

基于 TPA 和 Vis/NIR 的番茄货架期的品质检测

吴桂芳¹, 姜伟², 王春光¹, 李林¹, 王洪波¹

(1. 内蒙古农业大学机电工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018) (2. 内蒙古农牧业科学院, 内蒙古呼和浩特 010031)

摘要: 针对番茄货架期的质地变化特点, 采用质地多面分析方法 (TPA) 对番茄货架期的质构参数的变化进行了分析, 通过 TPA 测试方法测得的典型的质构特性曲线, 由该曲线计算出番茄的硬度, 粘附性, 内聚性, 弹性, 胶粘性, 咀嚼性等质构参数, 通过对各质构参数间的相关分析得出了相关矩阵表。结果表明, 随着贮藏时间的延长, 番茄各质构参数都有不同程度的降低, 番茄的硬度和内聚性相关关系显著 ($P < 0.01$), 番茄的咀嚼性和其它的质构特性都存在相关关系 ($P < 0.05$)。根据番茄货架期的质构参数变化规律, 将番茄货架期分为货架前期 (1~3 d), 货架中期 (4~6 d) 和货架后期 (7~9 d)。应用可见/近红外光谱 (Vis/NIR) 结合主成分分析方法 (PCA) 对不同货架期的番茄进行了检测分析, 基于 PC1 和 PC2 的番茄货架期分类率为 97%, 为今后进一步分析建立水果和蔬菜货架期品质预测模型奠定了理论基础。

关键词: 番茄; 质构分析; 可见/近红外光谱; 主成分分析

文章编号: 1673-9078(2015)6-290-294

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.046

Quality Changes during Tomato Shelf-life Based on Texture Profile Analysis and Visible/Near-infrared Spectroscopy

WU Gui-fang¹, JIANG Wei², WANG Chun-guang¹, LI Lin¹, WANG Hong-bo¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University, huhhot 010018, China)

(2. Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, huhhot 010031, China)

Abstract: Texture profile analysis (TPA) was applied to study the quality changes, i.e., changes of tomato texture parameters, during tomato shelf-life. Typical textural property curves were obtained by TPA, and textural parameters such as hardness, adhesiveness, cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness were calculated by analyzing the textural property curves. A correlation matrix was constructed by correlation analysis between the textural parameters. The results show that tomato textural parameters decreased to different extents with increasing storage time. Tomato hardness and cohesiveness showed a significant correlation ($P < 0.01$). Tomato chewiness was correlated to other textural properties ($P < 0.05$). Tomato shelf-life was divided into three periods: earlier stage (1~3 days), middle stage (4~6 days), and later stage (7~9 days) according to the variation patterns of textural parameters. Visible/near infrared spectroscopy combined with principal component analysis (PCA) was used to identify tomatoes in different stages of shelf-life, and the recognition rate was 97.2% based on PC1 and PC2. This method has laid the theoretical foundation for the further construction of a quality prediction model during fruit and vegetable shelf life.

Key words: tomato; texture profile analysis; visible/near-infrared spectroscopy; principal component analysis

番茄是一种多汁的浆果, 兼具蔬菜和水果双重身份, 富含维生素 A、C、B1、B2 以及胡萝卜素等 13 种维生素和 17 种矿物质, 番茄中含有的番茄红素是人体最常见和最有力的抗氧化剂之一, 可以有效的减少心血管疾病和防治因免疫力下降引起的各种疾病, 近

收稿日期: 2014-09-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61265011), 高等学校博士学科点专项科研基金 (20111515120004), 内蒙古自治区科技创新引导奖励资金项目 (20121310), 内蒙古自然科学基金资助项目 (2010BS0705; 2012MS0915)

作者简介: 吴桂芳, 副教授, 主要从事农畜产品加工与检测方面的研究

通讯作者: 王春光, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械智能化与信息化的研究

年来, 番茄及其制品越来越受到广大消费者的青睐。全球生产番茄最多的国家有美国、中国和意大利等国, 我国番茄生产位居世界第二位, 以鲜食为主。采收后的番茄进入货架期, 其果实随着贮藏时间的延长, 质地不断发生变化, 表现为果肉逐渐变得绵软, 风味逐渐丧失, 这些严重影响了番茄的商品性。食品质地分析技术可以在一定程度上反映果实的质地和组织结构的变化, 质地多面分析方法 (TPA) 是通过检测食品的硬度, 粘附性, 内聚性, 弹性, 咀嚼性等参数来模拟食品质地的感官评价, 可以客观的评价果蔬质地变化^[1-2]。近年来, 研究人员采用 TPA 方法分析了苹果, 桃子等水果在贮藏期间的质地变化^[3-5], 但是对于浆果

