

不同成熟期小白杏品质指标变化规律研究

刘金秀^{1,2}, 贺小伟^{1,2}, 罗华平^{1,2*}, 楚合营^{1,2}, 徐嘉翊^{1,2}, 韩玉浩³, 申丽丽^{1,2}

(1 塔里木大学机械电气化工程学院, 新疆 阿拉尔 843300)

(2 新疆维吾尔自治区教育厅普通高等学校现代农业工程重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

(3 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要 为了研究小白杏成熟规律, 本论文采集了4种不同成熟阶段的小白杏, 通过可溶性固形物(SSC)、含水率、硬度、糖酸比4个理化指标, 描述不同成熟期杏子的品质指标变化规律, 拟合建立SSC与含水率、SSC和糖酸比、SSC和硬度、含水率和糖酸比、硬度和糖酸比、含水率和硬度之间的数学模型, 分析各品质指标之间的相互关系, 并对SSC和含水率模型进行试验验证。结果表明, 随着成熟度增大, 小白杏的SSC逐渐增加, 含水率逐渐减少, 硬度逐渐减小, 糖酸比逐渐增加; SSC与糖酸比呈显著正相关, 与含水率、硬度呈显著负相关; 含水率和硬度呈显著正相关; 含水率和糖酸比呈显著负相关; 硬度和糖酸比呈显著负相关; 决定系数 R^2 都在0.90左右, 方程拟合度较好; 利用SSC并通过模型对含水率进行预测, 模型误差在 $\pm 3\%$ 以内, 表明SSC和含水率的模型关系式较为准确, 为以后建立小白杏的成熟度评价模型、确定最佳的采摘时间和品质分级提供参考。

关键词 小白杏; 成熟度; 模型; 品质指标; 变化规律

中图分类号: S-3

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1009-0568.2021.01.005

Study on variation tendency of little white apricot quality indicators at different maturity levels

LIU Jinxiu^{1,2}, HE Xiaowei^{1,2}, LUO Huaping^{1,2*}, CHU Heying^{1,2}, XU Jiayi^{1,2}, HAN Yuhao³, SHEN Lili^{1,2}

(1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

(2 Modern Agricultural Engineering Key Laboratory at Universities of Education Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Alar, Xinjiang 843300)

(3 College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract In order to study mature rule of the little white apricot, this paper collected four different mature stages of the little white apricot. Through total soluble solids content (SSC), moisture content, hardness and sugar-acid ratio as four physical and chemical indicators, the variations of quality indicators at different mature period were described, and the mathematical models were established by fitting that included SSC and moisture content, SSC and sugar-acid ratio, SSC and hardness, moisture content and sugar-acid ratio, hardness and sugar-acid ratio, moisture content and hardness. Moreover, the relationships among quality indicators were analyzed, and the model of SSC and moisture content was verified by experiment. The results showed that the SSC and sugar-acid ratio both gradually increased with the increase of maturity, while the moisture content and hardness both gradually decreased. SSC was significantly posi-

收稿日期: 2020-10-15

基金项目: 塔里木大学校长基金项目“基于高光谱图像技术的库车小白杏成熟度评价模型研究”(TDZKQN201810)

第一作者: 刘金秀(1987—), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为光学检测及应用研究。E-mail: liujinxiu075@163.com

通讯作者: 罗华平(1973—), 男, 硕士, 教授, 研究方向为光学检测及应用研究。E-mail: luohuaping739@163.com

tively correlated with sugar-acid ratio and significantly negatively correlated with moisture content and hardness. Moisture content was significantly positively correlated with hardness and significantly negatively correlated with sugar-acid ratio. Hardness was significantly negatively correlated with sugar-acid ratio. The coefficients of determination R^2 were about 0.90 and the fitting degrees of models were good. The moisture content was predicted by the model and SSC, and the maximum relative error of the model was within $\pm 3\%$, indicating that the model relationship between SSC and moisture content was more accurate, which provided references for the establishment of maturity evaluation model of little white apricot and the determination of the best picking time and quality classification in future.

