

香蕉催熟过程中生理生化指标变化分析及其品质评价模型的建立

陈丽花, 郝德兰, 夏彬, 王琴

(上海应用技术大学食品科学与工程系, 上海 201418)

摘要: 本课题以香蕉的色泽、香味、口感、伤病、脱柄情况等为感官指标, 同时分析了其硬度、过氧化物酶活性以及可溶性固形物、总可溶性糖、Vc、总可滴定酸和单宁含量等品质及生理生化指标, 确定了香蕉的最佳催熟条件为在新采摘的青香蕉表面均匀喷洒浓度为 1000 mg/L 的乙烯利 1% (V/W, 乙烯利稀释液体积/香蕉重量), 在湿度 90%、温度 19 °C 下恒温恒湿催熟 5 d, 此时香蕉的感官评分为 96.00 分; 以香蕉的生理生化指标为分量因子对以感官评价分数为基础的香蕉成熟品质进行偏最小二乘 (PLS) 回归分析, 建立了香蕉成熟品质评价模型, 发现影响香蕉成熟品质的生理生化指标依次为总可溶性糖含量、总可滴定酸含量、单宁含量、硬度、Vc 含量、过氧化物酶活性和可溶性固形物含量。

关键词: 香蕉; 催熟条件; 生理生化指标; 成熟品质; 偏最小二乘 (PLS)

文章编号: 1673-9078(2018)10-147-155

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.10.021

Analysis of Changes of Physiological and Biochemical Parameters in Banana Ripening Process and Establishment of Banana Quality Evaluation Model

CHEN Li-hua, HAO De-lan, XIA Bin, WANG Qin

(Department of Food Science and Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China)

Abstract: In this work, the color, aroma, taste, injury, and detachment of banana were evaluated as sensory indices. The physiological and biochemical parameters of banana, such as the hardness, peroxidase activity, the amount of soluble solids, total soluble sugar, Vc, total titrated acids and tannins under different temperature and concentration of ethephon were measured. The best ripening conditions for banana were spraying 1% 1000 mg/L ethephon (V/W, ethephon diluent volume/banana weight) evenly on banana surface, and saved under 90% RH and 19 °C for 5d. The maturity and quality of banana reach the best state. The banana got the sensory attributes score of 96.00. The relationships between sensory attributes score and the seven physiological and biochemical parameters were evaluated by means of partial least squares (PLS) to establish a mature quality evaluation model of banana. The significant physiochemical factors were the content of total soluble sugar, total titratable acid, tannin, hardness, Vc content, peroxidase activity, soluble solids content.

Key words: banana; ripening conditions; physiological and biochemical parameters; mature quality; partial least squares (PLS)

香蕉属于典型的呼吸跃变型水果, 刚采摘的香蕉一般质地坚硬, 必须经过后熟果皮才能逐渐由绿转黄、果肉由硬变软、大量淀粉转化为可溶性糖、果肉易与果皮分离并出现香味, 才成熟可食。如需在短时间内供应黄熟的可食香蕉则必须进行人工催熟^[1]。乙烯利因其安全、便捷、高效等优点而在香蕉催熟中得到广泛应用^[2]。果实的硬度、色泽指数、过氧化物酶活性及总可溶性糖、总可滴定酸、可溶性固形物、Vc 和单

收稿日期: 2018-07-05

作者简介: 陈丽花 (1971-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物资源综合利用

宁等生理生化指标的含量是衡量果实品质的重要指标, 通过测定这些指标的变化可以了解果实成熟过程中的生理状况, 从而对果实催熟与贮藏环境、销售期限等进行有效调控^[3]。目前国际上普遍采用色卡对香蕉进行成熟度的评定, 我国香蕉国家规定了香蕉收购的等级规格、质量指标、检验规则、方法及包装要求^[1,4], 但一直未形成严谨精确的、包含多变量品质及生理生化指标的香蕉成熟品质评价模型。偏最小二乘回归分析 (PLS) 是一种新型的多元统计数据分析方法, 它集多元线性回归分析、主成分分析和典型相关分析等多种基本分析功能于一体, 能在样本个数较少以及

自变量存在多重相关性的条件下进行建模,且模型对实际的解释力极强^[5]。因此,用偏最小二乘回归分析方法进行香蕉成熟品质回归分析,其结论将更加可靠。

本课题在研究香蕉催熟过程中感官及生理生化指标变化的基础上确定了最佳催熟条件,以香蕉生理生化指标为分量因子对香蕉成熟品质进行偏最小二乘(PLS)回归分析,建立了香蕉成熟品质的评价模型。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料:青果香蕉(青绿采摘,果实新鲜饱满)及市售成熟香蕉(*Musa acuminata* (AAA)),产自云南玉溪。

实验试剂:2-6-二氯靛酚钠、酚酞指示剂、蒽酮试剂、一水合没食子酸、福林酚、碳酸钠、愈创木酚:均为分析纯,上海泰坦科技股份有限公司;2-氯乙基膦酸(乙烯利):分析纯,上海伊卡生物技术有限公司。

1.2 主要仪器与设备

折光仪: E-Line 型,东南科仪有限公司;数显式硬度计: GY-4 型,浙江托普仪器有限公司;恒温恒湿箱: JYH-66 型,上海佳语科学仪器有限公司;可见分光光度计: JH-12-10 型,上海菁华科技仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 香蕉催熟条件设定

1.3.1.1 温度对香蕉催熟效果的影响

每组取 21 支大小形状均一、无病虫害、新采摘的饱满青果香蕉,每隔 24 h 喷洒 1000 mg/L 的乙烯利稀释液后放入果蔬透明储存袋中并稍封于纸箱,置于湿度为 90% 的恒温恒湿箱中。每隔 24 h 对储藏温度分别为 16 °C、19 °C、22 °C、25 °C 条件下香蕉的硬度、过氧化物酶活性及可溶性固形物、总可溶性糖、Vc、总可滴定酸和单宁含量进行 3 次平行测定,同时对香蕉的成熟品质进行感官评定。

1.3.1.2 乙烯利浓度对香蕉催熟效果的影响

每隔 24 h 对符合要求的青果香蕉喷洒浓度分别为 500 mg/L、750 mg/L、1000 mg/L、1250 mg/L、1500 mg/L 的乙烯利稀释液后放入果蔬透明储存袋中并稍封于纸箱,置于湿度 90%、温度 19 °C 的恒温恒湿箱中,其他实验条件设定及测试指标同 1.3.1.1。

