



韩冬梅, 杨 武, 吴振先, 等. 龙眼果实贮藏品质理化指标评估体系的构建[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 39-46.

龙眼果实贮藏品质理化指标评估体系的构建

韩冬梅¹, 杨 武², 吴振先², 李建光¹, 帅 良², 牛佳佳², 潘学文¹, 郭栋梁¹

(1 广东省农业科学院 果树研究所/农业部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室, 广东 广州 510640;

2 华南农业大学 园艺学院/广东省果蔬保鲜重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】构建龙眼 *Dimocarpus longan* 果实贮藏品质理化指标评估体系, 实现龙眼贮藏品质的简便、有效评估。【方法】以 30 个品种龙眼果实为试验材料, 运用多元统计分析方法, 包括因子分析、回归分析、分层聚类等, 对果实的贮藏性能进行综合评估与分类, 建立贮藏品质预测模型。【结果和结论】分别获得了 30 个品种龙眼果实不同贮藏效果的综合评分, 包括常温果皮褐变和质量损失率、低温果皮褐变和果肉自溶, 其结果与对应不同时期的贮藏效果指标均显著相关。分别建立了龙眼果实在不同贮藏温度下不同贮藏效果的数学预测模型, 筛选出有效预测指标: 常温贮藏品质理化指标包括熟性、外果皮 a^* 值和可溶性固形物 (TSS) 含量, 低温贮藏品质理化指标包括果皮龟状纹、果肉总糖含量和风味, 从而构成了贮藏品质评估理化指标库。对 30 个品种果实在常温和低温下的贮藏能力进行分类, 均获得了 4 个类别的分类结果。

关键词: 龙眼果实; 贮藏品质; 理化指标; 多元统计分析; 预测模型

中图分类号: S667.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2015)06-0039-08

Establishment of an evaluation system for longan fruit storage quality based on the physicochemical indices

HAN Dongmei¹, YANG Wu², WU Zhenxian², LI Jianguang¹, SHUAI Liang²,
NIU Jiajia², PAN Xuwen¹, GUO Dongliang¹

(1 Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agriculture Science/Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510640, China; 2 College of Horticulture, South China Agricultural University/Guangdong Key Lab of Postharvest Science of Fruit and Vegetable, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】This research was conducted to establish an easy and effective evaluation system for longan storage quality based on physicochemical indices. 【Method】Multivariate statistical analyses, including factor analysis, regression analysis and hierarchical clustering, were used to evaluate and grade the fruit storabilities of 30 longan varieties, and the mathematical models were established. 【Result and conclusion】The results showed that the comprehensive scores for storability of 30 varieties were obtained, including normal-temperature pericarp browning and mass loss rate, low-temperature pericarp browning and aril autolysis, which were all significantly related with their corresponding indices of storage performance in different periods. The mathematics models of storage performance of longan fruits at different temperatures were established, from which the effective predictive indices were screened and a physicochemical index database was built. It is concluded that there are 3 physicochemical indices including maturity, a^* value of exocarp and total soluble solids (TSS) content for normal temperature storability, and 3 indices, i. e. skin crevasse crack, total sugar content in the aril and flavor for low temperature storability.

收稿日期: 2014-07-21 优先出版时间: 2015-10-16

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20151016.1356.004.html>

作者简介: 韩冬梅 (1972—), 女, 研究员, 硕士, E-mail: handm2009@qq.com; 通信作者: 吴振先 (1971—), 男, 教授, 博士, E-mail: litchi2008@126.com

基金项目: 国家现代农业产业技术体系 (荔枝龙眼) 资助 (CARS-33-14)

The 30 varieties are classified into 4 types based on their storabilities at normal and low temperatures.

Key words: longan fruit; storage quality; physicochemical index; multivariate statistic analysis; predictive model

果实贮藏品质是指果实采收时具备的满足长时间贮藏的某些特性的总和. 随着新鲜果品消费需求的增长, 与营养品质、外观品质、安全品质等一样, 贮藏品质成为选择耐贮品种的重要参考^[1]. 龙眼 *Dimocarpus longan* 是我国南方佳果, 目前生产上主栽品种约 17 个^[2], 多以产地鲜销为主, 不耐贮运, 品种间耐贮性差异也大, 例如石硖、储良、蜀冠较耐贮藏, 宴中龙眼、普明庵等贮藏能力较差^[3]. 而果实成熟时具备的一些理化特性可能为其贮藏能力强弱奠定了基础, 从而构成了果实贮藏品质. 研究构成龙眼果实贮藏品质的理化指标评估体系, 可以简便、快速和有效地评估果实贮藏能力. 对于龙眼果实贮藏能力差异分析, 一直以来都是从贮藏期间果实内外特性^[4]和生理生化变化^[5-7]以及分子机制的角度来研究^[8-9], 而如何依据果实成熟品质和特性来预测果实的贮藏能力, 大多停留在经验层面, 缺乏系统、科学的研究与归纳. 龙眼果实结构特殊, 果皮易于褐变, 果肉自溶腐烂, 这已成为其贮藏过程中的两大衰老特征^[10-11], 但果实成熟时的理化特性与果实褐变、自溶、失重等贮藏效果间的关系如何, 至今鲜见相关报道. 为了更好地了解龙眼果实贮藏特性, 并为贮藏品质在选种、栽培、采收和贮运工作方面提供简便、有效的参考依据, 本试验以 30 个龙眼品种为材料, 从果实成熟品质和发育特性入手, 运用多元统计方法, 科学分析果实内外品质与贮藏期间褐变、失重、自溶等贮藏效果的关系, 成功筛选出与之密切相关的成熟特性指标. 建立综合评估不同品种龙眼果实贮藏能力差异的分析方法, 构建贮藏品质预测模型, 为今后龙眼果实贮藏品质的深入研究提供诸多新的研究方向和思路.