Key words little white apricot; maturity; model; quality indicators; variation tendency

新疆杏果品种资源丰富,种植历史已有2 000多年,种植面积多达 $2 \times 10^5 \text{ hm}^2$,年产量超过 $1.5 \times 10^6 \text{ t}$,居于全国第一^[1]。小白杏是南疆地区种植较广泛的一种杏品种,其富含碳水化合物、蛋白质及多种矿物质元素^[2],具有较高的营养和药用价值,大多以鲜食为主,深受人们的喜爱。由于杏果属于典型的呼吸跃变型果实,采后较易达到呼吸高峰,加之杏果采摘期为新疆高温季节,存在着采后转色快,容易出现果皮和果肉褐变、后熟软化等品质问题^[3],不易贮藏,一般贮藏期仅为3~5 d^[1]。新疆地域辽阔,鲜食杏果销售需经远距离输送,在运输、贮藏、销售中容易出现损伤、软化和腐烂问题,使得杏果品质下降严重,给新疆杏果国内外市场健康发展带来严峻挑战^[4-5]。

杏果的采收成熟度是影响其贮藏品质和货架期的重要因素之一^[6]。新疆小白杏产量大,成熟期短,为了确保经过长途运输、贮藏后的杏子仍具有优良的品质和口感,需要在合适的成熟期进行采摘,并进行快速、准确的品质分级,降低小白杏在远距离冷藏运输中的损伤率,延长市场销售周期,从而提高小白杏的鲜食品质和经济附加值。因此,亟需开展不同成熟期小白杏品质指标变化规律研究,确定杏果最佳采摘时间,将有利于开拓小白杏鲜食外销市场,提高果农经济收入。

顾天齐等^[7]通过测定新疆小白杏3个成熟期的果实硬度、SSC、可滴定酸、总糖、果胶、还原糖、总酚、纤维、VC等指标,发现总糖、VC、总酚、硬度、纤维存在明显差异。王永芳等^[4]对成熟过程中的库车小白杏颜色、还原糖、VC含量进行测定,发现随着成熟度

增大,颜色由亮变暗,糖度逐渐增加,VC含量不断减小且含量较低。杨婷婷等^[6]研究表明,“中熟”的杏果经过贮藏35 d后仍然具有很高的硬度、VC和SSC含量以及较高商品率,为最适宜的采收成熟度。李亚玲等^[8]通过测定不同的出库方式对近冰温贮藏后新疆小白杏的货架期的硬度、SSC、可滴定酸、VC、及果实色泽(L^* 、 a^* 、 b^*)的影响,发现低温冷链出库效果最佳。李萍等^[9]研究6个杏品种的细胞壁组分和水解酶活性在杏果实成熟过程中的变化规律,可以解释杏果实硬度随成熟度的变化。孙守文等^[10]对新疆12个九成熟的杏品种进行调查,结果表明轮台小白杏的可溶性固形物含量最高,可食率、果胶含量、还原糖含量、固酸比较高。

研究小白杏的成熟规律,还可以为建立小白杏的成熟度评价模型提供参考,对于杏果采收和品质分级具有至关重要的意义。RAJKUMAR P等^[11]通过高光谱图像技术研究发现,香蕉的SSC、含水率与成熟度呈线性变化规律。张学豪^[12]通过不同成熟度李果实的SSC含量和硬度值的箱图分布对李果实成熟度进行判别,并与基于SSC、硬度值为输出的PLS判别模型进行比较。薛建新等^[13]研究表明,沙金杏的SSC和成熟度之间相关系数为0.938 6,可使用SSC对沙金杏的成熟度进行分类判别,然后对特征波段、6项图像纹理指标、6项图像颜色指标这三类指标进行最优组合建立极限学习机模型,结果基于特征波长与颜色特征融合值建立的模型判别率高达93.33%。以上对水果的成熟度研究都是基于定性分类,兰海鹏等^[14]对库尔勒香梨提出一种成熟度量化评价模型,以积温为变量,分别建立香梨硬度、