尤其是番茄的货架期的质地变化研究的较少, 番茄作为浆果, 其硬度, 脆度以及咀嚼性等特性的变化更能客观的反映其在货架期的品质特征^[6-8]。另外, 农产品的品质随着货架期的延长而发生改变, 近年来, 研究人员尝试着用电子鼻和可见/近红外光谱来测量这种改变^[9-10]。

本研究的目的是采用 TPA 方法和可见/近红外光谱方法研究番茄果实在采后货架期的质地变化规律, 验证 TPA 检测方法用于番茄质地评价的有效性, 根据此变化规律对番茄货架期进行区分, 并应用可见/近红外光谱方法来识别不同货架期的番茄^[11-14]。

1 材料与方法

1.1 材料与处理方法

五个品种的番茄 (1-CM78, 2-CM966, 3-Panshi, 4-T107, 5-v20) 采自内蒙古自治区农牧业科学院的温室试验田, 采摘时的番茄处于粉熟期, 采后的番茄果实置于 (20±1) °C 的恒温恒湿箱中贮藏, 相对湿度控制在 65%~75%。

1.2 试验方法

1.2.1 仪器设备

质构特性测试采用质构仪 (TMS-PRO, FTC, USA), 测力范围±2500 N, 行程范围 300 mm(12 in), 速度范围 1~500 mm/min(0.04~20"/min)。本试验中, 选用直径 6 mm 的不锈钢圆柱探头 (P/6), 测试模式为 TPA(Texture Profile Analysis)。探头的测试速度为 6 mm/s, 触发力为 0.5 N。

光谱检测采用 QualitySpec® Pro-台式可见光/近红外光谱仪, 波长范围 350~1800, 光谱分辨率 3 nm@700 nm 10 nm@1400, 光谱采样间隔: 1.4 nm@350~1050 nm, 2 nm@1000~1800 nm。

1.2.2 试验方法

每天各取每个品种 6 个共 30 个番茄果实检测, 共测定了九天, 先对番茄样本进行光谱扫描, 光谱仪探头与水平面成 45°角, 探头垂直番茄表面, 以番茄中轴线到探头的距离为半径作圆, 三等分此圆圆周, 每个等分点扫描一次, 每个样本共扫描三次, 然后求平均值作为该番茄样本的光谱曲线。在光谱检测完之后对番茄样本进行各质构特性的检测。

1.2.3 TPA 测试方法的参数解释

TPA 测试方法主要通过对样品进行两次压缩的机械过程来模拟人口腔的咀嚼运动, 利用力学方法来模拟食品质地的感官评价。TPA 测试方法的测试结果

典型的质构特性曲线, 由该曲线可以获得样品的硬度, 粘附性, 内聚性, 弹性, 胶粘性, 咀嚼性等参数。图 1 中, 硬度为第一次压缩周期中的峰值; 粘附性为第一次压缩曲线到达零点开始到等待开始之间的曲线所围的面积 III; 内聚性为两次压缩所做的功的比值, 即面积 IV/(面积 I + 面积 II); 弹性为样品经过压缩以后恢复的程度, 一般用第 2 次压缩经历的时间 T_2 与第一次压缩经历的时间 T_1 的比值 T_2/T_1 表示; 胶粘性为硬度和粘附性的乘积; 咀嚼性为胶粘性和弹性的乘积。

