

· 中药工业 ·

基于电子舌技术的生 炒酸枣仁滋味比较

李虹, 黄晓欣, 刘勇*, 田卉玄, 王泽亿, 王宇航

北京中医药大学 中药学院, 北京 102488

[摘要] 目的: 运用电子舌技术对炒制前后酸枣仁滋味进行定量表征, 建立生、炒酸枣仁滋味判别模型。方法: 采用电子舌技术对生、炒酸枣仁本身味道进行检测, 通过配对 t 检验、主成分分析 (PCA)、正交偏最小二乘法-判别分析 (OPLS-DA) 对获取的各味道特征值进行处理, 分析酸枣仁炒制前后各味道的变化情况。结果: 配对 t 检验显示, 酸枣仁炒制对 AHS (酸)、CTS (咸)、NMS (鲜)、ANS (甜)、CPS (通用)、SCS (苦) 味值的变化均有影响, 对 PKS (通用) 味值影响不明显, 其中 SCS、NMS、CPS、AHS、ANS 味值上升, CTS 味值下降, 炒制对各滋味的影响程度为 SCS>NMS>CPS>AHS>ANS>CTS>PKS; 通过 PCA 可以区分酸枣仁与炒酸枣仁; 通过 OPLS-DA 可以建立酸枣仁与炒酸枣仁滋味判别模型, 该模型对 X 矩阵的解释率 (R^2X) = 0.900、对 Y 矩阵的解释率 (R^2Y) = 0.967、预测能力 (Q^2) = 0.965, 表明该模型拟合度、预测性良好。结论: 电子舌技术可以从数值上客观化体现炒制对酸枣仁滋味的影响, 可以对生、炒酸枣仁滋味进行鉴别, 为生、炒酸枣仁差异研究提供数据参考。

[关键词] 电子舌; 酸枣仁; 炒酸枣仁; 配对 t 检验; 主成分分析; 正交偏最小二乘法-判别分析

[中图分类号] R286 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2022)01-0122-06

doi: 10.13313/j.issn.1673-4890.20210117002

Taste Comparison Between Raw and Fried Ziziphi Spinosae Semen Based on Electronic Tongue Technology

LI Hong, HUANG Xiao-xin, LIU Yong*, TIAN Hui-xuan, WANG Ze-yi, WANG Yu-hang

School of Chinese Materia Medica, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 102488, China

[Abstract] **Objective:** The study aims at using electronic tongue technology to quantitatively characterize the taste of Ziziphi Spinosae Semen before and after frying and establish a discriminant model for the taste of raw and fried Ziziphi Spinosae Semen. **Methods:** The electronic tongue technology was employed to detect the taste of raw and fried Ziziphi Spinosae Semen, and the changes in the taste of Ziziphi Spinosae Semen before and after frying were analyzed by paired t -test, principal component analysis (PCA), and orthogonal projections to latent structures discriminant analysis (OPLS-DA) of the taste characteristic values. **Results:** The paired t -test showed that the frying had an effect on AHS, CTS, NMS, CPS, ANS, and SCS while had no obvious influence on the PKS. Specifically, frying rose SCS, NMS, CPS, AHS, and ANS while decreased CTS. The influencing degrees of frying on the taste characteristic values ranked as follows: SCS>NMS>CPS>AHS>ANS>CTS>PKS. PCA can distinguish raw and fried Ziziphi Spinosae Semen; OPLS-DA can establish a taste discrimination model for raw and fried Ziziphi Spinosae Semen, with $R^2X = 0.900$, $R^2Y = 0.967$, $Q^2 = 0.965$, which indicate that the model has good fitting performance and predictability. **Conclusion:** The electronic tongue technology can objectively reflect the effect of frying on the taste of Ziziphi Spinosae Semen, and distinguish raw and fried Ziziphi Spinosae Semen. This study provides data reference for the further research on the difference between raw and fried Ziziphi Spinosae Semen.

[Keywords] electronic tongue; Ziziphi Spinosae Semen; fried Ziziphi Spinosae Semen; paired t -test; PCA; OPLS-DA

酸枣仁为鼠李科枣属多年生落叶灌木或小乔木植物酸枣 *Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou 的干燥成熟种子。其味甘、酸, 性平, 归肝、胆、心经, 可以养心补肝、宁心安神、敛汗, 临床常用于治疗虚烦不眠、惊悸多梦、体虚