1.3.2 香蕉生理生化指标测定

硬度: 硬度计法。可溶性固形物含量: 折光仪法^[6]。总可溶性糖含量: 蒽酮-硫酸比色法^[4]。Vc 含量: 2,6-二氯靛酚滴定法^[7]。总可滴定酸含量: 酸碱中和滴定法^[4]。单宁含量: 分光光度法^[8]。过氧化物酶活性: 愈创木酚法^[9]。

1.3.3 香蕉成熟品质评定

根据标准《香蕉》^[4]中对色泽、香味、口感、伤病虫害、脱柄情况的要求设定了香蕉成熟品质评价评分标准(见表 1),每个指标 20 分,满分 100 分。让 10 位有经验的品评员根据标准进行评分,取平均分,得分越高说明香蕉成熟品质越佳。

表 1 香蕉成熟品质评分标准

Table 1 Scoring criteria of banana maturity quality

项目	评分/分				
	1~4	5~8	9~12	13~16	17~20
色泽	果皮青绿,无光泽。	果皮色黄绿,无光泽。	果皮色淡黄,略有光泽,果端、果柄青绿。	果皮色一般黄,稍有光泽,果端、果柄青绿。	果皮金黄有光泽,果端、果柄稍绿。
香味	基本无香味有异味。	基本无香味无异味。	略有香蕉的香甜芳香。	淡香,有香蕉的香甜芳香。	香味浓郁,有香甜的香蕉芳香。
口感	果肉坚硬,无甜味,涩味重。	果肉硬挺,无甜味,有较重涩味。	果肉硬度适中,略有甜味,有涩味。	果肉稍软烂,少许甜味,稍有涩味。	果肉柔软糯滑,香甜适口,不涩口,不软烂。
伤病虫害	腐烂、裂指、断指,有明显霉斑和病虫斑。	稍腐烂、裂指、断指,有明显霉斑和病虫斑。	无腐烂、裂指、断指,略有霉斑和病虫斑。	无腐烂、裂指、断指,稍有霉斑和病虫斑。	无腐烂、裂指、断指,无霉斑和病虫斑。
脱柄情况	轻摇摆有脱柄现象。	轻摇摆或脱柄,果柄变形。	轻摇摆不脱柄,果柄变形。	轻摇摆不脱柄,果柄轻微变形。	轻摇摆不脱柄,果柄不变形。

1.3.4 香蕉成熟品质评价模型的建立

以香蕉成熟过程中品质及生理生化指标硬度(x₁)、可溶性固形物含量(x₂)、总可溶性糖含量(x₃)、Vc 含量(x₄)、总可滴定酸含量(x₅)、单宁含量(x₆)、过氧化物酶

活性(x₇)为自变量因子对每组香蕉样品每 24h 的成熟品质评价得分(Y)进行响应,做偏最小二乘(PLS)回归分析^[10]。

1.3.5 数据统计分析

本试验所有数据均采用 Excel、Minitab18 以及 Origin85 版软件进行数据分析与处理, 结果采用平均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 催熟温度对香蕉生理生化指标的影响

影响香蕉催熟的因素主要有温度、乙烯利浓度、O₂ 和 CO₂ 气体浓度等, 其中温度对催熟进程及香蕉品质及生理生化指标变化的影响最为关键^[11]。因此, 探究香蕉催熟最佳温度不仅有利于调控催熟进程, 还可提高香蕉食用品质。为了解催熟温度对香蕉生理生化指标的影响, 采用方法 1.3.2 进行实验。

2.1.1 对硬度的影响

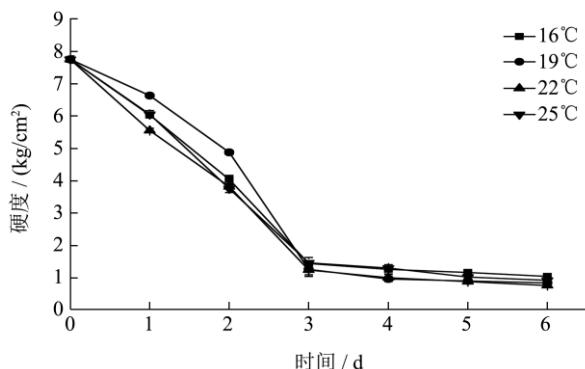


图1 催熟温度对香蕉硬度的影响

Fig.1 Effect of ripening temperature on banana hardness

硬度是反映香蕉成熟程度的重要指标, 对香蕉的食用品质起着重要作用。催熟温度对香蕉硬度的影响见图 1 所示。由图 1 可知, 在实验时间范围内, 随着催熟时间的延长, 香蕉的硬度皆呈下降趋势, 这与苗红霞等^[12]的研究结果一致。其中, 催熟前 3 d 香蕉的硬度从 7.75 kg/cm² 迅速下降至 1.21~1.43 kg/cm², 3 d 后香蕉的硬度下降趋势变缓; 催熟 6 d 后香蕉的硬度为 0.74~1.02 kg/cm² 之间, 略高于 Tee Yei Kheng 等^[13]对成熟香蕉硬度测定为 0.40 kg/cm² 的结果。催熟温度为 19 °C 时香蕉硬度的下降幅度最大, 催熟 6 d 后, 下降率达到 89.42%, 但在相同浓度的乙烯利作用下, 不同温度条件下香蕉的硬度降低趋势相同。

2.1.2 对可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物包括可溶性糖类、淀粉、纤维素和果胶等, 是影响果实风味和营养的主要成分, 也是确定果实采摘期和成熟度的重要指标。催熟温度对香蕉可溶性固形物含量的影响见图 2 所示。

由图 2 可知, 在实验时间范围内, 随着催熟时间的延长, 香蕉的可溶性固形物含量皆呈上升趋势, 这与康效宁等^[14]的研究结果一致。其中 22 °C 下催熟时

