, 等. 基于层次分析法的晚熟品种苹果脆片品质评价[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 46-50.
- [9] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社出版, 2006: 50-55.
- [10] 胡永宏. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 60-65.
- [11] 王小川, 史峰, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 133-137.
- [12] 曲玉琨, 张新征, 王章龙, 等. 火炮系统效能综合评价与指标无量纲化处理的研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2007(3): 20-20.
- [13] 罗志刚, 高群玉, 杨连生. 湿热处理对淀粉性质的影响[J]. 食品科学, 2003, 26(2): 50-54.
- [14] 高群玉, 林志荣. 湿热处理玉米淀粉的溶胀和水解性质初探[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(6): 27-30.
- [15] ZAVAREZE E R, DIAS A R G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starch: A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 83(2): 317-328.
- [16] 赵佳. 水—热处理对淀粉理化特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 25-26.
- [17] 张民, 吴娜, 董家美, 等. 不同改性方法对大米淀粉理化性质及颗粒结构的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 19-23.
- [18] 尹晓峰, 杨明金, 张引航, 等. 辣椒渗透脱水处理及渗后热风干燥特性及品质分析[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 27-34.
- [19] 张黎骅, 武莉峰, 党鑫凯, 等. 鲜切高山野山药片微波间歇干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 39-44, 92.
- [20] BI Jin-feng, YANG Ai-Jin, LIU Xuan, et al. Effects of pre-treatments on explosion puffing drying kinetics of apple chips[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(2): 1 136-1 142.
- [21] 杨晓童, 段续, 任广跃. 新型微波真空干燥机设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 93-96, 208.

(上接第 187 页)

- [19] LI Sung-ling, WARD R, GAO Qun-yu. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (Phaseolus radiatus) starch[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(7): 1 702-1 709.
- [20] ZAVAREZE E R, STORCK C R, DE CASTRO L A S, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 358-365.
- [21] GUNARATNE A, HOOVER R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches[J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 49(4): 425-437.

(上接第 203 页)

- [16] 王中风, 韦田, 张敏, 等. 真空处理对酥梨渗透失水率和固形物增加率的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 53-55, 59.
- [17] 朱杰, 黄阿根, 杨振泉, 等. 黄秋葵热风干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 189-193.
- [18] 任亭, 程亚娇, 游玉明, 等. 干燥条件对熟化竹荪品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 127-131.
- [19] 赵金红, 袁越锦, 李淑英, 等. 芒果渗透脱水冻结的质量与热量传递模拟[J]. 农业机械学报, 2016, 45(12): 262-270.