1 材料与方法

1.1 材料

供试龙眼品种 30 个, 即: 蜀冠、后壁埔、泸早、古山 2 号、水眼、公妈本、石硖、立秋本、硬赤壳、后巷本、华路广眼、东壁、大乌圆、乌龙岭、白花木、沙梨肉、晚柴螺、顶园、罗伞木、普明庵、红核、泸丰、储良、鸡卵眼、水南 1 号、水涨、巨龙、九月乌、立冬本、松风本. 于 2011 年 7—9 月, 采自广东省农业科学院果树研究所龙眼种质资源圃, 成熟度 85%~95% (依据各

品种果实成熟时呈现的内外固有特征和可溶性固形物 (TSS) 含量来判断, 不同品种会有所差异). 生长和结果期间, 管理水平一致, 近期引进品种已经连续结果 3~4 年以上, 果实品种特征基本稳定. 样品采收后立即运回实验室, 并进行分析测定和贮藏试验.

1.2 方法

于果实采收当天, 选择成熟度均匀一致, 无病、虫、伤、褐的龙眼果实, 以 $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的施保克溶液浸泡 2 min, 晾干, 包装. 常温 (25 ± 1) °C 贮藏的果实采用塑料小托盘装果, 每盒 20 个果实, 以专用 0.01 mm 厚的聚乙烯保鲜膜进行包装, 共 18 盒; 低温 (4.0 ± 0.5) °C 贮藏的果实则采用 0.03 mm 厚的聚乙烯袋包装, 每袋 30 个果实, 共 18 袋.

常温贮藏的果实每隔 1 d, 低温贮藏的果实 10、20、27、34 d 时分别观察和取样, 每次用 3 盒或 3 袋.

1.2.1 贮藏效果指标 褐变指数: 参照韩冬梅等^[12]的方法, 内果皮褐变指数 = Σ (褐变级数 $\times$ 该级果数) / 总果数. 自溶指数: 参照刘熙东^[13]的方法, 果肉自溶指数 = Σ (自溶级数 $\times$ 该级果数) / 总果数, 由于常温果肉腐烂迅速, 处理间差异较小, 因此未观察自溶指数. 质量损失率: 常温下贮藏, 每天称质量 1 次, 质量损失率 (简称质损率) = (贮前质量 - 贮后质量) / 贮前质量 $\times 100\%$. 呼吸强度: 参照季作梁等^[14]的方法, 用岛津 GC-17A 型气相色谱仪测定.

1.2.2 成熟特性指标 熟性: 把各品种的熟性数量化, 以广东省主栽品种石硖的采收日期为基准 (早中熟), 设为 0, 比之提前采收的品种以提前天数的负值表示, 反之以延迟天数的正值表示. 果实发育期: 从雌花 75% 凋谢开始, 直至果实成熟采收为止的发育时间 (d).

1.2.3 表观性状指标 表观性状表现为质量性状, 包括果形、果色, 外果皮龟纹纹、放射纹、果粉, 果肉不流汁、离核、化渣、质地、透明度、风味. 通过肉眼观察和品尝得到感官定性描述, 参考陈业渊等^[15]方法, 并根据品质评价方向对部分指标的赋值方向稍做修改, 把各质量性状指标数量化: 果形—1 圆形, 2 近圆形, 3 椭圆形, 4 扁圆形, 5 其他; 果色—1 其他 (灰白、青绿色等), 2 深褐, 3 红褐, 4 绿褐, 5 黄褐, 6 黄绿; 放射线—1 不明显, 2 较明显, 3 明显; 果粉—1 无, 2 稍有, 3 有; 皮龟纹纹—1 不明显, 2 稍明显, 3 明显;

质地—1 爽脆,2 软、韧,3 其他;透明度—1 不透明,2 半透明,3 透明;流汁—1 流汁,2 稍流汁,3 不流汁;离核—1 不离核,2 稍离核,3 离核;化渣—1 不化渣,2 稍化渣,3 化渣;肉色—1 淡白,2 白蜡,3 黄蜡;风味—1 味淡,2 清甜,3 浓甜.

1.2.4 经济性状指标 经济性状表现为数量性状,包括单果质量、纵横径、果实厚度、果皮厚度、果肉厚度、可食率、皮厚率、肉厚率、果形指数、外果皮色度(L^* 值、 a^* 值、 b^* 值).随机取果20个,分别用电子天平称取单果质量,用游标卡尺测量果实的纵横径、果实厚度、果皮厚度、果肉厚度,可食率=(整果质量-果皮质量-果核质量)/整果质量 $\times 100\%$,皮厚率=果皮厚度/(横径/2) $\times 100\%$,肉厚率=果肉厚度/(横径/2) $\times 100\%$,果形指数=纵径/横径.色度值采用 Minolta CR-300 全自动色差计直接测定.