香蕉的可溶性固形物积累量从开始催熟时的 1.21% 达到 6 d 后的 21.97%, 高于其他催熟温度下的可溶性固形物积累量。

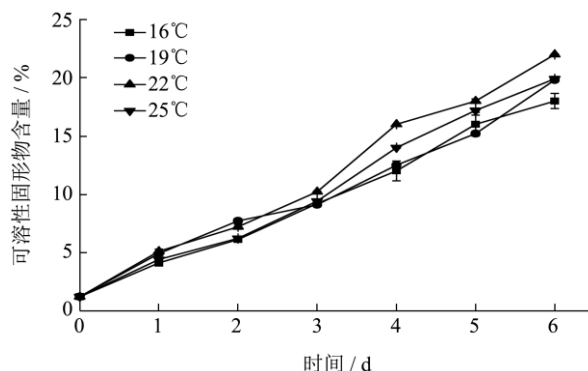


图2 催熟温度对香蕉可溶性固形物含量的影响

Fig.2 Effect of ripening temperature on soluble solids content of banana

2.1.3 对总可溶性糖含量的影响

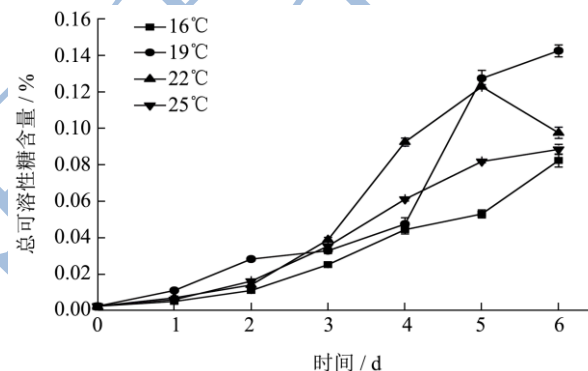


图3 催熟温度对香蕉总可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effect of ripening temperature on total soluble sugar content of banana

可溶性糖能为肉质果实提供能源物质, 维持一定的渗透压, 植物组织中可溶性糖越多, 抗性越强。催熟温度对香蕉总可溶性糖含量的影响见图 3 所示。由图 3 可知, 在实验时间范围内, 随着催熟时间的延长, 各温度条件下香蕉总可溶性糖含量总体呈增加趋势, 这与苗红霞等^[15]的研究结果一致。16 °C、19 °C 和 25 °C 条件下催熟香蕉总可溶性糖含量逐渐增加; 22 °C 条件下出现的催熟后期香蕉总可溶性糖含量减少的现象, 可能是此温度条件下会导致部分可溶性糖的进一步分解。19 °C 条件下总可溶性糖含量从开始催熟时的 0.002% 达到 0.14%, 高于其他催熟温度。说明温度过高或过低相对而言都不适宜香蕉中的淀粉转化为可溶性糖, 19 °C 下催熟更有助于香蕉总可溶性糖的积累。

2.1.4 对 Vc 含量的影响

在生物体内 Vc 是一种抗氧化剂, 有利于保护肌体免于自由基的威胁, Vc 含量的变化也能够反映香蕉的成熟度和食用品质。催熟温度对香蕉 Vc 含量的影

响见图 4 所示。

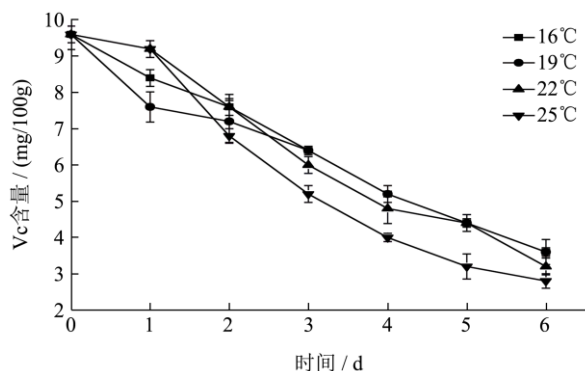


图 4 催熟温度对香蕉 Vc 含量的影响

Fig.4 Effect of ripening temperature on Vc content of banana

由图 4 可知，在实验时间范围内，随着催熟时间的延长，不同催熟温度下的香蕉 Vc 含量皆呈逐步下降趋势，这与廉韶斌等^[16]的研究结果一致。25 °C 催熟处理下的香蕉 Vc 含量损失率最高，从 9.62 mg/100 g 降为 2.80 mg/100 g；19 °C 催熟的香蕉 Vc 含量损失率最低，催熟 6 d 后降至 3.60 mg/100 g，表明 19 °C 更有助于香蕉中 Vc 含量的保持，但低于廉韶斌^[16]喷洒 400 mg/L 乙烯利置于 15 °C、湿度 90% 催熟条件下对香蕉中 Vc 含量为 6.00 mg/100 g 的测定结果，这可能是其所用乙烯利浓度较低的原因。

2.1.5 对总可滴定酸含量的影响

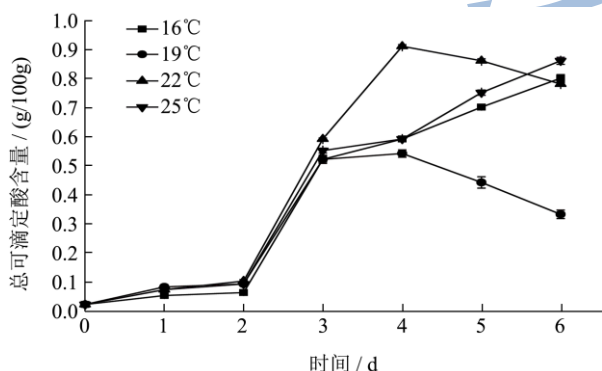


图 5 催熟温度对香蕉总可滴定酸含量的影响

Fig.5 Effects of ripening temperature on the total titratable acid content of bananas

可滴定酸度是影响果实风味品质的重要因素，果实中游离态的有机酸与糖一起影响果实的糖酸比，这是决定果实风味的重要因素之一。催熟温度对香蕉总可滴定酸含量的影响见图 5 所示。由图 5 可知，在实验时间范围内，随着催熟的进行，16 °C、25 °C 条件下催熟香蕉总可滴定酸含量持续上升，19 °C、22 °C 条件下香蕉总可滴定酸含量呈先增长后下降的趋势，22 °C 条件下催熟 4 d 后的香蕉总可滴定酸含量从 0.02 g/100 g 升为 0.91 g/100 g，与周兆禧等^[17]对成熟香蕉的总可滴定酸含量 0.86 g/100 g 的测定结果接近。在催

熟 6 d 后，19 °C 催熟香蕉的总可滴定酸含量又下降至 0.35 g/100 g。同时，感官评价发现在 19 °C 催熟 5 d 香蕉的总可滴定酸含量为 0.43 g/100 g 时香蕉的成熟品质最佳，此时香蕉总可滴定酸含量相对较低。