SSC、叶绿素、维生素C与积温拟合方程,模型系数显著性 $P < 0.0001$,相对误差均小于2.4%,然后建立了香梨成熟度与各指标之间的量化评价模型,为确定香梨的采摘期、成熟度评价和品质指标预测提供参考。

综上可知,国内外学者对不同成熟期小白杏品质指标变化规律研究较少。为探究不同成熟期小白杏品质指标变化规律,本文结合具体试验条件,以4种不同成熟程度的小白杏为研究对象,分别测定SSC、含水率、硬度、糖酸比4个理化指标含量,得到各指标随成熟度的变化规律,拟合建立各品质指标与成熟度的模型及各指标之间的相互关系,研究小白杏的成熟规律,为确定小白杏的最佳采摘期、建立小白杏的成熟度判别模型和品质分级提供参考,对打开小白杏外销市场空间、促进新疆经济发展具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以新疆维吾尔自治区阿拉尔市十团果园内的小白杏为试验材料,采摘时间为2020年6月份。杏果的采收成熟度主要依据果皮颜色,一般杏果颜色由绿向黄转变即可采收,但是不同的品种具有不同的颜色变化^[1]。按照生产实际中对杏的成熟程度划分^[13]采集七成熟、八成熟、九成熟、十成熟4个等级的小白杏,划分依据如下:

七成熟:果实呈深绿色,果肉较硬,果实偏小;八成熟:果实发育基本成熟,绿色减退,果肉偏硬;九成熟:绿色基本消失,大部分呈白色或者浅黄色,果肉稍微变软;十成熟:果实呈全黄色,果肉变软,易受损伤。

选择果实大小均匀、形状规则、无病虫害、无机械损伤、成熟度基本一致的小白杏为试验样品。样品采摘后立即运回实验室进行品质指标测定或置于冰箱内5℃冷藏到第二天测定^[15]。因为理化指标测定方法的限制,同一个样品不能同时测定所有指标,只能从同等级成熟度样品中分批测量不同理化指

标。每个成熟度等级筛选取样520个果实,其中200个用于测定SSC、含水率,120个用于测定硬度,其余200个用于测定总糖和总酸,测量结果取平均值。其中,SSC和含水率来源于同一个样品,而总糖和总酸来源于同一批样品的平均值。

1.2 试验方法

1.2.1 SSC测定

在果实三分之一处将果肉切片,一半用于测定含水率,另一半用于挤汁,滴于数显SSC计(日本Atago)上,记录读数,每次测量前用蒸馏水清洗糖度计,并进行校正。

1.2.2 含水率测定

根据GB/T5009.3-2016,使用烘干减重法进行测量。干燥设备为GZX-9140MBE电热鼓风干燥箱(上海博讯事业有限医疗设备厂),称重仪器为JA2003型电子天平。果实三分之一处将果肉切片,约为1g左右,放至托盘中置于电热鼓风干燥箱中干燥,在一个大气压下,温度设定100℃,每隔2h取出并称重一次,直到重量变化小于0.001g^[16],含水率计算公式如下:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: w 为样本的含水率; m_1 为样本的鲜重,单位为g; m_2 为样本的干重,单位为g。

1.2.3 硬度的测量

采用质构仪TMS-PRO(美国,FTC)进行质构剖面分析(TPA)测试。TPA是通过模拟牙齿咀嚼对样品进行两次压缩得到品质参数^[17]。设置测试速率为30mm/s,压缩程度为20%,起始力为0.5N,得到评价小白杏TPA试验模式图及特征曲线,如图1所示,其中双峰曲线第一个峰的最大值表示硬度,单位为N。