1.2.5 果实品质指标 果肉品质包括硬度、pH,可滴定酸(TA)、TSS、维生素C(V_c)、可溶性蛋白、葡萄糖、果糖、蔗糖和白坚木皮醇含量;衍生指标包括单糖(果糖+葡萄糖)、总糖(果糖+葡萄糖+蔗糖)、单双糖比、单糖总糖比.使用美国 INSTRON-5542 型硬度测试机测定果肉硬度.TSS含量用 ATAGO-32 α 数显折光仪直接测定,TA含量测定参照宁正祥^[16]的方法,可溶性蛋白质含量测定参照 Bradford^[17]的方法. V_c 含量测定参照 Kampfinkel 等^[18]的 Fe^{3+} 还原法,略有改动,提取液分别为“果皮0.5 g+质量分数为6%的三氯乙酸溶液(TCA)5 mL”或“果汁1 mL+质量分数为6%的TCA 5 mL”,以分析纯 V_c (Sigma公司)作为标样制作标准曲线,计算样品的 V_c 含量.

各糖组分含量的测定参照王静等^[19]的方法,略有改动:果肉以少量超纯水反复提取2次,集中提取液定容至10 mL;果皮以体积分数为80%的乙醇提取,旋转蒸发后再以超纯水溶解.经 C_{18} 小柱纯化,得到待测样品,最后使用德国 Agilent 1200 HPLC 高效液相色谱仪测定,该仪器配有 RID 示差检测器,色谱柱为 Transgenomic Coregel 87 C,流动相为水,流速 $0.6\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,柱温 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$,进样量 $10\text{ }\mu\text{L}$.通过保留时间和峰面积的比较测定糖的种类和含量,用分析纯的葡萄糖、果糖和蔗糖(Sigma公司)作标样制定标准曲线.

白坚木皮醇含量测定参照王惠聪等^[20]的方法,使用体积分数为90%的乙醇重复提取2次,合并上清液,经减压蒸干后加入纯水,过 C_{18} 小柱后上机测定,使

用 Agilent 1200 HPLC 测定,测定条件同糖组分.

1.2.6 果皮理化特性指标 果皮理化特性指标包括 V_c 、可溶性蛋白、葡萄糖、果糖、蔗糖、白坚木皮醇、类黄酮和总酚含量,以及果皮含水量和果皮电导率;衍生指标包括单糖(果糖+葡萄糖)、总糖(果糖+葡萄糖+蔗糖)、单双糖比、单糖总糖比.其中,果皮含水量使用水分测定仪 MA150 直接测定,果皮电导率参照朱广廉等^[21]的方法,类黄酮和总酚含量参照张永丽^[22]的方法,其他指标测定方法同果肉.

1.3 数据处理

运用 SPSS19.0 统计软件对所有测定指标进行相关分析^[23].以30个龙眼品种为样本,以相关指标(41个测定指标,4个衍生指标)为变量,主要运用了双变量相关分析(Pearson 方法)、因子分析、多元线性逐步回归和分层聚类进行统计分析,筛选得到能够预测果实贮藏能力的有效品质指标及其预测模型,其中因子分析运用具有 Kaise 标准化的正交旋转法.

2 结果与分析

2.1 对不同品种果实贮藏性能的综合评价

不同品种龙眼果实在不同时期的贮藏效果差异,给品种间的贮藏能力比较带来了难度,因此以不同时期的贮藏效果指标为变量,运用因子分析对30个品种(样本)的贮藏效果进行综合评价,计算出的综合因子得分用 Y 表示(表1).

常温褐变综合评价以常温贮藏2、4、6、8 d时的4个褐变指数为变量(分别以常褐₂、常褐₄、常褐₆、常褐₈表示),因子分析后得到1个公因子 F_1 ,解释变量包含4个褐变指数,KMO(Kaiser-Meyer Olkin)检验值为0.682,初始特征值为2.950,累积方差贡献率为73.756%.依据回归方程 $Y_{\text{常褐}}=0.737\ 56F_1$,计算出各品种的综合评分 $Y_{\text{常褐}}$,其中,系数为公因子贡献率, F_1 为各品种的公因子得分,由软件系统自动给出.

常温质损综合评价以常温贮藏1~7 d时的7个质损率为变量(以质损₁~质损₇表示),低温褐变综合评价以低温贮藏10、20、27、34 d时的4个褐变指数(低褐₁₀、低褐₂₀、低褐₂₇、低褐₃₄)为变量,低温自溶综合评价以低温贮藏20、27、34 d时的3个自溶指数(低溶₂₀、低溶₂₇、低溶₃₄)为变量,分别进行因子分析后,计算出各品种贮藏效果的综合评分,分别表示为 $Y_{\text{质损}}$ 、 $Y_{\text{低褐}}$ 、 $Y_{\text{低溶}}$,具体见表1.