2.1.6 对单宁含量的影响

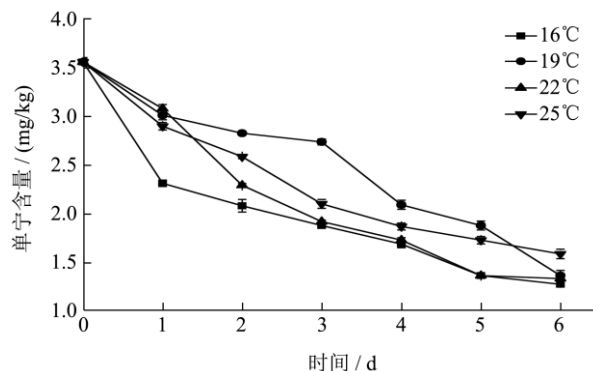


图 6 催熟温度对香蕉单宁含量的影响

Fig.6 Effects of ripening temperature on tannin content of banana

单宁是具有重要生理活性的多酚类化合物的总称，在果蔬中普遍存在，是果蔬涩味主要的来源。香蕉、梨、山楂等水果未成熟前有强烈的涩味，成熟后则涩味消失，这与单宁含量变化有关。单宁含量对水果风味影响很大，并与糖酸比的比例适当时共同赋予水果酸甜爽口的风味。催熟温度对香蕉中单宁含量的影响见图 6 所示。由图 6 可知，在实验时间范围内，随着催熟时间的延长，不同催熟温度下的香蕉单宁含量皆呈下降趋势，这与谭思敏等^[18]的研究结果一致。催熟 5 d 后 19 °C 和 25 °C 条件下的单宁含量相对较高；但催熟 6 d 后，25 °C 条件下的香蕉单宁含量相对较高，且下降幅度最小，不同催熟条件下香蕉单宁含量从 3.55 mg/kg 分别下降为 1.27~1.58 mg/kg，结合感官评价发现 19 °C 条件下催熟 5 d 香蕉的单宁含量为 1.87 mg/kg 时香蕉的成熟品质最佳，此时香蕉单宁含量相对较高。

2.1.7 对过氧化物酶活性的影响

过氧化物酶与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等都有密切关系，在植物生长发育过程中它的活性可以反映某一时期植物体内代谢的变化。催熟温度对香蕉过氧化物酶活性的影响见图 7 所示。

由图 7 可知，在实验时间范围内，随着催熟时间的延长，不同催熟温度下的香蕉过氧化物酶活性均呈先升高后降低的趋势，这与廉韶斌等^[16]的研究结果一致。随着催熟的推进，19 °C 和 22 °C 催熟 4 d，香蕉过氧化物酶活性达到峰值，分别从 1.05 U/g 升为 3.35 U/g、3.05 U/g，而在 16 °C 和 25 °C 下催熟 5 d 香蕉的氧化物酶活性才分别达到 3.65 U/g 和 3.90 U/g 的峰值，

表明不同催熟温度对香蕉过氧化物酶活性的高低有很大的影响。

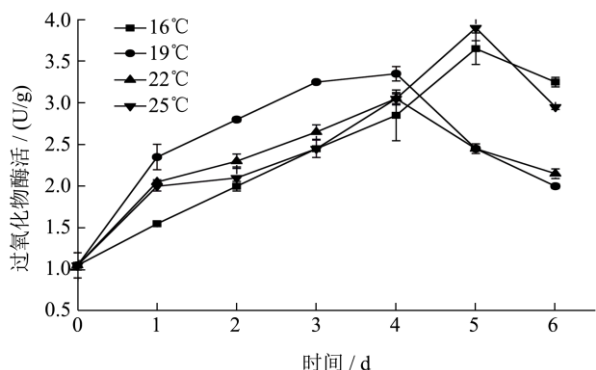


图7 催熟温度对香蕉过氧化物酶活性的影响

Fig.7 Effect of ripening temperature on the peroxidase activity of banana

2.1.8 对香蕉成熟品质感官评分的影响

表2 温度对香蕉成熟品质感官评分的影响

Table 2 Ripening quality evaluation scores of banana ripening samples

温度/°C	放置天数/d						
	0	1	2	3	4	5	6
16	50.67±1.15 ^a	53.33±5.03 ^a	61.00±3.00 ^a	65.43±4.93 ^a	75.13±2.08 ^a	85.67±3.51 ^a	81.33±6.03 ^a
19	50.67±1.15 ^a	56.01±4.39 ^a	60.45±1.53 ^a	76.67±6.66 ^b	84.33±3.21 ^b	96.00±3.00 ^b	92.56±3.79 ^b
22	50.67±1.15 ^a	51.00±5.29 ^a	63.33±3.21 ^a	69.67±2.52 ^a	75.19±5.03 ^a	86.29±2.89 ^a	83.30±2.52 ^a
25	50.67±1.15 ^a	57.00±1.00 ^a	64.33±2.31 ^a	64.21±3.06 ^c	68.65±1.54 ^c	70.33±4.93 ^c	64.00±1.53 ^c

注：数据上标字母相同表示同列数据间无显著差异，不同则表示有显著差异 (p<0.05)。

2.2 乙烯利浓度对香蕉生理生化指标的影响

尚政等研究认为乙烯利只作为启动果实内源乙烯释放的引导因子，分解后释放出乙烯，通过乙烯促进植物体内有关成熟的酶的活性，从而达到促进果实成熟的目的。据文献报道^[21]，除温度外，乙烯利浓度对催熟香蕉的品质及其生理生化指标的影响也较为关键。目前市场上普遍采用乙烯利作为香蕉催熟剂，浓度一般控制在 1000~2000 mg/kg^[22]。为了解乙烯利浓度对香蕉生理生化指标的影响，采用方法 2.2.1.2 进行实验。

2.2.1 对香蕉硬度的影响

不同乙烯利浓度对香蕉硬度的影响见图 8 所示。由图 8 可知，在实验时间范围内，随着催熟的进行，无论是空白对照组还是经不同浓度乙烯利催熟的香蕉，其硬度均呈逐步下降趋势，实验组下降更明显，并在第 3 d 急剧下降。对照组青绿香蕉放置 6 d 后，硬度降为 5.15 kg/cm²；而在实验的乙烯利浓度范围内，催熟 6 d 后香蕉的硬度从 7.75 kg/cm² 下降到 0.72~0.92 kg/cm² 之间，低于牛锐等^[2]的研究结果，且不同浓度的乙烯利处理对催熟香蕉硬度的下降幅度基本无影