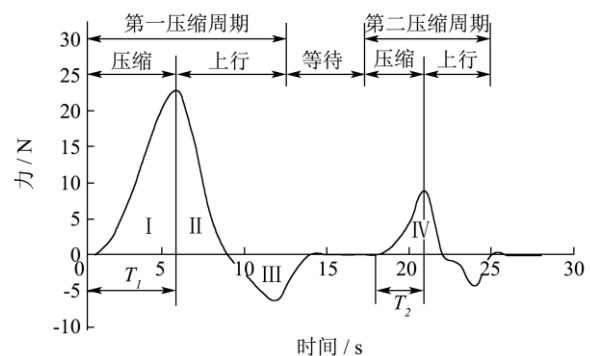


图 1 典型的番茄 TPA 测试曲线

Fig.1 Typical texture profile analysis curve of tomato

2 结果与讨论

2.1 货架期番茄质构特性的变化

2.1.1 货架期番茄硬度的变化

由图 2a 可以看出, 随着贮藏时间的延长, 果实硬度不断下降, 在 1~3 d, 果实硬度下降的较快, 而在 4~6 d 时, 果实硬度下降的比较平缓, 在 7~9 d 果实硬度下降的速率又变得较快。开始的几天, 品种 T170 的硬度明显大于其它品种, 品种间硬度的差异显著 ($P<0.01$)。随着贮藏时间的增大, 品种间的硬度差异变得不显著 ($P>0.05$)。说明番茄果实的硬度和番茄组织的变化以及成熟度有关。

2.1.2 货架期番茄粘附性的变化

由图 2b 可以看出, 在 1~6 d, 番茄果实的粘附性不断下降, 在 7~9 d, 番茄果实的粘附性不再下降, 变化趋于平稳, 这种变化可能是由于番茄在贮藏过程中品质发生变化, 导致其对质构仪探头的粘附力不再降低。在整个货架期期间各品种之间的粘附性区别不显著 ($P>0.05$)。

2.1.3 货架期番茄内聚性的变化

由 2c 可以看出, 在货架期, 番茄果实的内聚性呈不断下降趋势, 在 1~3 d, 果实的内聚性下降的较快, 而在 4~9 d, 果实的内聚性下降的速率比较缓慢, 内聚性反映的是果肉细胞间结合力的大小, 以上变化说

明番茄果肉细胞间的结合力随贮藏时间的延长而减小, 最终会导致果肉组织疏松。在整个货架期期间番茄各品种之间的内聚性差异显著 ($P < 0.01$), 品种 T170 和 V20 的内聚性明显大于其它品种。

2.1.4 货架期番茄弹性的变化

由图 2d 可以看出, 番茄果实的弹性呈不断下降趋势, 在 1~6 d, 果实的弹性下降的较快, 而在 7~9 d, 果实的弹性下降的速率比较缓慢, 在整个货架期期间番茄各品种之间的弹性差异显著 ($P < 0.01$), 品种 V20 和 CM966 的弹性明显大于其它品种。

2.1.5 货架期番茄胶粘性的变化

由图 2e 可以看出, 在货架期, 番茄果实的胶粘性呈不断下降趋势, 在 1~3 d, 果实的胶粘性下降的较快, 番茄各品种之间的内聚性差异显著 ($P < 0.01$), 品种 CM78 和 V20 的胶粘性明显大于其它品种, 而在 4~9 d, 果实的胶粘性下降的速率比较缓慢, 番茄各品种之间的胶粘性差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.1.6 货架期番茄咀嚼性的变化