多汗、津伤口渴^[1], 始载于《神农本草经》, 列为上品, 是养心益肝安神的首选药^[2-3]。

中药有“逢子必炒”炮制理论, 酸枣仁作为典型的种子类药材, 有“生熟异治”用药之说, 其主要炮制品为炒酸枣仁, 有关生、炒酸枣仁差异的研究,

* [通信作者] 刘勇, 教授, 研究方向: 药用植物亲缘学、中药质量与开发; Tel: 010-84738656, E-mail: yliu0126@aliyun.com

现多从化学成分、药理作用展开。刘晓等^[4]建立了生、炒酸枣仁水提液指纹图谱,在生酸枣仁中确定了10个共有峰,在炒酸枣仁中确定了12个共有峰。李振雨等^[5]建立了生、炒酸枣仁70%甲醇提取液指纹图谱,在生酸枣仁中确定了17个共有峰,在炒酸枣仁中确定了15个共有峰。蔡瑾瑾等^[6]对生、炒酸枣仁脂肪油成分分析表明,炒制对酸枣仁各成分相对质量分数均有影响。翟旭峰等^[7]研究发现,酸枣仁炒制后,其镇静、催眠作用增强。吴巧敏等^[8]研究发现,在改善大鼠学习和记忆能力方面,生酸枣仁优于炒酸枣仁。目前,有关酸枣仁炒制前后滋味变化的研究未见报道。中药药性理论是临证立法、组方配伍的重要依据^[9],其中,五味是中药药性理论的重点之一,药性理论中所提“辛、酸、甘、苦、咸”五味既可能是中药自身的味道,也是中药功效的高度概括^[10],不等同于中药本身的滋味。中药本身的味道多基于口尝获得,然而人工口尝主观性较强且个体差异大,难以对中药的滋味做出客观评价。

ASTREE型电子舌是对传统分析技术的补充,能够对滋味和通常溶解在液体中的有机和无机复杂的样品进行分析,并对味道特征值进行判别^[11]。电子舌技术又称味觉传感器技术,作为一种新兴的快速检测液体样本信息的仪器^[12],可以模拟人的味觉系统,能够克服主观因素对味觉信息判断的影响,具有操作简单、检测快速的优点。其主要应用于食品领域,如食醋^[13]、酒精^[14-15]、茶叶^[16]等。近年来,在中药研究领域应用也较广泛,如中药产地鉴别^[17]、真伪鉴别^[18]、炮制前后差异比较^[19]等。

本研究采用电子舌技术对生、炒酸枣仁各滋味进行测定,结合多元统计模式识别分析方法,探讨酸枣仁炒制前后其本身滋味的改变,并建立生、炒酸枣仁滋味判别模型,以期为生、炒酸枣仁差异研究提供参考。

1 材料

1.1 仪器

ASTREE型电子舌(法国Alpha MOS公司); SP-7412型电动研磨干磨杯(广州市兆利电器实业有限公司); AL204型万分之一电子分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); 3K15型台式高速冷冻离心机(Sigma公司); MH-500调温型电热套(北京科伟永兴仪器有限公司); 水系微孔滤膜(规格: 25 mm×0.45 μm, 美国PALL公司)。

1.2 试剂

0.01 mol·L⁻¹氯化钠、0.01 mol·L⁻¹谷氨酸钠、0.01 mol·L⁻¹盐酸(法国Alpha MOS公司); 屈臣氏蒸馏水。

本实验样品采集于河北、山西、陕西、辽宁等地,样品详细信息见表1。样品经北京中医药大学刘勇教授鉴定为鼠李科植物酸枣 *Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou 的干燥成熟种子。将样品置烘箱内于40℃烘干8 h取出,放凉,置塑封袋中密封备用。炒酸枣仁药材参照《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)2020年版(四部)炮制通则项下的单炒法炮制而成。通过查阅文献定炒制具体参数为125~135℃炒制7 min^[4,20]。生、炒酸枣仁样品均符合《中国药典》2020年版标准,留样于北京中医药大学中药学院C103实验室。

表1 生、炒酸枣仁样品信息

编号	产地	采集时间/年-月
S1	河北邢台	2019-11
S2	河北邯郸	2019-11
S3	河北邯郸武安	2018-10
S4	河北邯郸磁县	2018-10
S5	陕北	2019-11
S6	陕西子洲	2019-11
S7	陕西绥德	2018-10
S8	陕西米脂	2018-10
S9	山西运城夏县	2018-10
S10	山西吉县	2019-01
S11	山西临汾	2018-10
S12	辽宁朝阳	2019-11
S13	辽宁朝阳	2017-09
C1	河北邢台	2020-09
C2	河北邯郸	2020-09
C3	河北邯郸武安	2020-09
C4	河北邯郸磁县	2020-09
C5	陕北	2020-09
C6	陕西子洲	2020-09
C7	陕西绥德	2020-09
C8	陕西米脂	2020-09
C9	山西运城夏县	2020-09
C10	山西吉县	2020-09
C11	山西临汾	2020-09
C12	辽宁朝阳	2020-09
C13	辽宁朝阳	2020-09