食品的外形、色泽、滋味、气味、均匀性等感官指标往往是描述和判断食品质量最直观的指标，科学合理的感官指标可以反映该食品的特征品质和质量要求，直接影响到对食品品质的界定^[19]。温度对香蕉成熟品质感官评分的影响见表 2。

由表 2 可知，不同温度下香蕉催熟 1 d 后的感官评分相近，随着催熟进程的推进，各温度条件下的感官评分都是呈现升高，催熟 5 d 后达到峰值，而后降低的趋势；25 °C 条件下前 2 d 的催熟效果好于其他温度，但从第 3 d 开始出现青皮熟现象，严重影响了香蕉的成熟品质，与陈维信等^[20]的研究结果一致。在香蕉表面均匀喷洒 1000 mg/L 的乙烯利 1%、保持湿度为 90%、19 °C 下催熟 5 d 香蕉的评分最高，为 96.00 分。结合前面的研究结果，发现此时香蕉的糖酸比较高，而过氧化物酶活性相对较低。

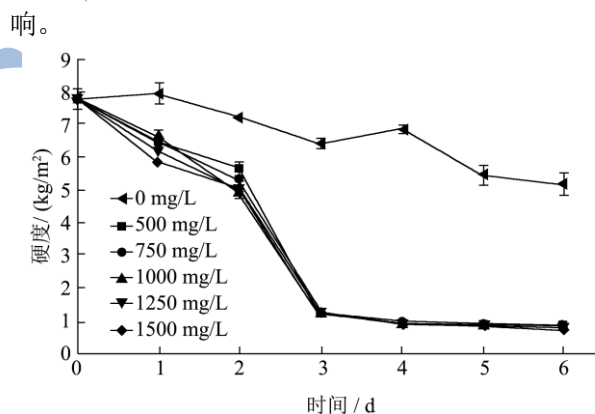


图8 乙烯利浓度对香蕉硬度的影响

Fig.8 Effect of ethephon concentration on banana hardness

2.2.2 对可溶性固形物含量的影响

不同乙烯利浓度对香蕉可溶性固形物含量的影响见图 9 所示。由图 9 可知，在实验时间范围内，随着催熟的进行，无论是空白对照组还是经不同浓度乙烯利催熟的香蕉，其可溶性固形物含量皆呈稳步上升趋势，与对照组相比，实验组上升更明显。催熟 6 d 后，不同乙烯利浓度催熟的香蕉可溶性固形物从初始的 1.21% 分别提高到 17.23%、18.17%、19.87%、20.73% 和 21.17%，与牛锐等^[2]采用乙烯熏蒸剂使香蕉可溶性

固形物含量达到 20.00%的测定结果相近;而对照组的香蕉可溶性固形物含量仅为 10.48%。催熟香蕉的可溶性固形物含量随着乙烯利浓度的升高而有所增加,表明在实验范围内提升乙烯利处理浓度能够增加香蕉可溶性固形物含量。

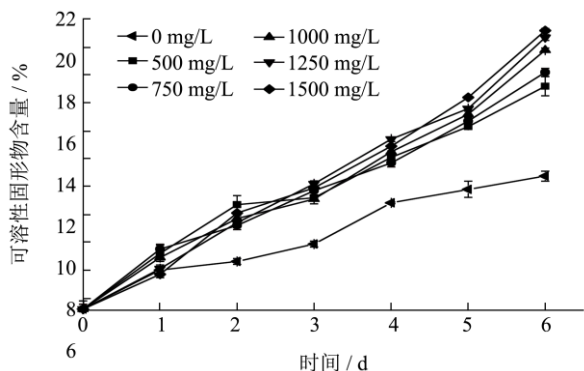


图9 乙烯利浓度对香蕉可溶性固形物含量的影响

Fig.9 Effect of ethephon concentration on soluble solids content of banana

2.2.3 对总可溶性糖含量的影响

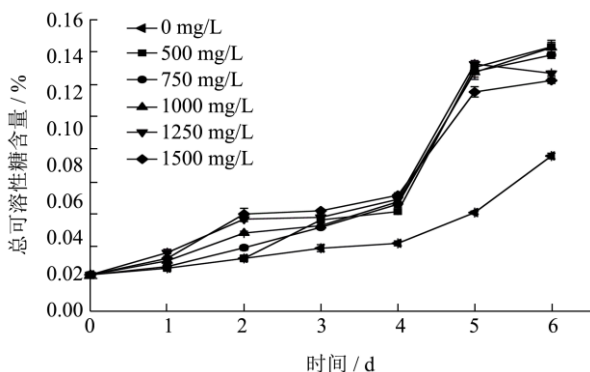


图10 乙烯利浓度对香蕉总可溶性糖的影响

Fig.10 Effect of ethephon concentration on total soluble sugar in banana

不同乙烯利浓度对香蕉总可溶性糖含量的影响见图 10 所示。由图 10 可知,在实验时间范围内,随着催熟时间的延长,无论是对照组还是经不同浓度乙烯利催熟的香蕉,其总可溶性糖含量均呈上升趋势,实验组效果更加明显。实验组的总可溶性糖含量在催熟第 5 d 出现大幅升高,催熟 6 d 后,香蕉的总可溶性糖含量达到 0.14%,而对照组仅为 0.08%。其中乙烯利浓度在 500 mg/L~1000 mg/L 内更有利于催熟香蕉总可溶性糖的积累。

2.2.4 对 Vc 含量的影响

不同乙烯利浓度对香蕉 Vc 含量的影响见图 11 所示。由图 11 可知,在实验时间范围内,随着催熟时间的延长,无论是空白对照组还是经不同浓度乙烯利催熟的香蕉,其 Vc 含量均呈下降趋势,实验组效果更加明显。催熟 6 d 后,实验组 Vc 含量保持在 2.8~3.6 mg/100 g,低于牛锐等^[2]在 18 °C、湿度 85~90% 喷洒 500 mg/kg 乙烯利溶液催熟 6 d 后 6.00 mg/100 g 的测定结果;相对而言,经 1000 mg/L 乙烯利浓度催熟处理后香蕉的 Vc 含量损失率最低,表明 1000 mg/L 乙烯利浓度条件相对更有助于香蕉中 Vc 含量的保持。

