

基于“辨状论质”与质量常数的苦杏仁等级评价研究

刘立轩¹, 张 燃¹, 徐 超¹, 陈海燕¹, 张宏宣², 李 军^{1*}

1. 宁夏职业技术大学/宁夏中药材开发与利用工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021

2. 陕西本萃生物科技有限公司, 陕西 西安 710000

摘要: **目的** 建立科学合理的苦杏仁质量评价与分级标准。**方法** 以采集的32批山杏 *Prunus armeniaca* 干燥成熟种子为研究对象, 测定其形态参数(纵径、横径、厚径、仁形指数)、仁质量、硬度、色度值(L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^*_{ab})、气味响应值及苦杏仁苷含量, 采用质量常数法进行等级划分, 并通过相关性分析、偏最小二乘法-判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA)及回归分析探究各指标与质量等级的关联性。**结果** 32批苦杏仁质量常数范围为1.04~3.15, 依据质量常数值可分为选货(6批)和统货(26批); 苦杏仁苷含量与硬度、 b^* 值显著正相关($P < 0.05$), 质量常数与仁质量、横径、硬度、苦杏仁苷含量等指标极显著正相关($P < 0.01$); PLS-DA模型可有效区分不同等级苦杏仁, 苦杏仁苷含量和质量常数是分级的关键变量; 回归分析表明硬度可解释20.0%的苦杏仁苷含量变异, 硬度与横径共同解释60.10%的质量常数变异。**结论** 构建的基于外观性状、内在成分及质量常数的评价体系, 有助于规范苦杏仁市场秩序, 可为苦杏仁品质评价与市场分级提供科学依据。

关键词: 苦杏仁; 辨状论质; 外观性状; 苦杏仁苷; 质量常数; 质量评价; 等级划分

中图分类号: R282 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)08-3154-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.08.026

Study on grade evaluation of *Armeniaca Semen Amarum* based on “quality evaluation through morphological identification” and quality constants

LIU Lixuan¹, ZHANG Ran¹, XU Chao¹, CHEN Haiyan¹, ZHANG Hongxuan², LI Jun¹

1. Ningxia Polytechnic University, Ningxia Engineering Technology Research Center for the Development and Utilization of Chinese medicinal materials, Yinchuan 750021, China

2. Shaanxi Bencui Biotechnology Co., Ltd., Xi'an 710000, China

Abstract: Objective To establish a scientific and reasonable quality evaluation and grading standard for *Armeniaca Semen Amarum* (ASA). **Methods** Taking 32 batches of dried mature seeds of *Prunus armeniaca* as the research objects, Their morphological parameters (longitudinal diameter, transverse diameter, thickness diameter, kernel shape index), kernel dry weight, hardness, color values (L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^*_{ab}), odor response values, and amygdalin content were determined. Grade classification was performed using the quality constant method, and the correlations between various indicators and quality grades were investigated through correlation analysis, partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA), and regression analysis. **Results** The quality constant A of the 32 batches of ASA kernels ranged from 1.04 to 3.15. Based on the A value, they could be classified into selected grade (six batches) and mixed grade (26 batches). Amygdalin content was significantly positively correlated with hardness and b^* value ($P < 0.05$), and the quality constant A was extremely significantly positively correlated with dry kernel weight, transverse diameter, hardness, and amygdalin content ($P < 0.01$). The PLS-DA model could effectively distinguish ASA of different grades, and amygdalin content and quality constant A were identified as the key variables for grading. Regression analysis showed that hardness could explain 20.0% of the variation in amygdalin content, while hardness and transverse diameter together explained 60.10% of the variation in the quality constant. **Conclusion** The evaluation system constructed in this study based on appearance characteristics, intrinsic components, and quality constant, which helps standardize the market order of ASA, ensure the safety and efficacy of clinical medication. It is of great

收稿日期: 2025-12-03

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2024AAC03358); 2023年宁夏回族自治区青年拔尖人才培养项目(宁人社函(2024)106号); 宁夏重点研发计划项目(2024BEG03016)

作者简介: 刘立轩, 男, 副教授。从事中药鉴别及炮制方面研究。E-mail: llx322@sohu.com

*通信作者: 李 军, 教授。从事中药质量控制及评价方面研究。E-mail: lijunamy@126.com

significance for promoting the standardized development of ASA industry and can provide a scientific basis for the quality evaluation and market grading of ASA.

Key words: *Armeniaca Semen Amarum*; quality evaluation through morphological identification; appearance traits; amygdalin; quality constant; quality evaluation; grade classification

苦杏仁为蔷薇科植物山杏 *Prunus armeniaca* L. var. *ansu* Maxim.、西伯利亚杏 *P. sibirica* L.、东北杏 *P. mandshurica* (Maxim.) Koehne 或杏 *P. armeniaca* L. 的干燥成熟种子, 主要用于咳嗽气喘、胸满痰多、肠燥便秘等症^[1], 其在中药制剂中应用广泛, 《中国药典》2025 年版收载的含苦杏仁制剂达 99 种^[2]。苦杏仁中含苷类、脂肪类、挥发油类等多种化学成分, 苦杏仁苷为其核心活性成分, 具有镇咳祛痰、抗炎镇痛、抗肿瘤等多种药理作用^[3-6]。我国苦杏仁资源丰富, 主产于宁夏、甘肃、内蒙古等多地^[7], 其中宁夏彭阳县作为六盘山区地道苦杏仁核心分布区, 资源面积达 4.67 万公顷, 所产苦杏仁品质优良^[8-9], 为苦杏仁产业发展提供了坚实的资源基础。