1.2.4 糖酸比的测定

在塔里木大学分析测试中心根据GB/T 10872-2006进行了总糖测定,根据GB/T 12456-2008进行了总酸测定,糖酸比即为总糖和总酸的比值。

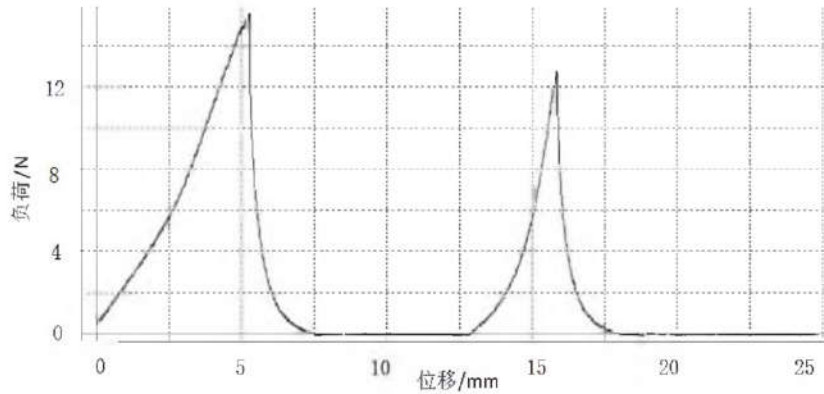


图1 小白杏TPA试验模式图及特征曲线

2 结果分析

2.1 小白杏SSC、糖酸比含量变化规律

从图2、3可以看出,小白杏SSC含量变化区间为6%~19%,糖酸比变化区间为0.50~1.60,小白杏的SSC和糖酸比均随着成熟度增大而增大。原因是小白杏成熟过程中淀粉等物质分解成蔗糖、果糖和葡

萄糖等,同时根据实验测定,总酸含量在5%~6.3%之间波动变化,导致糖酸比呈上升趋势。根据新疆库车小白杏成熟过程物理特性试验研究,库车小白杏的还原糖随着成熟度的增加而增加^[8],以及不同成熟度李果实的SSC变化趋势都与本试验结论一致^[13]。