熟香蕉的 Vc 含量均呈下降趋势,实验组效果更加明显。催熟 6 d 后,实验组 Vc 含量保持在 2.8~3.6 mg/100 g,低于牛锐等^[2]在 18 °C、湿度 85~90% 喷洒 500 mg/kg 乙烯利溶液催熟 6 d 后 6.00 mg/100 g 的测定结果;相对而言,经 1000 mg/L 乙烯利浓度催熟处理后香蕉的 Vc 含量损失率最低,表明 1000 mg/L 乙烯利浓度条件相对更有助于香蕉中 Vc 含量的保持。

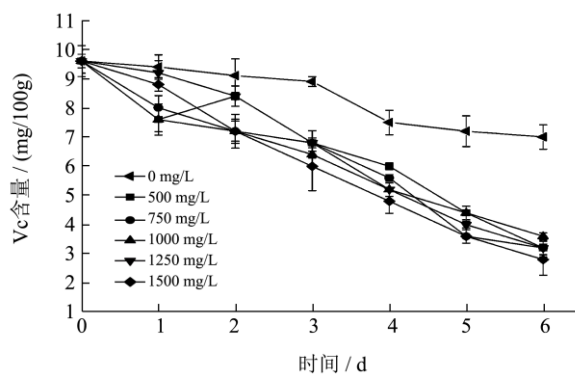


图11 乙烯利浓度对香蕉 Vc 含量的影响

Fig.11 Effect of ethephon concentration on Vc content of banana

2.2.5 对总可滴定酸含量的影响

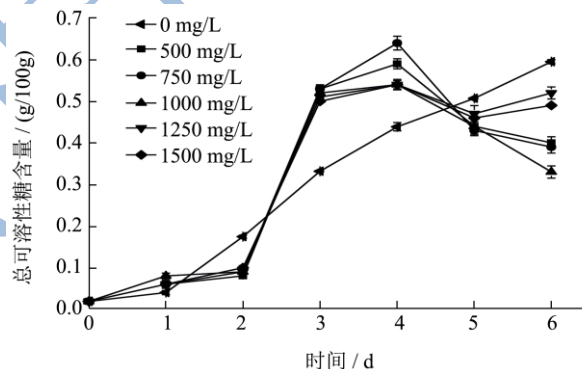


图12 乙烯利浓度对香蕉总可滴定酸含量的影响

Fig.12 Effect of ethephon concentration on total titratable acid content in bananas

不同乙烯利浓度对香蕉总可滴定酸含量的影响见图 12 所示。由图 12 可知,在实验时间范围内,随着催熟时间的延长,所有实验组香蕉的总可滴定酸含量基本呈先上升后下降趋势,皆在催熟第 3 d 出现大幅增长,总体与乙烯利浓度关系不大。催熟 5 d 时,不同乙烯利浓度下香蕉的总可滴定酸含量相近,均从 0.02 g/100 g 上升到在 0.43~0.47 g/100 g 之间,略低于 Tee Yei Kheng 等^[13]对香蕉催熟后有机酸含量为 0.79 g/100 g 的测定结果。同时,在乙烯利浓度 1000 mg/L 下催熟 5 d 时,香蕉感官评分最高,品质达到最佳。

2.2.6 对单宁含量的影响

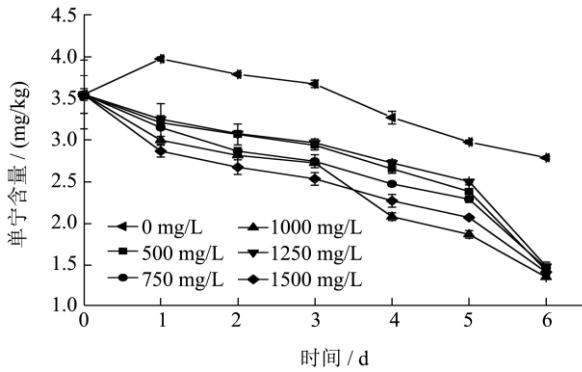


图 13 乙烯利浓度对香蕉单宁含量的影响

Fig.13 Effect of ethephon concentration on banana tannin content

不同乙烯利浓度对香蕉单宁含量的影响见图 13 所示。由图 13 可知,在实验时间范围内,随着催熟时间的延长,无论是空白对照组还是经不同浓度乙烯利催熟的香蕉,其单宁含量皆呈下降趋势,从初始的 3.55 mg/kg 下降到第 6 d 后时 1.36~1.49 mg/kg 之间,这与尚政等^[21]用 1500 mg/kg 处理香蕉 5 d 后得到的单宁含量为 1.42 mg/kg 的结果相近。表明在 500 mg/L~1500 mg/L 范围内不同乙烯利浓度催熟 6 d 对香蕉单宁含量最终无明显影响。

2.2.7 对过氧化物酶活性的影响

不同乙烯利浓度对香蕉过氧化物酶活性的影响见图 14 所示。由图 14 可知,在实验时间范围内,随着催熟时间的延长,无论是空白对照组还是经不同浓度乙烯利催熟的香蕉,其过氧化物酶活性基本呈先上升后下降趋势,且实验组的过氧化物酶活性均高于对照组。香蕉中过氧化物酶活性从 1.05 U/g 至催熟 4 d 后达到峰值分别为 2.50 U/g、3.00 U/g、3.35 U/g、3.20 U/g、3.20 U/g,之后开始下降;过氧化物酶活性基本随着乙烯利浓度的升高而增强,表明相对较高的乙

烯利浓度能够增强香蕉中的过氧化物酶活性。

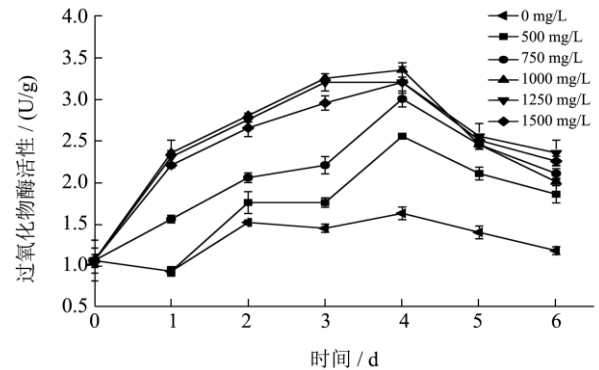


图 14 乙烯利浓度对香蕉过氧化物酶活性的影响

Fig.14 Effect of ethephon concentration on peroxidase activity of banana

2.2.8 对香蕉成熟品质感官评分的影响

不同乙烯利浓度对香蕉成熟品质感官评分的影响见表 3。由表 3 可知,乙烯利浓度处理对催熟过程中的香蕉品质影响虽然比温度的影响小,但不同乙烯利浓度之间仍有较大差异。当香蕉表面均匀喷洒 1000 mg/L 的乙烯利 1%、湿度 90%、温度 19 °C 下催熟 5 d,香蕉的评分最高,与 2.1.8 所得结论一致。