苦杏仁的质量直接决定其临床疗效与市场流通价值, 建立科学的质量评价体系是其产业规范化发展的关键。目前苦杏仁的质量评价主要分为传统经验鉴别与现代仪器分析 2 类, 传统方法以“辨状论质”^[10]为核心, 依据外观形态、颜色、气味等感官特征判定品质, 认为成熟、饱满、肥厚、味苦者为佳^[11], 该方法直观简便但主观性强、缺乏量化标准, 评价结果的客观性与重现性难以保证; 现代质量控制则以《中国药典》规定的苦杏仁苷含量测定及常规检查为核心^[12], 虽实现了指标成分的量化, 却无法全面反映药材整体质量特征, 且未科学阐释外观性状与内在成分的关联性, 导致传统经验与现代标准缺乏有效衔接。同时, 现有标准尚未构建科学的苦杏仁分级体系, 市场仍以传统经验分级为主, 存在标准不统一、品质参差不齐的问题, 优质优价难以实现, 严重制约了苦杏仁产业的高质量发展。

质量常数法是将中药活性成分内在质量指标 (M) 与饮片外观性状参数 (h) 平方之比计算为质量常数, 并依此进行饮片质量等级评价的综合性方法^[12], 该方法实现了中药外观性状与内在活性成分的有机结合, 完成了对传统“辨状论质”的客观量化, 已在覆盆子、秦艽、当归、黄芪等多种中药材的等级评价中成功应用^[13-19], 为融合传统经验与现代科学的中药材质量评价体系构建提供了有效路径。

基于上述科学问题, 本研究立足中药“辨状论质”传统理念, 结合现代仪器分析技术, 以 32 批苦杏仁为研究对象, 系统测定其形态学特征、硬度、色度、气味及苦杏仁苷含量等指标, 通过质量常数法结合多元统计分析, 建立科学的质量评价与等级划分方法, 为规范产区苦杏仁市场秩序、提升药材品质、促进产业高质量发展提供数据支撑与技术参考, 为苦杏仁的品质鉴定、市场流通及产业规范化提供科学依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Agilent 1260 Infinity 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); isenso iNose 型电子鼻 (美国 ISENSO 公司); PEL-204 型十万分之一电子天平 [梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司]; AS3120 型超声波清洗器 (天津奥特赛恩斯仪器有限公司); PCDX-WY 型超纯水机 (成都品成科技有限公司); 艾瑞泽 ARZ-1331 型不锈钢电子数显卡尺 (鲁匠工具有限有限公司); YD-II 型片剂硬度测定仪 (山东欧莱博仪器有限公司); vivoS20 型手机 (维沃移动通讯有限公司); FSJ-A03E1 型粉碎机 (小熊电器股份有限公司)。

1.2 试剂

对照品苦杏仁苷 (批号 110820-202410, 质量分数为 94.9%, 中国食品药品检定研究院), 甲醇、乙腈为色谱纯 (Sigma 公司), 水为超纯水, 其他试剂为分析纯。

1.3 药材

32 批苦杏仁于杏成熟时采收于宁夏回族自治区彭阳县 (表 1), 经宁夏大学李吉宁副教授鉴定均为蔷薇科植物山杏 *P. armeniaca* L. var. *ansu* Maxim. 的干燥成熟种子。

2 方法与结果

2.1 苦杏仁外观形态及硬度测定

每批随机选取破核后外观性状完整无破损样品 20 个, 采用游标卡尺测定纵径、横径、厚径, 并依据公式计算各样品仁形指数^[20] (仁形指数 = 仁纵径/仁横径); 采用 PL402-L 型电子天平测定苦杏仁的质量 (仁质量); 采用 YD-II 片剂硬度测定仪测定

表 1 样品采集信息

Table 1 Sample collection information

编号	采收地	编号	采收地
kx1	彭阳县白阳镇	kx17	彭阳县白阳镇
kx2	彭阳县白阳镇	kx18	彭阳县白阳镇
kx3	彭阳县白阳镇	kx19	彭阳县白阳镇
kx4	彭阳县白阳镇	kx20	彭阳县白阳镇
kx5	彭阳县白阳镇	kx21	彭阳县白阳镇
kx6	彭阳县白阳镇	kx22	彭阳县古城镇
kx7	彭阳县白阳镇	kx23	彭阳县古城镇
kx8	彭阳县白阳镇	kx24	彭阳县古城镇
kx9	彭阳县白阳镇	kx25	彭阳县古城镇
kx10	彭阳县白阳镇	kx26	彭阳县古城镇
kx11	彭阳县白阳镇	kx27	彭阳县红河镇
kx12	彭阳县白阳镇	kx28	彭阳县红河镇
kx13	彭阳县白阳镇	kx29	彭阳县红河镇
kx14	彭阳县白阳镇	kx30	彭阳县古城镇
kx15	彭阳县白阳镇	kx31	彭阳县古城镇
kx16	彭阳县白阳镇	kx32	彭阳县古城镇

苦杏仁硬度。所有测定数据均以平均值计入最终结果，见表 2。

2.2 苦杏仁表面颜色测定

将每批苦杏仁随机抽取的样品按图 1 所示紧凑摆放于 A4 白纸上拍照，重复拍照 3 次。利用手机支架将 vivoS20 手机固定于同一高度，在相同摄影环境及光照条件下，保持摄像参数不变进行拍照，焦距：4.28 mm；光圈：F/1.7；ISO 速度：ISO-300；白平衡：Auto；曝光时间：1/45 s；无闪光；拍照照片以 JPG 格式保存，利用 remove.bg 软件去除背景，并保存为 PNG 格式，将保存好的 PNG 格式照片拖入 Gradients.app 软件，获取图像的平均颜色，并利用颜色转化工具将颜色代码转换为 LAB 格式，以平均值记录 L^* 、 a^* 和 b^* 值结果，并计算总色度，总色度值 $E^*_{ab} = (L^{*2} + a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ [21]，结果见表 2。

表 2 形态参数、仁质量、硬度、色度值、苦杏仁苷含量、质量常数及分级结果

Table 2 Morphological parameters, kernel dry weight, hardness, color values, amygdalin content, quality constants and classification results