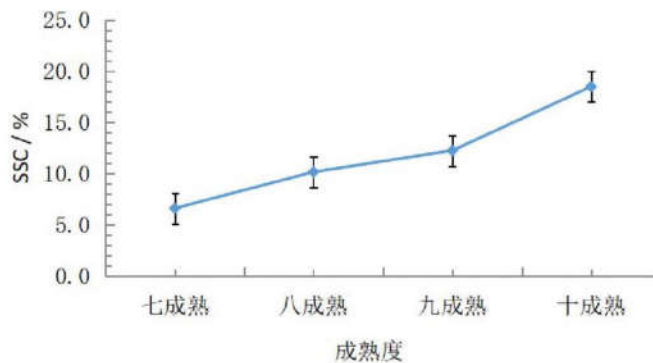


图2 小白杏SSC随成熟度的变化规律

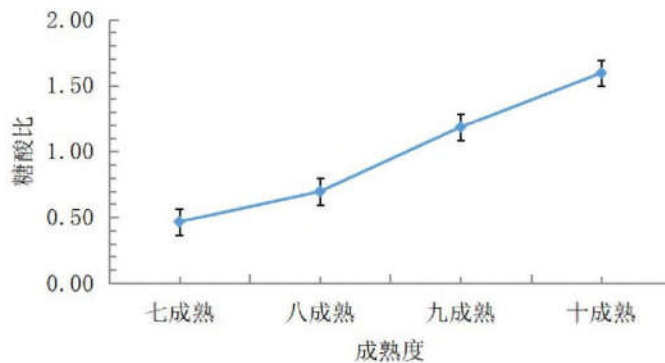


图3 小白杏糖酸比随成熟度的变化规律

2.2 小白杏含水率变化规律

从图4中可以看出,小白杏的含水率变化区间为83%~91%,随着成熟度增大呈逐渐减少趋势。

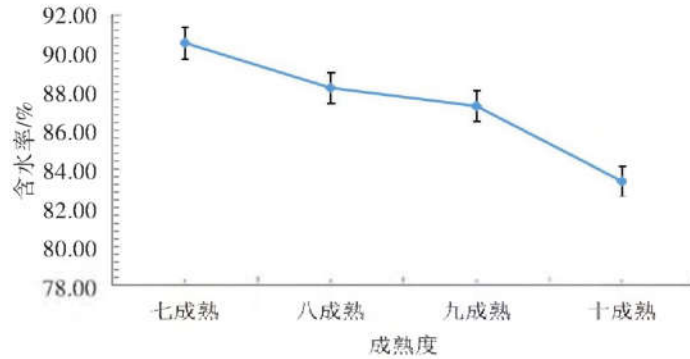


图4 小白杏含水率随成熟度的变化规律

2.3 小白杏硬度变化规律

果实的硬度是影响果肉品质的重要指标之一。从图5中可以看出,小白杏的硬度随着成熟度增大逐渐减弱。这是因为硬度主要受果胶、木质素、纤维素、

淀粉等影响,随着果实的不断成熟,果肉细胞壁的主要成分由不溶的原果胶降解为可溶性果胶,细胞结构随之受损,细胞膜通透性增强,电解质大量溢出,使得细胞解体,导致果肉硬度随时间迅速下降^[18]。

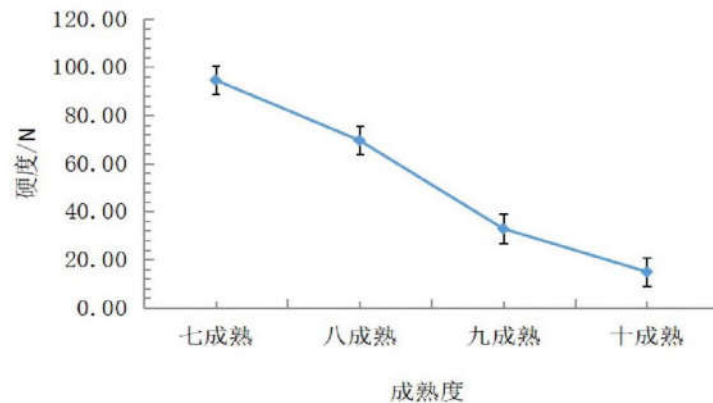


图5 小白杏硬度随成熟度的变化规律

2.4 小白杏品质指标间相互关系

随着小白杏逐渐成熟,SSC和糖酸比逐渐增加,含水率和硬度逐渐减小,为明确各品质指标之间的变化关系,使用Excel软件对各品质指标进行拟合,根据决定系数选取最优的拟合曲线。为防止因数据过少而出现拟合现象,本实验在八成熟和九成熟之间、十成熟之后各增加了一次采样观测,得到6个

不同成熟期的品质指标值进行拟合,如下图6所示。

从图6中可以看出,小白杏的SSC与含水率呈显著负相关,决定系数 $R^2=0.9945$;SSC与糖酸比呈显著正相关, $R^2=0.9081$;SSC与硬度呈显著负相关, $R^2=0.96$;含水率与硬度呈显著正相关, $R^2=0.9423$;含水率和糖酸比呈显著负相关, $R^2=0.884$;硬度和糖酸比呈显著负相关, $R^2=0.9414$ 。