表 1 各贮藏效果指标因子分析结果及综合评分回归方程

Tab. 1 Results of factor analyses of various storage indices and regression functions of a comprehensive evaluation scores

贮藏效果	变量数	KMO 值	公因子数(F_n) ¹⁾	初始特征值	累积方差贡献率/%	综合评分回归方程 ²⁾
常温褐变	4	0.682	1(F_1)	2.950	73.756	$Y_{\text{常褐}} = 0.737\ 56F'_1$
常温质损	7	0.799	2(F_1, F_2)	5.303, 1.562	98.074	$Y_{\text{质损}} = 0.707\ 61F'_1 + 0.273\ 13F'_2$
低温褐变	4	0.624	1(F_1)	2.801	70.035	$Y_{\text{低褐}} = 0.700\ 35F'_1$
低温自溶	3	0.522	1(F_1)	2.071	69.038	$Y_{\text{低溶}} = 0.690\ 38F'_1$

1) F_n 为不同贮藏效果指标因子分析后得到的公因子;2) 回归方程中, Y 为综合评分, F'_1 和 F'_2 分别为各品种的公因子 F_1 和 F_2 的因子得分.

各贮藏效果的综合评分与其对应的各时期贮藏效果指标的相关性分析(表 2)表明,除了质量损失综合评分与质损₁ 关系不显著外,各贮藏效果综合评分与其各时期贮藏效果指标均为极显著相关,而且常温质损与褐变综合评分均与第 4 天的对应指标相关性最高,低温褐变综合评分与低褐₂₀、低溶综合评分与低溶₂₇ 的相关性最高,说明这些贮藏时期对品种差异来说意义最大. 另外,值得注意的是,质损综合

评分与常褐综合评分显著负相关,说明质损率低的品种,常温褐变水平可能较高;低褐综合评分与低溶综合评分极显著正相关,而低温贮藏综合评分($Y_{\text{低褐}}$ 、 $Y_{\text{低溶}}$)与常温贮藏综合评分($Y_{\text{常褐}}$ 、 $Y_{\text{质损}}$)之间均没有显著相关性. 可见,各综合评分均能够充分体现不同品种贮藏能力的差异,可以作为进一步分析不同品种果实贮藏能力及筛选其评估品质要素的依据.

表 2 不同贮藏效果综合评分与各时期贮藏效果指标的相关系数¹⁾

Tab. 2 Correlation coefficients between the comprehensive evaluation scores and the indices of storage performance

综合评分	$Y_{\text{质损}}$	$Y_{\text{常褐}}$	$Y_{\text{低褐}}$	$Y_{\text{低溶}}$	常褐 ₂	常褐 ₄	常褐 ₆	常褐 ₈	低褐 ₁₀	低褐 ₂₀	低褐 ₂₇
$Y_{\text{质损}}$	1	-0.363 *	0.262	0.322	-0.173	-0.480 **	-0.395 *	-0.156	0.007	0.282	0.270
$Y_{\text{常褐}}$		1	0.284	0.154	0.791 **	0.938 **	0.921 **	0.772 **	0.348	0.270	0.185
$Y_{\text{低褐}}$			1	0.648 **	0.071	0.312	0.334	0.233	0.721 **	0.922 **	0.914 **
$Y_{\text{低溶}}$				1	-0.018	0.108	0.156	0.291	0.393 *	0.604 **	0.591 **
综合评分	低褐 ₃₄	质损 ₁	质损 ₂	质损 ₃	质损 ₄	质损 ₅	质损 ₆	质损 ₇	低溶 ₂₀	低溶 ₂₇	低溶 ₃₄
$Y_{\text{质损}}$	0.286	0.255	0.810 **	0.985 **	0.989 **	0.976 **	0.921 **	0.906 **	0.093	0.298	0.374 *
$Y_{\text{常褐}}$	0.162	0.198	-0.137	-0.285	-0.372 *	-0.449 *	-0.469 **	-0.451 *	-0.011	0.218	0.140
$Y_{\text{低褐}}$	0.772 **	0.232	0.358	0.313	0.265	0.195	0.129	0.122	0.485 **	0.611 **	0.516 **
$Y_{\text{低溶}}$	0.563 **	0.040	0.255	0.354	0.363 *	0.297	0.274	0.261	0.659 **	0.942 **	0.866 **

1) * 表示在 0.05 水平上(双侧)显著相关,** 表示在 0.01 水平上(双侧)显著相关(Pearson 相关分析法).

2.2 各贮藏效果预测模型的构建

2.2.1 与常温褐变相关指标的筛选和预测模型的建立 将综合评分 $Y_{\text{常褐}}$ 与所有成熟品质及发育特性指标进行相关分析,结果显示,与之显著相关的指标有: L^* 值(相关系数 $r = -0.391^*$)、 a^* 值($r = 0.429^*$)、呼吸强度($r = -0.377^*$)、熟性($r = 0.581^{**}$)、果实发育期($r = 0.538^{**}$),其中,熟性和果实发育期极显著相关($r = 0.927^{**}$).

以 $Y_{\text{常褐}}$ 为因变量,以各相关指标为自变量,进行逐步回归分析,得到常温褐变预测模型,预测值以 y 表示(表 3): $y_{\text{常褐}} = -1.220 + 0.037x_{\text{熟性}} + 0.166x_{a^*}$ 值,决定系数 R^2 为 0.484,模型 P 为 0,虽然决定系数不太高,但因变量与自变量的线性关系极显著,该模型依然具有较好的参考作用. $x_{\text{熟性}}$ 和 x_{a^*} 值与 $Y_{\text{常褐}}$ 的偏相关系

数分别为 0.606 和 0.470,其绝对值越大,作用越大. 将两指标引入公式,得到理论上的 $y_{\text{常褐}}$,其与 $Y_{\text{常褐}}$ 的相关系数为 0.696 ** (表 3). 说明熟性越晚、 a^* 值越高(果色偏红褐色),常温褐变能力越强,而较高的 L^* 值和呼吸强度则有助于降低常温褐变程度.