编号	仁质量/g	纵径/mm	横径/mm	仁形指数	厚径/mm	硬度/N	L^*	a^*	b^*	E^*_{ab}	苦杏仁苷/%	质量常数	等级
kx1	0.35	13.21	10.62	1.24	5.61	38.22	18	8	14	24.17	5.52	1.93	选货
kx2	0.33	12.37	9.77	1.27	6.66	55.30	12	7	12	18.36	3.94	1.30	统货
kx3	0.41	14.42	10.63	1.37	5.44	71.27	17	8	15	24.04	4.79	1.96	选货
kx4	0.28	11.22	9.14	1.23	5.40	44.34	11	6	10	16.03	4.05	1.66	统货
kx5	0.33	13.05	10.94	1.19	4.77	53.33	18	8	16	25.38	4.71	1.55	统货
kx6	0.50	15.05	11.71	1.28	5.76	55.74	22	9	17	29.22	4.85	2.43	选货
kx7	0.40	13.50	9.88	1.37	6.82	60.66	18	8	13	23.60	4.55	1.82	统货
kx8	0.45	15.89	10.97	1.45	5.56	69.07	21	11	18	29.77	5.41	2.43	选货
kx9	0.35	14.02	10.37	1.35	5.06	47.17	16	9	16	24.35	3.99	1.40	统货
kx10	0.46	15.45	11.84	1.30	5.26	56.82	24	11	21	33.73	5.25	3.15	选货
kx11	0.35	11.45	9.78	1.17	6.36	47.63	11	7	10	16.43	3.94	1.38	统货
kx12	0.32	14.97	9.90	1.51	4.56	48.34	20	9	16	27.15	4.68	1.50	统货
kx13	0.52	15.24	12.08	1.26	6.07	56.63	22	10	18	30.13	4.70	2.44	选货
kx14	0.31	14.33	10.00	1.43	4.89	40.61	15	8	13	21.40	3.35	1.04	统货
kx15	0.43	14.85	10.33	1.44	5.45	65.50	19	9	16	26.42	3.85	1.66	统货
kx16	0.38	13.77	10.67	1.29	5.42	51.13	16	9	14	23.09	3.85	1.46	统货
kx17	0.35	13.53	10.43	1.30	5.47	44.26	16	8	13	22.11	3.48	1.22	统货
kx18	0.48	15.62	11.78	1.33	5.95	47.83	21	9	15	27.33	3.56	1.71	统货
kx19	0.32	15.25	10.04	1.52	4.49	48.94	20	9	16	27.15	3.81	1.22	统货
kx20	0.39	14.53	10.66	1.36	5.57	49.06	18	9	14	24.52	3.93	1.53	统货
kx21	0.34	13.27	10.25	1.29	5.19	39.65	15	8	13	21.40	3.94	1.34	统货
kx22	0.39	15.48	10.54	1.47	5.01	46.17	19	9	16	26.42	3.45	1.38	统货
kx23	0.34	15.16	9.71	1.56	4.85	53.37	15	8	13	21.40	4.89	1.66	统货
kx24	0.28	12.55	8.82	1.42	5.31	45.88	10	7	10	15.78	4.14	1.16	统货
kx25	0.28	13.48	9.69	1.39	4.47	49.57	14	7	12	19.72	4.63	1.30	统货
kx26	0.36	14.93	9.91	1.51	4.79	45.78	18	9	12	23.43	4.15	1.49	统货
kx27	0.36	14.42	9.98	1.44	5.27	47.90	17	9	12	22.67	4.02	1.45	统货
kx28	0.35	14.69	10.73	1.37	5.06	52.57	16	10	15	24.10	4.11	1.44	统货
kx29	0.37	14.60	8.99	1.62	5.51	62.42	16	8	12	21.54	4.23	1.57	统货
kx30	0.29	12.66	8.66	1.46	5.19	45.50	12	8	9	17.00	3.59	1.04	统货
kx31	0.34	14.63	10.68	1.37	4.25	38.59	22	9	15	28.11	3.40	1.16	统货
kx32	0.34	12.52	9.73	1.29	5.85	47.95	17	8	11	21.77	4.48	1.52	统货



图1 样品拍照示例
Fig. 1 Sample photography example

2.3 苦杏仁气味检测

检测条件: 清洗时间 120 s, 传感器归零时间 20 s, 样品测定准备时间 10 s, 电子鼻入口体积流量 1 L/min, 分析采样时间 150 s。

将样品粉碎过 2 号筛, 取各批次苦杏仁 1.5 g 置 50 mL 顶空瓶中加盖密封后室温下 (20 °C) 放置 1 h, iNose 电子鼻进行检测, 每个样品平行检测 3 次, 记录传感器响应最大值以平均值计入最终结果, 见表 3。

表 3 电子鼻传感器气味信息响应特征值
Table 3 Odor response characteristic values of of electronic nose sensors