此条件下,香蕉果皮金黄有光泽,果端与果柄稍绿,有香甜浓郁的香蕉芳香;果肉柔软糯滑、香甜适口、不涩口、不软烂,无腐烂、裂指、断指、霉斑和病虫斑,轻摇果柄不脱、不变形;香蕉硬度为 0.87 kg/cm²,总可溶性糖含量为 0.13%,总可滴定酸含量为 0.43 g/100 g,糖酸比为 0.30;以上感官与理化指标均符合香蕉标准^[4]。另外,香蕉果肉中的可溶性固形物为果肉的 15.23%,Vc 含量为 4.27 mg/100 g,单宁含量为 1.87 mg/kg,过氧化物酶活性为 2.47 U/g。另外,在香蕉表面均匀喷洒 1000 mg/L 的乙烯利 1%符合《食品安全国家标准·食品中农药最大残留限量》^[23]。

表 3 乙烯利浓度对香蕉成熟品质感官评分的影响

Table 3 Ripening quality evaluation scores of banana ripening samples

乙烯利浓度/(mg/L)	放置天数/d						
	0	1	2	3	4	5	6
500	50.67±1.15 ^a	53.33±7.57 ^a	60.00±4.00 ^a	65.67±1.15 ^a	64.00±6.56 ^a	79.00±4.00 ^{ab}	79.33±2.52 ^a
750	50.67±1.15 ^a	55.00±4.36 ^a	57.67±2.08 ^a	71.00±2.65 ^{ab}	71.66±2.31 ^a	95.00±4.36 ^c	80.00±6.00 ^a
1000	50.67±1.15 ^a	56.00±4.39 ^a	60.33±1.53 ^a	76.67±6.66 ^b	84.33±3.21 ^b	96.00±3.00 ^c	92.67±3.79 ^b
1250	50.67±1.15 ^a	55.00±0.00 ^a	61.33±6.11 ^a	69.67±5.69 ^{ab}	71.00±2.65 ^a	84.00±5.29 ^b	69.67±2.89 ^c
1500	50.67±1.15 ^a	54.00±3.61 ^a	62.33±4.04 ^a	65.67±4.51 ^a	70.00±3.46 ^a	75.67±3.21 ^a	70.33±2.08 ^c

注:数据上标字母相同表示同列数据间无显著差异,不同则表示有显著差异(p<0.05)。

2.3 香蕉成熟品质感官评价与其理化指标变化的 PLS 分析

以 2.1、2.2 部分对不同温度及乙烯利浓度下香蕉的生理生化指标和感官评分数据为依据采用 PLS 法建

立回归方程。采用逐一剔除法对回归方程进行交叉验证,根据回归方程分析香蕉品质及生理生化指标的各

自变量与因变量成熟品质感官评分之间的关系。

2.3.1 PLS 回归分析

在方差分析 $p=0.00<0.05$ 的基础上对香蕉成熟品质建立回归方程^[5], 各分量因子的回归系数见表 4 所示。由香蕉成熟品质评价模型的标准化回归系数得到香蕉品质及生理生化指标对香蕉成熟品质的主要影响因素。由回归系数可得香蕉成熟品质评价回归方程为:

$$Y=0.70-0.03x_1+0.0023x_2+1.41x_3+0.02x_4-0.11x_5-0.0$$

表 4 香蕉成熟品质回归方程的回归系数表

Table 4 Sensory attributes score standardized regression coefficient

系数	常量	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
回归系数	0.70	-0.03	0.0023	1.41	0.02	-0.11	-0.05	0.01

2.3.2 PLS 回归方程的验证

对市售成熟香蕉进行感官评分, 得分为 92 分; 同时对市售成熟香蕉的硬度等品质及生理生化指标与感官评分的关系用所得的回归方程进行验证分析, 感官评分的理论值:

$$Y=0.70-0.03 \times 0.88+0.0023 \times 19.00+1.41 \times 0.12+0.02 \times 4.00-0.11 \times 0.39-0.05 \times 0.64+0.01 \times 2.05=0.91$$

误差率为 0.01, 认为以上所得的香蕉成熟品质回归方程精准可用^[5,10], 可为香蕉催熟条件设定、贮藏过程中的品质指标预测提供科学而准确的预测模型。

3 结论

本文探究了最佳香蕉催熟条件, 测定了催熟过程中硬度、可溶性固形物、总可溶性糖、Vc、总可滴定酸、单宁含量和过氧化物酶活性等香蕉的生理生化指标, 并对每一阶段的香蕉进行了感官评价。结果表明, 在香蕉表面均匀喷洒 1000 mg/L 的乙烯利 1%, 在湿度 90%、温度 19 °C 下恒温恒湿催熟 5 d, 香蕉的成熟品质达到最佳, 此时香蕉的感官评分为 96.00 分、硬度为 0.87 kg/cm²、总可溶性糖含量为 0.13%、总可滴定酸含量为 0.43 g/100 g、糖酸比为 0.30、可溶性固形物为果肉的 15.23%、Vc 含量为 4.27 mg/100 g、单宁含量为 1.87 mg/kg、过氧化物酶活性为 2.47 U/g。以香蕉的生理生化指标对香蕉成熟品质评分进行 PLS 响应, 得到回归方程为:

$$Y=0.70-0.03x_1+0.0023x_2+1.41x_3+0.02x_4-0.11x_5-0.05x_6+0.01x_7$$

表明影响香蕉成熟品质的生理生化指标依次为总可溶性糖含量、总可滴定酸含量、单宁含量、硬度、Vc 含量、过氧化物酶活性和可溶性固形物含量, 其中可溶性固形物含量的影响极小。根据回归方程, 发现总可溶性糖含量、Vc 含量、过氧化物酶活性与香蕉成熟品质评分呈正相关, 而总可滴定酸含量、单宁含量

$$5x_6+0.01x_7, R^2=0.85$$

以上香蕉成熟品质评价回归方程表明, 香蕉成熟品质的影响因素从大到小依次为总可溶性糖含量、总可滴定酸含量、单宁含量、硬度、Vc 含量、过氧化物酶活性, 其中可溶性固形物含量的影响极小。根据回归方程, 发现总可溶性糖含量、Vc 含量、过氧化物酶活性与香蕉成熟品质评分呈正相关, 而总可滴定酸含量、单宁含量和硬度呈负相关。