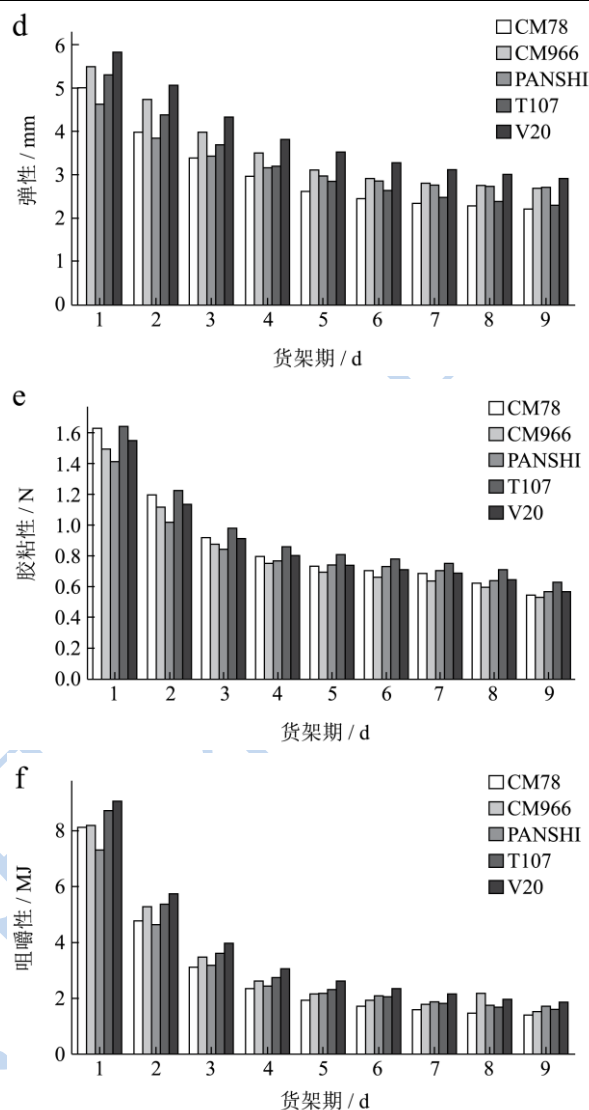
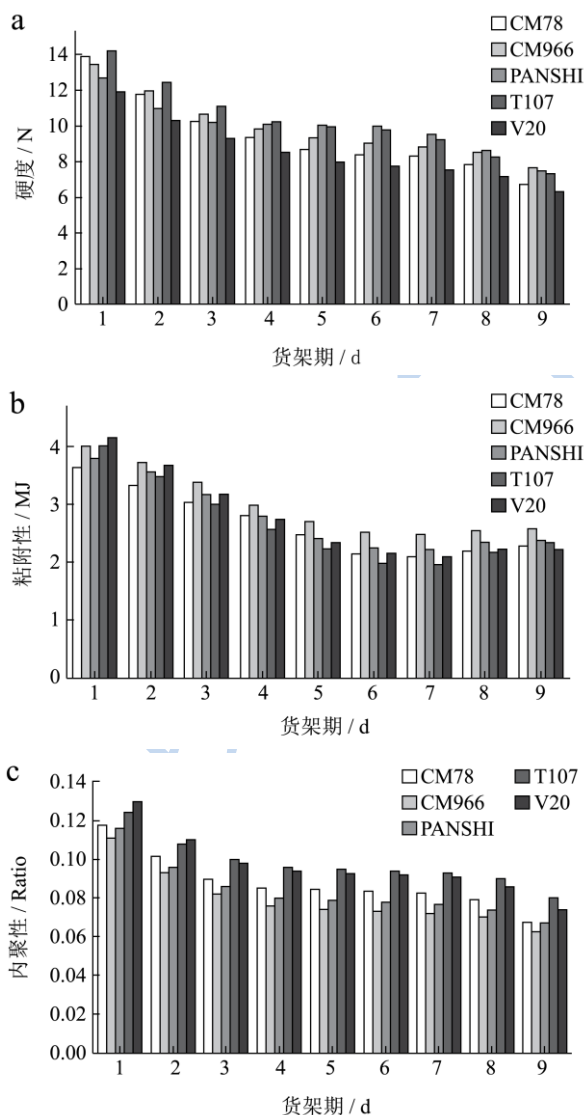


图 2 番茄货架期的质构特性

Fig.2 Tomato texture profile in shelf-life

注: a: 硬度, b: 粘附性, c: 内聚性, d: 弹性, e: 胶粘性, f: 咀嚼性。

由图 2f 可以看出, 在货架期, 番茄果实的咀嚼性呈明显的下降趋势, 在 1~6 d, 果实的咀嚼性下降的较快, 番茄各品种之间的咀嚼性差异显著 ($P < 0.01$), 品种 CM78 和 CM966 的咀嚼性明显大于其它品种, 而在 7~9 d, 果实的咀嚼性下降的速率比较缓慢。

2.2 质构参数之间的相关性分析

番茄果实各质构参数之间的相关性见表 1, 果实的咀嚼性与硬度, 内聚性, 弹性和胶粘性有非常显著的相关关系, 与粘附性相关关系显著, 说明质构各参数均影响果肉在人体口腔内的触觉感受。果实的胶粘性与硬度, 内聚性, 弹性相关关系显著; 果实的弹性和硬度, 内聚性相关关系显著; 果实的内聚性与硬度相关关系非常显著, 两者均可用来评价果实的坚实性。

表 1 番茄果实各项质构参数相关性 (R) 矩阵表

Table 1 Correlation(R) matrix of tomato textural parameters

参数	硬度	粘附性	内聚性	弹性	胶粘性	咀嚼性
硬度	1					
粘附性	0.78	1				
内聚性	0.96**	0.74	1			
弹性	0.81*	0.86*	0.90*	1		
胶粘性	0.88*	0.77	0.89*	0.86*	1	
咀嚼性	0.95**	0.87*	0.97**	0.91**	0.97**	1