编号	传感器响应值													
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
kx1	1.23	1.19	1.29	1.17	1.30	1.07	1.08	1.36	1.03	1.01	1.10	0.99	0.97	1.01
kx2	1.16	1.15	1.26	1.13	1.23	1.03	1.06	1.29	0.99	0.99	1.09	0.99	0.97	1.01
kx3	1.20	1.16	1.25	1.12	1.28	1.00	1.03	1.34	0.98	0.97	1.09	0.99	0.97	1.01
kx4	1.01	0.88	1.19	1.09	1.09	0.93	0.99	1.31	0.84	0.83	0.81	0.64	0.60	0.90
kx5	1.10	1.02	1.22	1.10	1.18	0.96	1.01	1.33	0.91	0.90	0.95	0.81	0.79	0.95
kx6	1.51	1.31	1.25	1.24	1.74	1.00	1.07	1.82	0.99	1.10	1.12	1.00	0.98	1.03
kx7	1.51	1.31	1.25	1.24	1.74	1.00	1.07	1.82	0.99	1.10	1.12	1.00	0.98	1.03
kx8	1.79	1.40	1.23	1.38	1.92	0.99	1.11	2.56	1.03	1.15	1.23	1.09	1.04	1.09
kx9	1.75	1.43	1.25	1.36	2.00	1.00	1.13	2.31	1.00	1.17	1.21	1.07	1.03	1.08
kx10	2.70	1.77	1.24	1.63	2.71	1.05	1.27	3.66	1.15	1.35	1.47	1.28	1.22	1.24
kx11	1.43	1.26	1.25	1.18	1.59	0.99	1.06	1.70	0.99	1.07	1.11	1.00	0.98	1.02
kx12	1.47	1.29	1.23	1.25	1.71	0.99	1.07	1.73	0.98	1.07	1.10	0.99	0.98	1.01
kx13	2.00	1.50	1.26	1.45	2.14	1.01	1.16	2.71	1.05	1.21	1.28	1.13	1.08	1.13
kx14	1.59	1.40	1.22	1.34	1.96	0.99	1.09	1.89	0.98	1.10	1.13	1.00	0.99	1.02
kx15	1.45	1.40	1.28	1.42	1.82	1.25	1.23	1.98	1.26	1.19	1.22	1.13	1.08	1.20
kx16	2.14	1.71	1.32	1.57	2.49	1.27	1.26	3.16	1.35	1.29	1.43	1.26	1.21	1.21
kx17	1.28	1.24	1.25	1.20	1.38	1.09	1.12	1.49	1.05	1.04	1.14	1.00	0.98	1.03
kx18	1.73	1.48	1.28	1.44	2.10	1.09	1.15	2.48	1.14	1.16	1.27	1.10	1.07	1.11
kx19	1.65	1.35	1.27	1.23	1.79	1.05	1.12	1.99	1.04	1.15	1.17	1.05	1.02	1.07
kx20	1.40	1.22	1.28	1.16	1.47	1.01	1.07	1.66	1.00	1.08	1.11	1.00	0.98	1.03
kx21	1.40	1.22	1.23	1.15	1.47	1.00	1.06	1.62	0.99	1.08	1.11	1.00	0.98	1.03
kx22	2.45	1.67	1.26	1.53	2.52	1.12	1.23	3.65	1.22	1.27	1.37	1.21	1.19	1.17
kx23	2.69	1.73	1.27	1.54	2.59	1.12	1.25	3.97	1.24	1.31	1.44	1.28	1.24	1.21
kx24	1.77	1.36	1.22	1.27	1.85	1.00	1.11	2.37	1.02	1.15	1.18	1.07	1.04	1.07
kx25	1.61	1.29	1.23	1.22	1.70	0.99	1.08	2.01	0.98	1.10	1.12	1.01	0.98	1.03
kx26	2.49	1.71	1.29	1.56	2.62	1.11	1.24	3.77	1.22	1.33	1.42	1.27	1.24	1.23
kx27	2.72	1.80	1.22	1.59	2.75	1.08	1.25	4.07	1.20	1.37	1.49	1.31	1.27	1.26
kx28	2.78	1.78	1.22	1.63	2.74	1.06	1.26	4.13	1.16	1.37	1.49	1.31	1.26	1.26
kx29	1.45	1.25	1.23	1.18	1.57	0.99	1.06	1.71	0.98	1.10	1.12	1.02	0.99	1.04
kx30	1.58	1.39	1.27	1.24	1.77	1.01	1.09	2.01	1.01	1.15	1.22	1.06	1.02	1.06
kx31	1.62	1.35	1.29	1.28	1.80	1.00	1.10	2.19	1.01	1.17	1.17	1.08	1.04	1.08
kx32	1.56	1.34	1.27	1.22	1.75	1.00	1.09	1.92	0.98	1.14	1.16	1.05	1.02	1.06

2.4 苦杏仁苷含量测定^[1]

2.4.1 对照品溶液的制备 取苦杏仁苷对照品适量,精密称定,加甲醇制成含 40 μg/mL 苦杏仁苷的对照品溶液。

2.4.2 供试品溶液的制备 取苦杏仁粉末(过二号筛) 0.25 g,精密称定,置具塞锥形瓶中,精密加入甲醇 25 mL,密塞,称定质量,超声处理(功率 250 W,频率 50 kHz) 30 min,放冷,再称定质量,用甲醇补足减失的质量,摇匀,滤过,精密量取续滤液 5 mL,置 50 mL 量瓶中,加甲醇稀释至刻度,摇匀,滤过,取续滤液,即得。

2.4.3 色谱条件 月旭科技 XB-C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相为乙腈-0.1%磷酸溶液(8:92);体积流量 1.0 mL/min;进样量为 10 μL;柱温 30 ℃;检测波长 207 nm。对照品溶液与供试品溶液的 HPLC 色谱图见图 2。

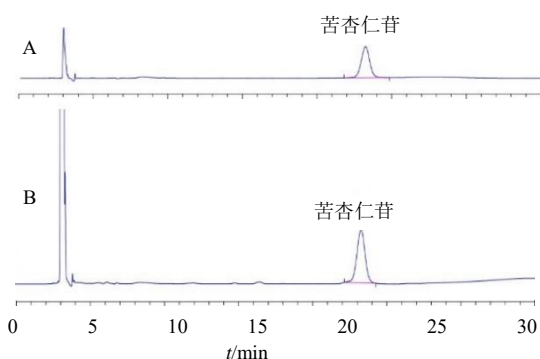


图2 对照品溶液(A)和供试品溶液(B)的HPLC图

Fig. 2 HPLC chromatograms of reference solution (A) and test solution (B)

2.4.4 线性回归方程的绘制 取苦杏仁苷对照品储备液,分别稀释制成质量浓度为 5.010 7、10.021 4、20.042 9、40.085 8、60.128 6、100.214 4 μg/mL 的对照品溶液,精密吸取各对照品溶液 10 μL 注入高效液相色谱仪,按“2.4.3”项下色谱条件进行测定,记录峰面积,以对照品质量浓度为横坐标(X),峰面积为纵坐标(Y),绘制标准曲线。苦杏仁苷在 5.010 7~100.214 4 μg/mL 内线性关系良好,回归方程为 $Y=11.053 X+6.887 8$, $R^2=0.999 2$ 。

2.4.5 精密度试验 精密吸取苦杏仁苷对照品溶液 10 μL 注入高效液相色谱仪,按“2.4.3”项下色谱条件,连续进样 6 次测定,记录峰面积,计算峰面积的 RSD 为 1.31%,表明仪器的精密度良好。