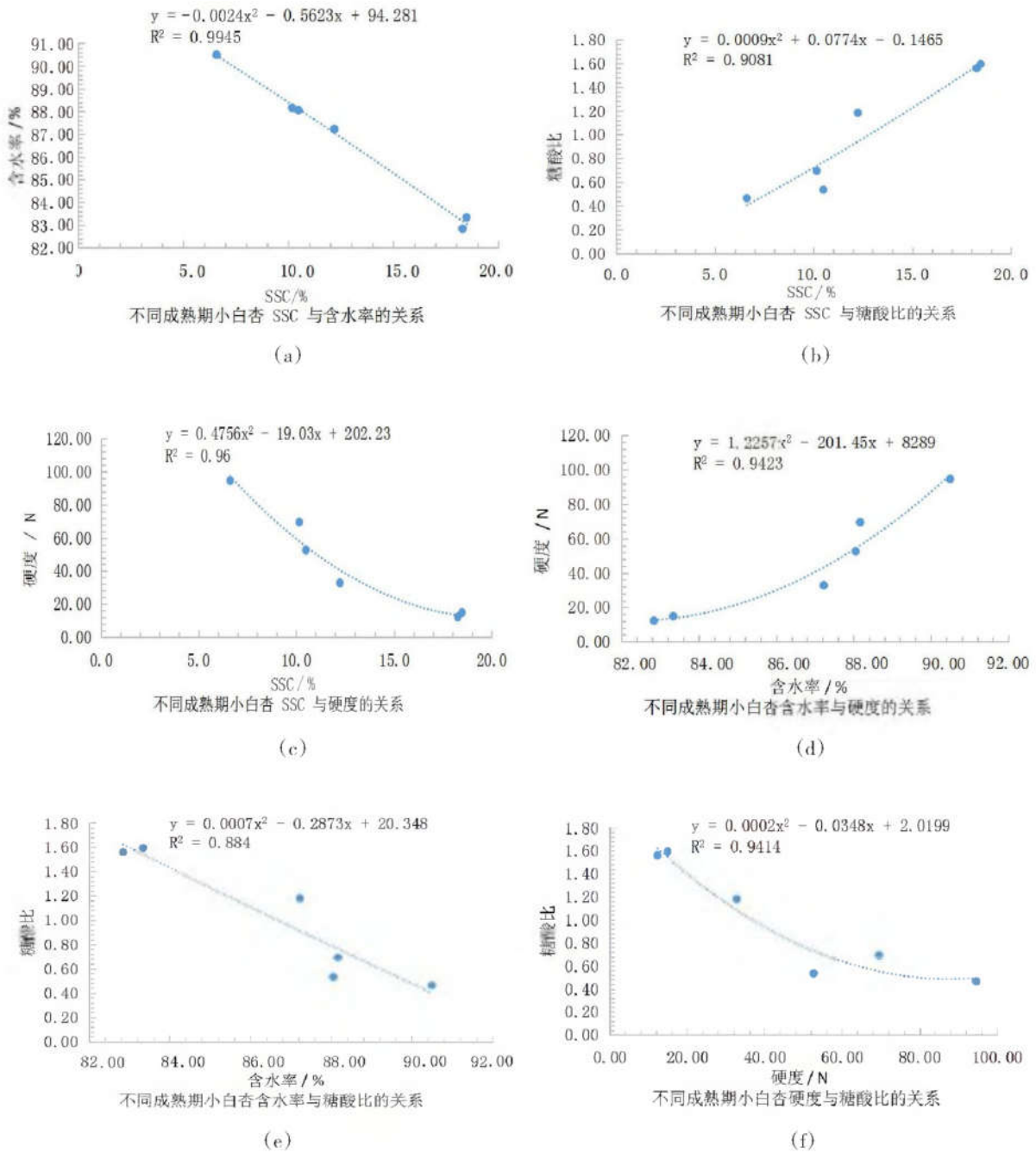


图6 不同成熟期小白杏各品质指标之间相关性分析

2.5 模型试验验证

为了验证SSC和含水率模型关系式能否准确描述彼此的相关性,以SSC对含水率进行预测,比较模型预测值与实测值,误差在±3%左右,验证结果如图7所

示。因本试验对各指标的测定方法的限制,只有SSC和含水率来自于同一样品,硬度和糖酸比均是分别来自不同样品取得的平均值,因此无法对上述模型进行相互验证,拟合曲线仅供参考。