注: *为相关显著 (P<0.05); **为相关非常显著 (P<0.01)。

2.3 番茄不同货架期的近红外光谱研究

2.3.1 番茄货架期的分期

番茄的质构参数在货架期变化的趋势如图 2 所示, 根据上述对货架期番茄质构特性的变化的分析, 将番茄的货架期分为货架前期 (1~3 d), 货架中期 (4~6 d), 货架后期 (7~9 d) 番茄质构参数在不同货架期的变化有所不同, 尤其硬度参数在货架期的改变, 在货架前期硬度下降较快, 货架中期的下降得比较缓慢, 在货架后期下降得又比较快, 因此我们采用试验获得的光谱数据对不同货架期的番茄进行分析。

2.3.2 番茄不同货架期的近红外光谱

番茄不同货架期的可见/近红外光谱图如图 3 所示, 为了消除光谱曲线的首端和末端都有较大的噪音的影响, 选取 400~1800 nm 波段的光谱进行研究, 图中曲线分别代表的是每种货架期 90 条光谱曲线的平均光谱曲线, 图中横坐标为光谱波长; 纵坐标为吸光度。从图中可以看出, 番茄在货架前期, 货架中期和货架后期的光谱的吸光度值依次降低。

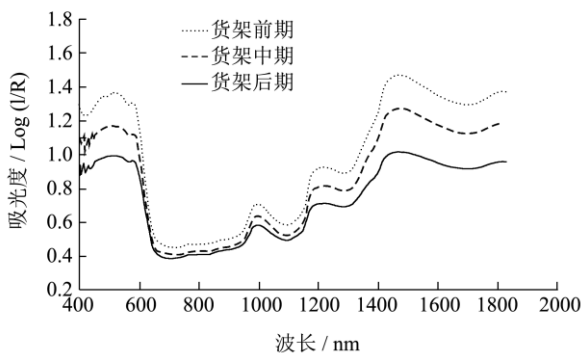


图 3 不同货架期的番茄光谱图

Fig.3 Tomato spectra in different shelf-life stages

2.3.3 主成分分析

试验采用主成分分析对番茄三个货架期的可见/近红外光谱进行建模, 前 2 个主成分的累计贡献率已经达到了 99.43%, 而且交互验证的剩余残差最小, 所以选用前 2 个主成分以鉴别不同货架期的番茄。通过对光

谱数据进行分析, 得到番茄光谱数据的主成分分析聚类图 (图 4), X 轴表示样本的第一主成分得分(PC1), Y 轴表示样本第二主成分得分(PC2)。图 4 定性的描述了三个货架期的番茄的特征差异。货架前期, 货架中期和货架后期的主成分分类如图所示, 从图中可以看出主成分 PC1 和 PC2 的值随着货架期贮存时间的增长而不断增加, 根据 PC1 和 PC2 的组合作用可以容易的区分三个不同货架期的番茄, 分类率为 97%, 以上主成分分析结果说明采用可见/近红外光谱可以检测番茄的不同货架期, 每两个货架期的边界区分不明显(占分类率的 3%), 即番茄货架期在第三天和第四天, 第六天和第七天的变化区分不明显, 这可能是由于番茄的货架期是连续变化的, 番茄样本来自不同的品种, 番茄样本的成熟过程或多或少存在差异。

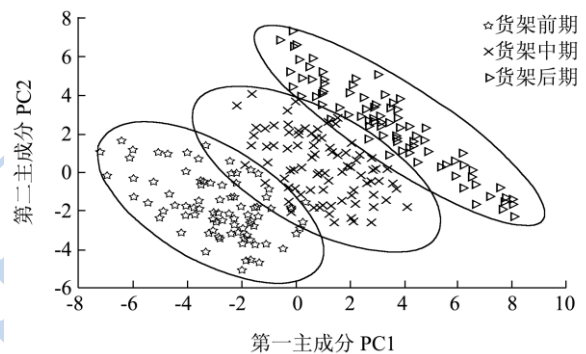


图 4 不同货架期番茄的主成分聚类图

Fig.4 Principal component scores scatter plot of tomato in different shelf-life stages