2.4.6 重复性试验 取编号为 kx1 的样品,按

“2.4.2”项下制备方法平行制备 6 份供试品溶液,“2.4.3”项色谱条件下进样 10 μL 进行测定,计算苦杏仁苷质量分数的 RSD 为 0.70%,表明方法重复性良好。

2.4.7 稳定性试验 取供试品溶液,按“2.4.3”项下色谱条件进样 10 μL,分别在 0、2、4、8、12、18、24 h 测定,记录峰面积,计算峰面积的 RSD 为 0.98%,表明 24 h 内稳定。

2.4.8 加样回收率试验 取已测定含量的样品(编号 kx1,含苦杏仁苷 53.50 mg/g) 6 份,各 0.125 g,精密称定,置锥形瓶中,分别精密加入苦杏仁苷对照品适量,按“2.4.2”项下供试品制备方法制备,按“2.4.3”项下色谱条件进样 10 μL 进行测定,计算苦杏仁苷平均加样回收率为 97.45%,RSD 为 0.70%,表明方法回收率良好。

2.4.9 样品含量测定 取各批苦杏仁按“2.4.2”项下供试品溶液制备方法制备样品溶液,按“2.4.3”项下色谱条件测定,计算苦杏仁苷含量,结果见表 2。

2.5 质量常数计算与等级划分

依据中药质量常数法的饮片分类原则,参考覆盆子质量常数计算方法^[13],苦杏仁为未切制种子类饮片,采用公式计算质量常数。

$$\text{质量常数} = m \times c$$

m 为单个质量, c 为指标成分含量

32 批苦杏仁饮片的质量常数为 1.04~3.15。根据市场对苦杏仁分级的现状及 CACM 1021.68—2018 苦杏仁规格等级划分,参考秦艽饮片分级^[14],以样品最大质量常数为 100%,将质量常数不低于 60% 的设定为选货,低于 60% 的设定为统货,结果显示选货共 6 批,分别为 kx1、kx3、kx6、kx8、kx10、kx13,剩余 26 批为统货,见表 2,等级划分标准见表 4。

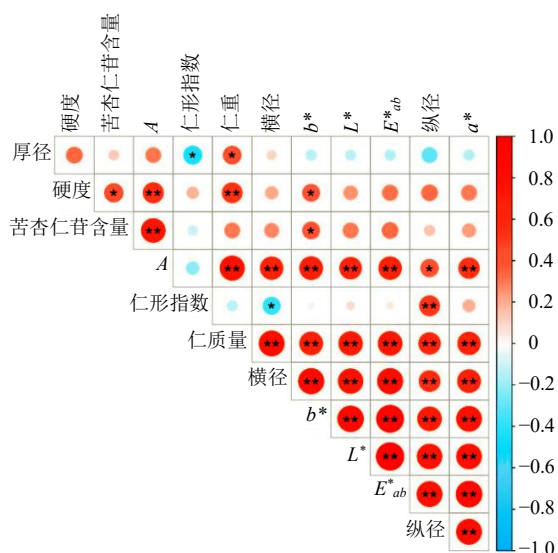
表4 苦杏仁等级划分标准

Table 4 Classification standard for ASA

等级	质量常数
选货	≥1.89
统货	<1.89

2.6 相关性分析

2.6.1 形态参数、色度值、苦杏仁苷含量及质量常数相关性分析 对形态参数、仁质量、硬度、色度值、苦杏仁苷含量、质量常数进行皮尔逊相关性分析,结果如图 3,红色代表正相关,蓝色代表负相关,圈颜色越深相关性越强。苦杏仁苷含量与硬度、



* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$.

图3 形态参数、色度值、苦杏仁苷含量及质量常数相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of morphological parameters, color values, amygdalin content and quality constants

b^* 显著正相关, 质量常数与硬度、仁质量、横径、 L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^*_{ab} 及苦杏仁苷的含量极显著正相关, 与纵径显著正相关, 表明硬度及 b^* 对苦杏仁苷含量影响较大, 硬度、仁质量、横径、 L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^*_{ab} 及苦杏仁苷的含量对样品分级起决定性作用。

2.6.2 气味特征值、苦杏仁苷含量及质量常数相关性分析 iNose 电子鼻检测系统由 14 个不同的金属氧化物传感器组成 (S1~S14), 传感器对醇类、醛类、烷烃类、碳氧化合物、氮氧化合物、芳香类化合物等有机物质有良好的选择性^[22]。对电子鼻响应特征值、苦杏仁苷含量、质量常数进行皮尔逊相关性分析。结果如图 4, 经分析发现 14 根传感器响应值与苦杏仁苷含量及质量常数均无显著相关性 ($P > 0.05$)。

2.7 偏最小二乘法-判别分析 (partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)

结合相关性分析结果, 以仁质量、横径、纵径、硬度、色度值、苦杏仁苷含量、质量常数为变量, 采用 SIMCA 14.1 分析软件进行“质地、形态、颜色、含量”PLS-DA 分析, 结果如图 5 所示, 样品差异显著, 明显分为 2 类, $R^2_X = 0.795$, $R^2_Y = 0.721$, $Q^2 = 0.553$, 均大 0.5, 表明模型较好, 具有较强的预测效果。对模型进行 200 次置换检验, 发现置换检验的 Q^2 值均低于右侧原始值, Q^2 回归线的截距