2.2.2 与常温质损率相关指标的筛选和预测模型的建立 与 $Y_{\text{质损}}$ 显著相关的指标有:果形指数(相关系数 $r = 0.372^*$)、风味($r = -0.678^{**}$)、单果质量($r = 0.505^{**}$)、纵径($r = 0.555^{**}$)、果厚($r = 0.496^{**}$)、TSS($r = -0.777^{**}$)、果肉蔗糖($r = -0.400^*$)、果肉总糖($r = -0.508^{**}$)、果肉 V_c ($r = -0.375^*$)、TA($r = -0.372^*$)、可食率($r = 0.391^*$),共 12 个. 得到回归模型: $y_{\text{质损}} = 5.004 - 0.252x_{\text{TSS}}$, 决定系数 R^2 为 0.603,模型 P 为 0.000,

x_{TSS} 与 $Y_{质损}$ 的偏相关系数为 -0.777 (表3).将TSS代入公式计算出 $y_{质损}$,其与 $Y_{质损}$ 相关系数为 0.777^{**} (表3).另外可以选择相关性较高的风味、单果质量、果肉总糖作为参考,风味偏浓、果实偏小或者总糖含量高的,质损率可能偏低,但这类品种的常温褐变水平可能较高.

2.2.3 与低温褐变相关指标的筛选及预测模型的建立 与 $Y_{低褐}$ 显著相关的指标有:皮龟状纹(相关系数 $r = -0.478^{**}$)、风味($r = -0.389^{*}$)、果皮含水量($r = 0.378^{*}$)、果皮葡萄糖($r = 0.392^{*}$)、果肉总糖($r = -0.448^{*}$)、果肉蔗糖($r = -0.416^{*}$)、果皮单双糖比($r = 0.408^{*}$)、TSS($r = -0.421^{*}$).得到回归模型: $y_{低褐} = 2.502 - 0.356x_{皮龟状纹} - 0.010x_{果肉总糖}$, R^2 为 0.382 , P 为 0.002 , $x_{皮龟状纹}$ 、 $x_{果肉总糖}$ 与 $Y_{低褐}$ 的偏相关系数分别为 -0.477 、 -0.446 (表3).计算出 $y_{低褐}$,

其与 $Y_{低褐}$ 相关系数为 0.618^{**} (表3).另外,果皮单双糖比、TSS可以作为参考指标,果皮单双糖比较高和TSS含量较低的品种,其低温褐变指数可能偏高.

2.2.4 与低温自溶相关指标的筛选及预测模型的建立 与 $Y_{低溶}$ 显著相关的指标有:果皮放射纹(相关系数 $r = 0.380^{*}$)、风味($r = -0.511^{**}$)、果皮含水量($r = 0.389^{*}$)、纵径($r = 0.362^{*}$)、TSS($r = -0.488^{**}$)、果肉总糖($r = -0.455^{*}$)、果肉蔗糖($r = -0.460^{*}$).得到预测模型: $y_{自溶} = 1.013 - 0.533x_{风味}$, R^2 为 0.261 , P 为 0.004 ,根据公式计算 $y_{低溶}$,其与 $Y_{低溶}$ 相关系数为 0.511^{**} ,极显著相关(表3).根据其他指标与 $Y_{低溶}$ 的相关系数,选择相关性较高的TSS作为参考指标,TSS含量越高,自溶指数则较低.另外,果肉蔗糖或果肉总糖含量可以作为参考指标,低糖品种,易于自溶.

表3 各贮藏效果综合评分与相关指标逐步回归分析结果

Tab.3 Comprehensive evaluation scores of storage performance and stepwise regression analyses of relevant indices							
因变量	决定系数 R^2	模型 P 值	预测变量	非标准化 变量系数	偏相关 系数	非标准 化常量	预测值与综合 评分的相关系数 ¹⁾
$Y_{常褐}$	0.484	0.000	熟性	0.037	0.606	-1.220	0.696 ^{**}
			a^{*} 值	0.166	0.470		
$Y_{质损}$	0.603	0.000	TSS	-0.252	-0.777	5.004	0.777 ^{**}
$Y_{低褐}$	0.382	0.002	皮龟状纹	-0.356	-0.477	2.502	0.618 ^{**}
			果肉总糖	-0.010	-0.446		
$Y_{低溶}$	0.261	0.004	风味	-0.533	-0.511	1.013	0.511 ^{**}

1) **表示在0.01水平上(双侧)显著相关(Pearson 相关分析法).

2.3 30个品种龙眼果实贮藏性能分类

2.3.1 常温贮藏性能分类结果 以 $Y_{质损}$ 与 $Y_{常褐}$ 为变量,运用SPSS19.0分层聚类的方法,将30个品种聚成4类(表4).