3 结论

本文应用质地多面分析方法 (TPA) 和可见/近红外 (Vis/NIR) 光谱分析番茄果实在采后货架期的质地变化。通过 TPA 测试方法测得的典型的质构特性曲线, 由该曲线计算出番茄的硬度, 粘附性, 内聚性, 弹性, 胶粘性, 咀嚼性等参数。首先, 分析了番茄各参数在货架期的变化, 在货架期番茄的硬度, 内聚性胶粘性 and 咀嚼性呈下降趋势, 番茄的弹性下降趋势缓慢, 而粘附性在货架后期没有下降趋势。另外, 分析了各个参数之间的相关程度, 计算结果表明, 番茄的硬度和内聚性显著相关 (P<0.01), 番茄的咀嚼性和其他质构特性都存在相关关系 (P<0.05)。通过对番茄的 9 d 货架期的质构特性尤其硬度的变化趋势分析, 可将番茄的货架期分为货架前期, 货架中期和货架后期。对这三个货架期的番茄采用了可见/近红外光谱结合主成分分析方法进行了研究, 结果表明不同货架期的番茄光谱吸光度和主成分有明显的变化, 采用可见/近红外光谱和主成分分析方法可以检测番茄的不同货

架期。

参考文献

- [1] 袁成龙,董晓颖,李培环,等.TPA质构分析硬肉桃果实采后质地变化[J].食品科学,2012,34(20):273-276
YUAN Cheng-long, DONG Xiao-ying, LI Pei-huan, et al. Changes in texture properties of crisp peach during postharvest storage by texture profile analysis [J]. Food Science, 2012, 34(20): 273-276
- [2] 潘秀娟,屠康.质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J].农业工程学报,2005,21(3):166-170
PAN Xiu-juan, TU Kang. Comparison of texture properties of post-harvested apples using texture profile analysis [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21 (3): 166-170
- [3] Sirisomboon P, Tanaka M, Kojima T. Evaluation of tomato textural mechanical properties [J]. Journal of Food Engineering. 2012, 111(4): 618-624
- [4] Rizzolo A, Vanolia M, Spinelli L, et al. Sensory characteristics, quality and optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy in stored apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(1), 1-12
- [5] Giménez A, Ares F, Ares G. Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches [J]. Food Research International, 2012, 49(1): 311-325
- [6] Escobedo-Avellaneda Z, Velazquez G, Torres J A, et al. Inclusion of the variability of model parameters on shelf-life estimations for low and intermediate moisture vegetables [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 47(2): 364-370
- [7] De Ketelaere B, Lammertyn J, Molenberghs G, et al. Tomato cultivar grouping based on firmness change, shelf life and variance during postharvest storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34(2): 187-201
- [8] Flores K, Sánchez, M T, Pérez-Marín D, et al. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(2): 311-318
- [9] Gómez A H, Wang J, Hu G X, et al. Monitoring storage shelf life of tomato using electronic nose technique [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(4): 625-631
- [10] Zambre S S, Venkatesh K V, Shah N G. Tomato redness for assessing ozone treatment to extend the shelf life [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(3): 463-468
- [11] 张瑜,谈黎虹,曹芳,等.基于多源光谱分析技术的鱼油品牌判别方法研究[J].现代食品科技,2014,30(10):263-267
ZHANG Yu, TAN Li-hong, CAO Fang, et al. Study on brand discrimination of fish oil based on multiple spectroscopy techniques [J]. Modern Food Science & Technology, 2014, 30(10): 263-267
- [12] 吴桂芳,黄凌霞,何勇.葡萄浆果糖度可见/近红外光谱检测的研究[J].光谱学与光谱分析,2008,28(9):2090-2093
WU Gui-fang, HUANG Ling-xia, HE Yong. Research on the sugar content measurement of grape and berries by using vis/nir spectroscopy technique [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(9): 2090-2093
- [13] Guifang Wu, Chunguang Wang. Investigating the effects of simulated transport vibration on tomato tissue damage based on vis/NIR spectroscopy [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 98(12): 41-47
- [14] 张晓伟,王加华,王昌禄,等.基于近红外光谱技术检测红曲米中的红曲色素[J].现代食品科技,2014,30(5):273-279.
ZHANG Xiao-wei, WANG Jia-hua, WANG Chang-lu, et al. Determination of monascus pigments in red yeast rice using near infrared spectroscopy [J]. Modern Food Science & Technology, 2014, 30(5): 273-279