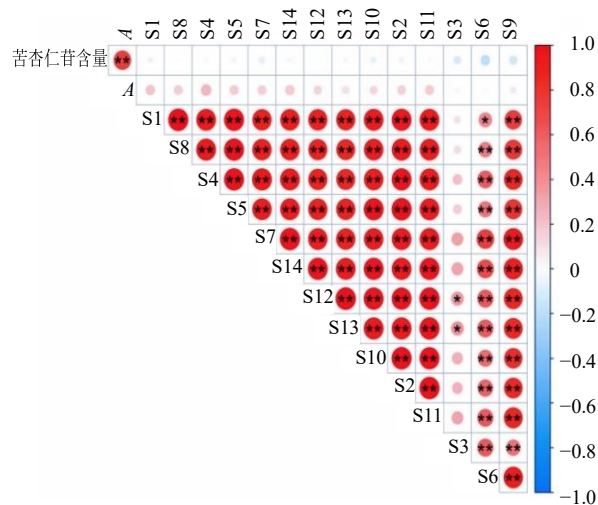


图4 气味特征值、苦杏仁苷含量及质量常数相关性分析
Fig. 4 Correlation analysis of odor characteristic values, amygdalin content and quality constants

为负值, 表明模型未过拟合, 模型稳定。载荷图显示质量常数及苦杏仁苷含量与仁质量、横径、硬度关系更为接近。以电子鼻 14 根传感器响应值、苦杏仁苷含量、质量常数为变量, 采用 SIMCA 14.1 分析软件进行“气味、含量”PLS-DA 分析, 结果如图 6 所示, 样品也明显分为 2 类, $R^2_X = 0.948$, $R^2_Y = 0.756$, $Q^2 = 0.578$, 均大 0.5, 模型稳定性好。由变量权重值 (variable importance projection, VIP) 图可知电子鼻 14 传感器响应值对应的 VIP 值均小于 0.5, 对苦杏等级划分无明显影响, 而苦杏仁苷含量及质量常数是影响分级的最大变量, PLS-DA 分析结果与质量常数等级评价结果一致。

2.8 回归分析

相关性分析表明苦杏仁苷含量及质量常数与多个性状特征指标相关, PLS-DA 载荷分析进一步表明苦杏仁苷含量与硬度, 质量常数与横径、硬度相关性更大。运用 SPSS Statistics 22, 以硬度为自变量、苦杏仁苷含量为因变量, 以横径、硬度为自变量、质量常数为因变量, 分别进行多元回归分析, 结果见表 5 和表 6。由表 5 可知苦杏仁苷含量有 20.0% 受到苦杏仁硬度的影响, 回归方程为 $Y_{\text{苦杏仁苷含量}} = 2.609 + 0.032 X_{\text{硬度}}$ 。由表 6 可知质量常数有 60.10% 受到苦杏仁硬度与横径的共同影响, 回归方程为 $Y_{\text{质量常数}} = -2.812 + 0.024 X_{\text{硬度}} + 0.313 X_{\text{横径}}$ 。回归分析 F 值分别为 7.521、21.841, 显著性均小于 0.01, 表明回归方程模型均较显著。

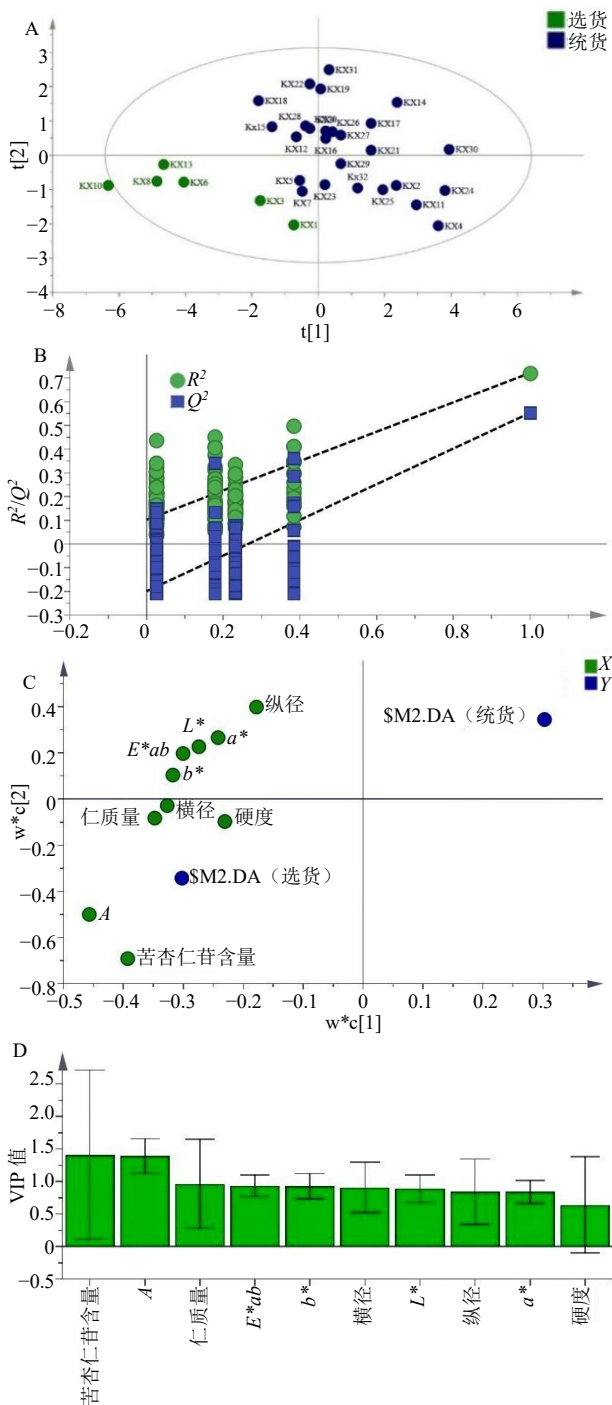


图5 “质地、形态、颜色、含量” PLS-DA 得分图 (A)、载荷图 (B)、置换检验图 (C)、VIP 图 (D)
Fig. 5 OPLS-DA scatter plot (A), loading scatter plot (B), permutation tests plot (C), and VIP plot (D) of “texture, shape, color, and content”