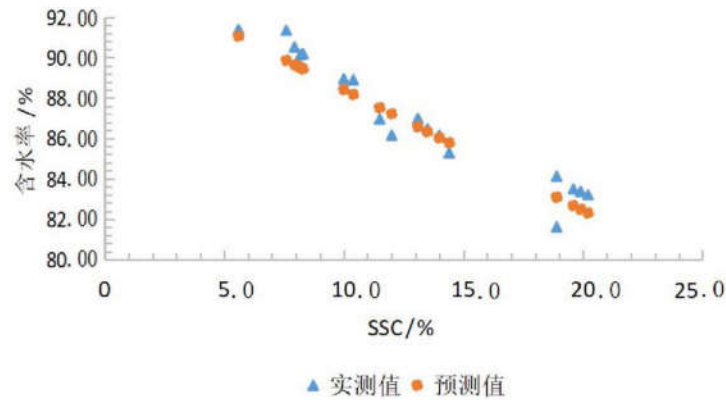


图7 SSC实测值所对应的含水率的实测值与预测值

3 结论

研究表明,随着成熟度的增大,小白杏的SSC、糖酸比逐渐增加,含水率和硬度逐渐降低。SSC和糖酸比呈显著正相关,SSC和含水率、硬度呈显著负相关,含水率和硬度呈显著正相关,含水率和糖酸比呈显著负相关,硬度和糖酸比呈显著负相关,决定系数 R^2 在0.90左右,方程拟合度较好。使用SSC含量通过模型验证含水率,结果误差在 $\pm 3\%$ 以内,说明模型精确度较高。如果试验条件允许,当各指标均来自于同一样品,便可以根据各指标间的模型,由一个指标的含量对其他指标进行准确预测,而不需要将所有指标一一测定,对成熟度判定具有一定参考价值。

参考文献

- [1] 李自芹,杨慧,李文绮,等.新疆鲜杏保鲜技术研究现状[J].农产品加工,2020(20):89-94.
- [2] 黄星奕,钱媚,徐富斌.基于机器视觉和近红外光谱技术的杏干品质无损检测[J].农业工程学报,2012,28(7):260-265.
- [3] 张晶晶.基于高光谱成像技术的杏成熟度判别研究[D].山西:山西农业大学,2015.
- [4] 王永芳,胡建胜,刘奎.新疆库车小白杏成熟过程物理特性试验研究[J].轻工科技,2018,34(5):39-40,68.
- [5] 刘华英,张锐利,秦俊凤.机械伤害对库车小白杏贮藏品质的影响[J].塔里木大学学报,2012,24(2):14-18.
- [6] 杨婷婷,朱璇,向玉洁,等.采收成熟度对杏果实贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2015,31(7):277-282.
- [7] 顾天齐,张志刚.品种与成熟度对杏果实品质的影响试验初报[J].南方农业,2020,14(15):135-136.
- [8] 李亚玲,石玲,刘佳,等.不同出库方式对近冰温贮藏后杏果实货架期品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(10):141-146.
- [9] 李萍,廖康,赵世荣,等.杏果实发育成熟过程中细胞壁组分和水解酶活性的变化[J].新疆农业大学学报,2013,36(4):298-303.
- [10] 孙守文,刘凤兰,王静,等.新疆杏果品质比较的研究[J].新疆农业大学学报,2011,34(3):226-229.
- [11] RAJKUMAR P, WANG N, ELMASRY G, *et al.* Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(1): 194-200.
- [12] 张学豪.基于高光谱成像技术对李果实成熟度判别研究[D].山西:山西农业大学,2015.
- [13] 薛建新,张淑娟,张晶晶.基于高光谱成像技术的沙金杏成熟度判别[J].农业工程学报,2015,31(11):300-307.
- [14] 兰海鹏,贾富国,唐玉荣,等.库尔勒香梨成熟度量化评价方法[J].农业工程学报,2015,31(5):325-330.
- [15] 牛希跃,刘华英,任少东,等.冷藏对库车小白杏果实硬度及相关指标的影响[J].科技视界,2015(36):42-43.
- [16] 李伟,罗华平,索玉婷,等.冬枣水分高光谱快速反演模型研究[J].食品科技,2020,45(2):329-333.
- [17] 罗斌,赵有斌,尹学清,等.质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J].食品研究与开发,2019,40(5):209-213.
- [18] 兰海鹏.库尔勒香梨成熟特征表达及评价方法[D].黑龙江:东北农业大学,2017.