类别1:包括华路广眼、蜀冠、硬赤壳、后壁埔、古山二号、水涨和水眼,共7个品种.褐变评分中等偏低($-1.62 \sim -0.19$),质损评分偏高($0.44 \sim 1.22$),熟性多为早中熟($-6 \sim 5$), a^{*} 值中等偏低($1.74 \sim 4.67$),TSS含量大多中等偏低(w 为 $15.92\% \sim 20.72\%$).虽然质损率偏高,但褐变程度低,定义为贮藏能力较强的一类.

类别2:包括后巷本、泸丰、泸早、白花木、立秋本、立冬本、乌龙岭、红核、松风本、储良、沙梨肉和晚柴螺,共12个品种.褐变评分大多中等偏高($-0.17 \sim 1.03$),质损评分低($-1.39 \sim -0.46$), a^{*} 值大多中等偏高($2.49 \sim 7.74$),熟性多偏中晚熟($0 \sim 33$),TSS含量大多偏高(w 为 $19.73\% \sim 24.76\%$).虽然质损

评分较低,但大多褐变水平较高,因此定义为贮藏能力较差的一类.

类别3:包括公妈本和石碇2个品种.质损评分中等(0.02 和 -0.25),褐变评分低(-1.25 和 -0.97),TSS含量中等偏高(w 为 19.30% 和 22.93%),早中熟,能够保持较好的内外品质,定义为贮藏能力强的一类.

类别4:包括水南1号、顶圆、巨龙、东壁、九月乌、大乌圆、鸡卵眼、普明庵和罗伞木,共9个品种.除罗伞木和普明庵偏高外,褐变评分中等($0.06 \sim 0.66$);质损评分中等($-0.16 \sim 0.88$), a^{*} 值大多偏高($4.82 \sim 8.06$),熟性中等偏晚熟($7 \sim 25$),TSS含量中等偏低(w 为 $16.19\% \sim 20.68\%$).质量损失率和褐变评分均处于中等水平,定义为贮藏能力中等一类.其中罗伞木和普明庵比较特殊,虽然在所有品种中褐变最严重,但质损评分中等,因此被分在第4类.

表 4 30 个龙眼品种贮藏性能的分层聚类结果和有效预测指标数据

Tab.4 Hierarchical cluster results of storability of 30 varieties longan and data of corresponding effective predictive indices

品种	常温贮藏			低温贮藏			有效预测指标					
	$Y_{\text{常褐}}$	$Y_{\text{质损}}$	聚类类别	$Y_{\text{低溶}}$	$Y_{\text{低褐}}$	聚类类别	a^* 值	熟性	果皮龟状纹	$w(\text{TSS})/\%$	$w_{\text{果肉}}(\text{总糖})/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	风味
蜀冠	-1.27	0.92	1	0.02	-1.06	1	4.28	-6	2	19.23	160.69	2
后壁埔	-0.87	1.01	1	-0.24	-0.02	1	4.06	-3	1	16.36	141.88	1
泸早	-0.15	-0.78	2	0.00	-0.86	1	4.66	-3	3	20.28	192.06	2
古山 2 号	-0.74	0.57	1	-0.69	-0.82	1	1.74	-2	3	20.721	188.64	2
水眼	-0.19	1.22	1	-0.10	0.76	2	4.67	-2	1	16.607	154.74	1
公妈本	-1.25	0.02	3	-0.29	-0.60	1	6.54	-1	3	19.30	181.89	2
石碇	-0.97	-0.25	3	-0.67	-1.33	1	3.45	0	3	22.93	209.84	3
立秋本	0.24	-0.48	2	0.46	0.01	2	7.74	0	3	22.28	184.39	2
硬赤壳	-1.05	1.18	1	0.44	0.24	2	4.26	0	3	15.92	137.53	1
后巷本	-0.41	-1.12	2	-0.68	-0.15	1	2.49	3	3	21.32	149.39	2
华路广眼	-1.62	0.72	1	-0.69	0.12	1	4.67	5	3	19.1	168.22	2
东壁	0.28	0.26	4	1.23	1.82	3	4.93	7	1	19.66	152.83	2
大乌圆	0.38	0.87	4	0.10	0.43	2	5.51	7	1	18.06	165.87	2
乌龙岭	0.42	-1.39	2	-0.59	0.21	1	4.10	10	1	20.52	184.63	2
白花木	0.11	-0.74	2	-0.77	-0.41	1	3.82	10	3	23.54	208.24	3
沙梨肉	0.93	-0.63	2	-0.60	-0.50	1	6.23	11	3	22.22	203.06	2
晚柴罗	1.03	-0.70	2	0.29	0.32	2	6.42	11	3	19.73	97.54	2
顶圆	0.15	0.08	4	-0.37	0.07	1	4.82	12	2	19.88	168.72	2
罗伞木	1.10	0.45	4	0.95	0.31	2	6.59	14	3	19.75	171.79	1
普明庵	0.81	0.88	4	0.77	0.65	2	8.06	14	3	16.19	120.73	1
红核	0.49	-0.94	2	-0.18	0.77	2	7.16	15	2	24.76	218.46	3
泸丰	-0.17	-0.99	2	0.30	0.13	2	4.13	18	2	20.99	219.31	3
储良	0.85	-0.63	2	-0.56	-0.17	1	5.77	18	3	21.7	195.25	3
鸡卵眼	0.66	0.02	4	-0.72	-0.39	1	6.45	19	3	20.68	194.85	2
水南 1 号	0.06	0.29	4	0.66	0.18	2	6.47	22	2	16.37	153.63	1
水涨	-0.26	0.44	1	2.24	1.22	4	4.63	22	1	17.2	151.07	1
巨龙	0.12	-0.16	4	0.27	-0.27	2	2.41	25	3	20.56	174.42	2
九月乌	0.34	0.86	4	0.18	0.88	2	5.75	25	2	17.12	162.53	1
立冬本	0.39	-0.46	2	-0.58	-0.73	1	1.14	33	3	22.28	194.13	2
松风本	0.57	-0.53	2	-0.21	-0.79	1	6.55	33	1	21.39	198.94	2
平均值							4.98	10.57	2.33	19.89	173.51	1.90
最大值							8.06	33	3	24.76	219.31	3
最小值							1.14	6	1	15.92	97.54	1
变异系数							0.34	1.03	0.36	0.12	0.17	0.35