3 讨论

本研究以 32 批苦杏仁为研究对象，围绕“辨状论质”核心思想，将传统外观性状评价与现代化学成分分析相结合，从形态特征、理化性质、有效

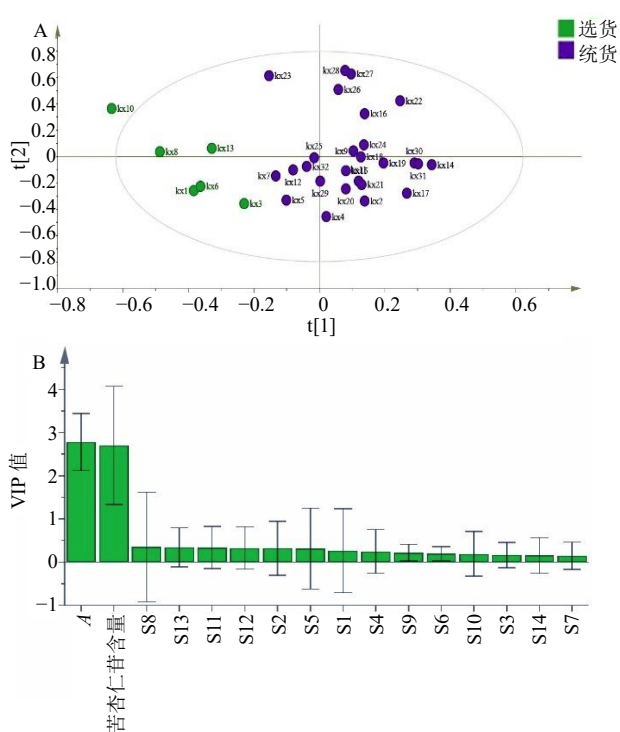


图6 “气味、含量” PLS-DA 得分图 (A) 和 VIP 图 (B)
Fig. 6 OPLS-DA scatter plot (A), and VIP plot (B) of “odor and content”

成分含量等多维度开展质量评价，首次结合质量常数法与多元统计分析建立苦杏仁分级标准，为苦杏仁的科学分级提供了新视角。

3.1 外观性状与内在质量的关联性

形态参数与理化指标的测定结果显示，32 批苦杏仁在仁质量、纵径、横径、硬度及苦杏仁苷含量等指标上存在显著差异，其中仁质量范围为 0.28~0.52 g，苦杏仁苷质量分数为 3.35%~5.52%，表明产区苦杏仁品质受生长环境、遗传特性等因素影响存在自然变异。传统“辨状论质”认为，药材的大小、质地、色泽等外观特征与其内在药效成分含量密切相关^[23-24]，本研究相关性分析结果印证了这一传统经验。相关性分析发现，苦杏仁苷含量与硬度、 b^* 值显著正相关，表明质地坚硬、色泽偏黄 (b^* 值越高，黄色调越明显^[25]) 的苦杏仁，其有效成分苦杏仁苷含量更高。这一发现为传统“辨状论质”提供了量化依据，解释了为何优质苦杏仁常表现为颗粒饱满、质地坚实的性状特征。此外，质量常数与仁质量、横径、硬度、 L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^*_{ab} 及苦杏仁苷含量均呈极显著正相关，说明苦杏仁的“形、质、色”与内在药效成分高度协同，可通过外观性状的综合判断初步筛选优质药材。

表5 硬度与苦杏仁苷含量回归分析结果

Table 5 Regression analysis results of hardness and amygdalin content

参数	非标准化系数	标准化系数	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>R</i> ²	调整后 <i>R</i> ²
常量	2.609	—	4.368	0.000	7.512	0.010	0.448	0.200	0.174
硬度	0.032	0.448	2.741	0.010	—	—	—	—	—

表6 硬度、横径与质量常数回归分析结果

Table 6 Regression analysis results of hardness, transverse diameter and mass constant

参数	非标准化系数	标准化系数	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>R</i> ²	调整后 <i>R</i> ²
常量	-2.812	—	-4.046	0.000	21.841	0.000	0.775	0.601	0.573
硬度	0.024	0.421	3.511	0.001	—	—	—	—	—
横径	0.313	0.569	4.741	0.000	—	—	—	—	—

3.2 质量常数与等级划分的合理性

CACM 1021.68—2018 将苦杏仁规格等级划分为选货和统货，以长宽平均较大且饱满，破碎度≤1%的为选货，以不按直径大小分等，破碎度≤3%的为统货，选货和统货的区分较难把握。本研究参考质量常数法在覆盆子中的计算方法及秦艽饮片的分级阈值设定方法^[13-14]，采用公式计算苦杏仁质量常数，将 32 批样品分为选货（质量常数≥1.89）和统货（质量常数<1.89），结果显示 6 批选货均表现出仁质量较大、横径较粗、硬度较高及苦杏仁苷含量较丰富的特征，与市场对“选货”颗粒均匀、饱满、完整的品质认知一致，表明该分级方法具有较强的实用性。相较于单一以大小或成分含量为标准的分级方式，质量常数兼顾了药材的“量”（个体质量）与“质”（有效成分），更能全面反映苦杏仁的综合品质，可为市场定价与质量管控提供一定依据。

3.3 多元统计分析的应用价值

PLS-DA 分析结果表明，基于“质地、形态、颜色、含量”及“气味、含量”的 2 类模型均能有效区分选货与统货，模型 R^2_X 、 R^2_Y 及 Q^2 均大于 0.5，且模型稳定性良好。VIP 分析显示，苦杏仁苷含量与质量常数是影响分级的核心变量，而电子鼻 14 个传感器响应值的 VIP 值均小于 0.5，表明苦杏仁气味特征与质量等级无显著关联，这可能与苦杏仁气味主要由挥发性成分构成，而其品质核心取决于非挥发性活性成分苦杏仁苷有关。载荷图进一步揭示质量常数、苦杏仁苷含量与仁质量、横径、硬度的关联性最强，提示这 3 个指标可作为苦杏仁快速分级的核心指标，为后续简化评价流程、开发快速检测方法提供了方向。回归分析过程中经显著性检验剔除仁质量、 b^* 2 个变量，回归分析表明，硬度对

苦杏仁苷含量具有显著预测作用 ($R^2=0.200$)，而硬度与横径共同对质量常数的预测效果更优 ($R^2=0.601$)，该回归方程可用于苦杏仁品质的初步预测，降低检测成本。