和硬度呈负相关。经验证, 此回归方程准确可靠, 可用于客观、科学地预测成熟过程中的香蕉品质。

参考文献

- [1] Sonmezdag A S, Kelebek H, Selli S. Comparison of the aroma and some physicochemical properties of grand naine (*Musa acuminata*) banana as influenced by natural and ethylene - treated ripening [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2015, 38(5): 2137-2145
- [2] 牛锐, 王愈, 郝利平. 不同催熟试剂对香蕉品质及生理的影响[J]. 食品科技, 2014, 7: 61-64
NIU Rui, WANG Yu, HAO Li-ping. Effects of different ripening agents to banana quality and physiology [J]. Food Science and Technology, 2014, 7: 61-64
- [3] Kheng T Y, Ding P, Abdul Rahman N A. Determination of optimum harvest maturity and physico-chemical quality of Rastali banana (*Musa AAB Rastali*) during fruit ripening [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2011, 92(1): 171-176
- [4] GB9827-88, 中华人民共和国国家标准香蕉[S]
GB 9827-88, National Standard of People's Republic of China banana [S]
- [5] Sanaeifar A, Mohtasebi S S, Ghasemi-Varnamkhasti M, et al. Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties [J]. Measurement, 2016, 82: 105-114
- [6] 廉韶斌, 郝利平, 王愈. 不同温度下香蕉催熟过程中品质变化的研究[J]. 食品科技, 2014, 12: 54-58
LIAN Shao-bin, HAO Li-ping, WANG Yu. Study on the quality changes of banana ripening process in different temperature [J]. Food Science and Technology, 2014, 12: 54-58
- [7] GB5009.86-2016, 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测

- 定[S]
GB 5009.86-2016, National Food Safety Standard Determination of Ascorbic Acid in Food [S]
- [8] NYT1600-2008,水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定分光光度法[S]
NYT 1600-2008, Determination of tannin content in fruits, vegetables and their products-Spectrophotometric method [S]
- [9] 石连旋,颜宏.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2013
SHI Lian-xuan, YAN Hong. Plant Physiology Experiment Guide [M]. Beijing: Higher Education Press, 2013
- [10] Bugaud C, Alter P. Volatile and non-volatile compounds as odour and aroma predictors in dessert banana (*Musa spp.*) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 112: 14-23
- [11] 王斌,张江周,王金乔,等.香蕉气调催熟最佳温度研究[J].南方农业学报,2016,47(12):2139-2144
WANG Bin, ZHANG Jiang-zhou, WANG Jinqiao, et al. Optimum temperature for banana gas ripening [J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2016, 47(12): 2139-2144
- [12] 苗红霞,金志强,刘伟鑫,等.香蕉采后果肉硬度与淀粉代谢变化[J].中国农学通报,2013,29(28):124-128
MIAO Hong-xia, JIN Zhi-qiang, LIU Wei-xin, et al. Changes in pulp firmness and starch metabolism of postharvest banana fruit [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(28): 124-128
- [13] Kheng T Y, Ding P, Abdul Rahman N A. Determination of optimum harvest maturity and physico-chemical quality of Rastali banana (*Musa AAB Rastali*) during fruit ripening [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2011, 92(1): 171-176
- [14] 康效宁,戴萍,吉建邦,等.成熟度对香蕉出汁率的影响及其酶解工艺优化[J].食品工业科技,2014,35(24):182-185
KANG Xiao-ping, DAI Ping, JI Jian-bang, et al. Effect of maturity on juice extraction rate of banana and the optimization of enzymatic hydrolysis technology of banana [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(24): 182-185
- [15] 苗红霞,金志强,刘伟鑫,等.香蕉果实中抗性淀粉代谢与可溶性糖含量变化的相关性[J].植物生理学报,2013,49(8): 743-748
MIAO Hong-xia, JIN Zhi-qiang, LIU Wei-xin, et al. Correlation between resistant starch metabolism and soluble sugar content of banana fruit [J]. Plant Physiology Communications, 2013, 49(8): 743-748
- [16] 廉韶斌,郝利平,王愈.香蕉催熟过程中品质变化的研究[J].农产品加工(学刊),2014,16:7-11
LIAN Shao-bin, HAO Li-ping, WANG Yu. Quality changes during ripening of banana [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014, 16: 7-11
- [17] 周兆禧,赵家桔,马蔚红,等.3个品种香蕉果实中糖酸组分及含量的比较分析[J].热带作物学报,2011,32(8):1453-1456
ZHOU Zhao-xi, ZHAO Jia-ju, MA Wei-hong, et al. The composition and contents of sugars and acids in three types of bananas [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(8): 1453-1456
- [18] 谭思敏,林玉婷,王娟.香蕉抗性淀粉、单宁的含量及酶解单宁的研究[J].食品研究与开发,2017,38(7):1-4
TAN Si-min, LIN Yu-ting, WANG Juan. Studies on the content of resistant starch and tannin in banana and the hydrolysis of tannin by using tannase [J]. Food Research and Development, 2017, 38(7): 1-4
- [19] 赵镭,刘文,汪厚银.食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J].中国食品学报,2008,8(3):121-124
ZHAO Lei, LIU Wen, WANG Hou-yin. General guidance and method for establishing index system of food sensory evaluation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 8(3): 121-124
- [20] 陈维信,苏美霞,王振永,等.香蕉催熟生理和技术研究[J].华南农业大学学报,1993,14(2):102-106
CHEN Wei-xin, SU Mei-xia, WANG Zhen-yong, et al. Studies on physiology and technology of the ripening of banana [J]. Journal of South China Agricultural University, 1993, 14(2): 102-106
- [21] 尚政,张宇,王萌,等.40%乙烯利水剂催熟对香蕉品质的影响[J].热带农业科学,2014,34(6):48-53
SHANG Zheng, ZHANG Yu, WANG Meng, et al. 40% Ethrel's ripening effect on the qualities of banana [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(6): 48-53
- [22] Haux J E, Lockridge O, Casida J E. Specificity of ethephon as a butyrylcholinesterase inhibitor and phosphorylating agent[J]. Chemical Research in Toxicology, 2002, 15(12): 1527
- [23] GB2763-2016,食品安全国家标准食品中农药最大残留限量[S]
GB 2763-2016, National Food Safety Standard Maximum Residue Limits for Pesticides in Food [S]