2.3.2 低温贮藏性能分类结果 以 $Y_{\text{低褐}}$ 与 $Y_{\text{低溶}}$ 为变量,将 30 个品种聚成 4 类(表 4)。

类别 1:包括蜀冠、后壁埔、泸早、古山 2 号、公妈本、石碇、后巷本、华路广眼、乌龙岭、白花木、沙梨肉、顶圆、储良、鸡卵眼、立冬本和松风本,共 16 个品种。自溶评分(-0.77 ~ 0.02)和褐变评分(-1.33 ~ 0.21)中等偏低,果皮龟状纹大多明显或较明显,果肉总糖大多中等偏高(141.88 ~ 209.84 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),风味清甜到浓甜,定义为贮藏性强的一类。

<http://xuebao.scau.edu.cn>

类别 2:包括水眼、立秋本、硬赤壳、大乌圆、晚柴螺、罗伞木、普明庵、红核、泸丰、水南 1 号、巨龙和九月乌,共 12 个品种。自溶评分(-0.18 ~ 0.95)和褐变评分(-0.27 ~ 0.88)中等偏高,果肉总糖大多中等偏低(97.54 ~ 184.39 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),果皮龟状纹明显程度不一,风味大多淡甜到清甜。其中,红核、泸丰虽然果肉总糖较高(218.46、219.31 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$),风味浓甜,但果皮龟状纹不太明显,褐变指数较高,因此被分在贮藏能力中等一类。

类别 3: 只有东壁 1 个品种,褐变评分最高(1.82),自溶评分次高(1.23),因此定义为贮藏能力差的一类,其特征是较早熟,TSS 含量中等,总糖含量低,果皮龟状纹不明显,清甜。

类别 4: 只有水涨 1 个品种,自溶评分最高(2.24),褐变评分次高(1.22),也定义为贮藏能力差的一类,其特征是较迟熟,TSS 和总糖含量均较低,果皮龟状纹不明显,淡甜。

3 讨论与结论

3.1 不同贮藏温度下龙眼果实贮藏性能综合评价

作为一种重要的多元变量统计分析方法,因子分析在简化指标和综合评价中发挥了重要作用,并在实际生产和科学研究中得到广泛应用。例如在枣^[24]、柑橘^[25]、枸杞^[26]、苹果汁^[27]等品质评估方面都起到了有效降维、筛选解释指标和综合评价的作用。

本研究中,在不同贮温、不同贮藏时期,果实的贮藏表现均不同,如何综合评估品种之间的贮藏能力差异,存在一定难度,因为无论以其中某个或某几个差异显著的阶段作为比较依据,都显得不够全面。运用多元统计法,对各时期的贮藏效果指标进行因子分析,以各公因子的方差贡献率为权重,依据综合评分回归方程计算出各贮藏效果的综合因子,即: $Y_{质损}$ 、 $Y_{常褐}$ 、 $Y_{低褐}$ 和 $Y_{低溶}$,从而综合体现了各品种在不同时期的贮藏效果差异,具有较好的代表性,而且它们与对应指标之间的相关性越强,评价结果越可靠。

3.2 龙眼果实贮藏品质指标的筛选和预测模型的建立

通过建立多元线性回归方程,可以对未知样本的功能特性进行预测,达到评估未知样本的目的。运用该方法,本研究一共得到了 4 个贮藏效果评价的预测模型,筛选出形成不同贮藏能力的品质指标,对于本研究的 30 个品种而言,通过模型计算的预测值与实际评估值之间关系极显著,具有较好的一致性。另外,有效品质指标仅占有所有相关指标中的很少一部分,其他指标虽然与各自的贮藏效果综合评分具有显著或极显著的相关性,但与后者的线性显著性较低,仍然不能够作为有效指标被纳入预测模型,但可以为实际评估起到辅助参考作用。

因为本文只是从果实采收时的成熟品质与不同贮藏效果之间的关系开展研究,以满足生产中简便评估的需要,而影响果实耐贮性的因素还包括很多

其他方面,如果实结构、矿质营养水平、关键蛋白酶的含量、衰老代谢相关底物与产物的积累水平等,在后续研究中可以将这些因素逐一收纳进来,以期得到变量解释程度更高、预测更准确的数学模型。