本研究建立的分级标准以最大质量常数（即质量常数≥1.89）为选货标准，兼顾了药材的外在形态与内在品质，相较于传统经验分级更具客观性与可操作性，也进一步拓展了质量常数评价法在种子类中药材中的应用范围。基于“道地药材”优选原则及控制变量法的考量，本研究样本均采集自宁夏彭阳，该区域作为苦杏仁的核心道地产区^[26]，样品具有代表性且品质稳定，有利于初步建立质量常数评价模型，不仅能够为道地产区的药材分级提供直接依据，同时也为跨产区、多来源样本的适用性验证提供了科学的参照系与标尺，后续将扩大样本产区范围，进一步完善该评价体系。苦杏仁苷为《中国药典》规定的专属性药效成分，是苦杏仁质量控制的核心，本研究通过关联苦杏仁苷与外观性状、硬度等指标，已明确其在质量分级中的关键作用，后续将在本方法基础上，逐步纳入其他重要成分构建更精细的多级评价体系。

综上，本研究通过多维度指标测定与多元统计分析，建立了科学可行的苦杏仁质量评价与分级方法，明确了硬度、横径及苦杏仁苷含量为关键评价指标，既传承了“辨状论质”的传统智慧，又融合了现代量化分析技术，可为苦杏仁的品质控制、市场流通及产业升级提供重要参考，推动“辨状论质”传统经验的现代化、标准化应用，助力苦杏仁产业的提质增效。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 中国药典 [S]. 一部. 2025: 218.

- [2] 陈霞, 李计萍. 苦杏仁及其制剂的质量控制体系探讨 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(19): 200-205.
- [3] 孙翠鸽, 郑潇楠, 邸晴, 等. 苦杏仁成分及其在肺癌防治中的靶点预测研究进展 [J]. 药学前沿, 2025, 29(10): 1738-1747.
- [4] 赵玉升, 胡杰, 吴佳姝, 等. 苦杏仁炮制方法及药理作用研究进展 [J]. 中医药导报, 2021, 27(3): 175-180.
- [5] 辛洁萍, 王海丽, 王敏, 等. 苦杏仁药材及其饮片质量标准提高 [J]. 中国现代中药, 2020, 22(7): 1016-1021.
- [6] 柏寒, 贺梦媛, 徐洋, 等. 中药苦杏仁研究进展及质量标志物的预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(9): 199-209.
- [7] 吴月亮, 许淼, 董胜君, 等. 不同产区苦杏仁营养成分分析 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(23): 300-305.
- [8] 徐博, 吴翠, 李卓俊, 等. 苦杏仁采后的现状调研和质控建议 [J]. 西部中医药, 2023, 36(10): 45-48.
- [9] 马斌, 温学萍, 李明, 等. 2016—2021年宁夏回族自治区中药材种植及种子种苗生产现状 [J]. 中国现代中药, 2023, 25(11): 2408-2416.
- [10] 肖玉洁, 赵祥升, 魏建和. 中药“辨状论质”理论的发展与应用 [J]. 药学前沿, 2024, 28(9): 155-169.
- [11] 薛紫鲸, 张丹, 郭龙, 等. 经典名方中苦杏仁的本草考证 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(10): 207-214.
- [12] 钱淼华, 张晓勇, 朱斐, 等. 中药饮片等级量化评价方法研究进展与趋势 [J]. 中草药, 2025, 56(2): 667-679.
- [13] 陈芳芳, 邸继鹏, 赵桢熠, 等. 基于质量常数的覆盆子等级评价 [J]. 中成药, 2025, 47(4): 1259-1262.
- [14] 朱傲, 马安录, 王峥涛, 等. 基于“辨状论质”理论的秦艽饮片等级标准研究 [J]. 中国中药杂志, 2025, 50(19): 5393-5400.
- [15] 吕兰, 刘立权, 王鑫昱, 等. 基于质量常数法结合色度原理的前胡饮片等级评价 [J]. 亚太传统医药, 2025, 21(10): 57-61.
- [16] 杨建成, 王增, 吉帆帆, 等. 中药当归质量等级评价研究 [J]. 亚太传统医药, 2025, 21(3): 73-77.
- [17] 梁如, 冯婧, 胡泉, 等. 基于质量常数结合颜色精准识别的酒女贞子质量快速评价研究 [J]. 中国医药导报, 2024, 21(26): 35-39.
- [18] 陈芳芳, 刘艳, 倪凤燕, 等. 基于质量常数评价方法的艾叶饮片等级评价研究 [J]. 中国中医基础医学杂志, 2023, 29(10): 1721-1725.
- [19] 韦花花, 常丽静, 李明月, 等. 基于相对质量常数的黄芪饮片等级评价 [J]. 中药材, 2022, 45(4): 890-897.
- [20] 丁杰, 李佳龙, 罗晓雨, 等. 新疆帕米尔高原杏资源果实特征研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(8): 1297-1308.
- [21] 陈庆梅, 邹奕璋, 徐华君, 等. 基于“辨色论质”的中药色泽识别技术研究进展 [J]. 现代信息技术, 2025, 9(22): 144-149.
- [22] 刘立轩, 李吉宁, 陈海燕, 等. 基于 HPLC 法及电子鼻技术的苦杏仁药材不同炮制方法研究 [J]. 沈阳药科大学学报, 2023, 40(4): 494-500.
- [23] 赵露颖, 施梦瑶, 张巧艳, 等. 道地药材品质特征及形成机制研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(21): 6931-6947.
- [24] 李春玉, 马晓霞, 刘小莉. 当归“辨状论质”品质评价及道地性品质形成研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(3): 1104-1114.
- [25] 周巧, 吕佳, 朱娟娟, 等. 不同炮制时间制吴茱萸色、味与成分的变化表征及相关性研究 [J]. 中草药, 2025, 56(22): 8153-8161.
- [26] 李明, 张新慧. 宁夏栽培中药材 [M]. 银川: 阳光出版社, 2019.

[责任编辑 时圣明]