3.3 30 个品种龙眼果实的贮藏性能分类

由于常温和低温贮藏效果指标之间没有显著相关性,因此对 30 个品种在 2 种温度下的贮藏能力评价分开进行,部分品种在 2 种温度下表现出贮藏性能的差异。需要说明的是,在 30 个品种中,不少品种原产地属于其他省份,引种至广州后,由于地域和气候差异,可能导致不同于原产地的贮藏特性,但不影响发生变化后的成熟品质与贮藏性关系分析的结果,因为果实的贮藏能力取决于采收时所具备的内外性质特征,同一个品种、同一个果园、同一棵树上不同部位,以及同一棵树在不同年份所采收的果实,因为成熟品质的差异,都会带来贮藏效果的差异。本研究着重解决的问题是筛选出能够衡量果实贮藏能力的成熟品质,该品质可能因气候、地理、成熟度等因素而发生变化,但其与贮藏性的关系基本不变,从而为贮藏性能评价提供较为可靠的参考依据。

3.4 结论

本研究在龙眼果实成熟品质理化指标分析的基础上,分别建立了适合评价龙眼果实在常温和低温条件下贮藏性能的预测模型,并筛选出相应的有效评价指标,鉴定其作用大小。龙眼常温贮藏品质理化指标包括熟性、外果皮 a^* 值和可溶性固形物(TSS)含量,低温贮藏品质理化指标包括果皮龟状纹、果肉总糖和风味。今后在对不同品种、不同果园、不同树势等来源的果实进行贮藏性能评估时,可以通过测定或分析以上的有效指标,进行简便评估,对品种的生产推广或者果实的远销贮运具有参考作用。

参考文献:

[1] 沈德绪. 果树育种学[M]. 北京:中国农业出版社, 1984: 29-30.

[2] 潘学文,唐小浪. 龙眼品种图谱[M]. 广州:广东科技出版社,2006: 2-34.

[3] 韩冬梅,李建光,李荣,等. 不同龙眼品种果实的耐贮性比较[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(4): 6-11.

[4] 韩冬梅,蔡长河,吴振先. 龙眼果实的采后生理与贮藏特性[J]. 广东农业科学, 2001, 28(2): 25-27.

[5] 韩冬梅,吴振先,陈维信,等. 龙眼采后果肉生理生化变化研究[J]. 华南农业大学学报,2002, 23(1): 20-23.

- [6] SHI S Y, WANG W, LIU L Q, et al. Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature [J]. J Food Eng, 2013, 118(1): 125-131.
- [7] JIANG Y M, ZHANG Z Q, JOYCE D C, et al. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.) [J]. Postharvest Biol Tec, 2002, 26(3): 241-252.
- [8] 赵明磊, 邝健飞, 陆旺金, 等. 采后龙眼果肉自溶过程中 PME 基因的表达分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(2): 135-141.
- [9] 潘东明, 林琳, 郭志雄. 龙眼果皮过氧化物酶的分离纯化研究初报[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2003, 32(4): 543-544.
- [10] 林河通. 龙眼果实采后果皮褐变机理和采后处理技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003: 23.
- [11] 张强, 韩冬梅, 李建光, 等. 贮温对龙眼果肉采后衰老中的抗氧化能力及相关酶的影响[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(1): 18-22.
- [12] 韩冬梅, 吴振先, 季作梁, 等. SO_2 对龙眼果实的氧化作用与衰老的影响[J]. 果树科学, 1999, 16(1): 24-29.
- [13] 刘熙东. 龙眼果肉自溶及其细胞壁代谢的关系[D]. 广州: 华南农业大学, 2005: 6-7.
- [14] 季作梁, 张昭其, 王燕, 等. 芒果低温贮藏及其冷害的研究[J]. 园艺学报, 1994, 21(2): 111-116.
- [15] 陈业渊, 李琼, 李文化. 热带作物种质资源数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 39-43.
- [16] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 17-18.
- [17] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal Biochem, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [18] KAMPFENKEL K, VANMONTAGU M, INZE D. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue[J]. Anal Biochem, 1995, 225(1): 165-167.
- [19] 王静, 王晴, 向文胜. 色谱法在糖类化合物分析中的应用[J]. 分析化学, 2001, 29(2): 222-227.
- [20] 王惠聪, 吴子辰, 黄旭明, 等. 无患子科植物荔枝和龙眼中白坚木皮醇的测定[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(3): 315-319.
- [21] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 252-254.
- [22] 张永丽. 荔枝果皮褐变过程中 POD 活性变化及其基因表达分析[D]. 海口: 华南热带农业大学, 2007: 25.
- [23] 邓维斌, 唐兴艳, 胡大权, 等. SPSS19.0 统计分析应用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 154-250.
- [24] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 等. 冬枣优良单株果品品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491-2499.
- [25] 雷莹, 张红艳, 宋文化, 等. 利用多元统计法简化夏橙果实品质的评价指标[J]. 果树学报, 2008, 25(5): 640-645.
- [26] 张晓煜, 刘静, 王连喜. 枸杞品质综合评价体系构建[J]. 中国农业科学, 2004, 37(3): 416-421.
- [27] 聂继云, 毋永龙, 李海飞, 等. 苹果鲜榨汁品质评价体系构建[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1657-1667.

【责任编辑 李晓卉】