注: 编号中“S”表示生酸枣仁; “C”表示炒酸枣仁。

2 方法

2.1 ASTREE型电子舌介绍

ASTREE型电子舌, 配有特定传感器阵列#6, 包括AHS(酸)、CTS(咸)、NMS(鲜)、ANS(甜)、SCS(苦)、PKS(通用)、CPS(通用)7根交叉敏感电位液体传感器阵列, Ag/AgCl参比电极, 48位自动进样器及Alpha Soft数据采集软件。ASTREE传感器是离子敏感场效应晶体管(ISFET)传感器, 包括2个关键部分: 传感器和化学敏感层。传感器的滋味感知直接取决于一个定义的特定传感器, 依据调查滋味灵敏度的方法标准ISO3972定义了滋味溶液, 建立这些滋味与一个传感器之间的联系。其检测结果只涉及滋味, 不能提供不同滋味之间的联系, 各滋味响应值范围也是一个相对范围, 仅适用于对不同样品内的特定滋味进行比较。电子舌适用于测量的中药样品溶液一般为澄清水提溶液或低浓度有机溶液。为了确保鉴定率和重现性良好(通常标准偏差 <30), 通常为每个样品进行5次重复测定。

2.2 电子舌检测过程

ASTREE型电子舌在检测样品前要使用蒸馏水和 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸水溶液进行预平衡和校准, 若仪器长时间不使用, 首先需要使用 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 氯化钠、 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 谷氨酸钠进行诊断。为确保采集数据时稳定、可靠, 始终保持在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下进行。处理好的样品盛放于电子舌专用烧杯, 样品体积为 25 mL , 电子舌对每一个样品进行9次重复测定, 每次进行采集的时间通常为传感器引入装有样品的烧杯后 120 s , 搅拌速度为 $1\text{ r}\cdot\text{s}^{-1}$ (默认)。为确保重现性良好, 也确保下一个样品分析时没有样品残留, 接下来是清洗循环, 清洗溶液为蒸馏水, 清洗重复4次, 每次清洗时间为 30 s 。电子舌每秒采集1份数据, 为得到重现性良好的数据, 取后3次重复测定的 $100\sim 120\text{ s}$ 内数据的平均值作为各滋味响应值, 为后期处理分析用数据。

2.3 供试品溶液制备

将酸枣仁药材粉碎(过四号筛), 精密称取粉末 0.0500 g , 加入屈臣氏蒸馏水 50 mL , 称质量, 浸泡 30 min , 加热煎煮 30 min , 放冷至室温, 用适量蒸馏水补足减失质量, 转移至 50 mL 离心管中, $8000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心(离心半径为 3 cm) 10 min , 取上

清液经 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 水系微孔滤膜滤过, 得澄清溶液, 置于电子舌专用烧杯中待测。每个样品平行操作3次, 共计78份样品。

2.4 方法学考察

2.4.1 样品生药量质量浓度考察 电子舌适用于检测浓度较稀的澄清水提液, 分别对 0.1 、 0.5 、 1.0 、 5.0 、 $10.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的生药量质量浓度进行考察, 实时观测在线谱图, 在质量浓度为 $1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时, 各滋味响应值范围无异常, 因此, 选取 $1\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 作为本实验供试品生药量质量浓度。

2.4.2 稳定性试验 取编号为S1的样品, 按2.3项下方法制备供品试液, 分别于 0 、 1 、 2 、 3 、 4 、 5 h 对样品进行检测。各味道RSD均小于 5% , 表明供试液在 5 h 内稳定性良好。

2.4.3 重复性试验 取编号为S1的样品5份, 按2.3项下方法制备供试液, 各味道中除CTS的RSD为 1.27% , 其余RSD均小于 1% , 说明重复性良好。

2.4.4 精密度试验 取2.4.3项下5份S1样品中的第五份供试品, 连续进样6次, 各味道RSD均小于 1% , 说明仪器精密度良好。

3 结果

3.1 配对 t 检验

生、炒酸枣仁经电子舌检测, 各味道响应值结果见表2。利用SPSS 26软件, 对共计39对生品和相应制品各味道响应值数据一一配对, 进行配对样本 t 检验, 检验结果见表3, 其中AHS、CTS、NMS、CPS、ANS、SCS的双侧 P 值均小于 0.05 , 可以认为酸枣仁炒制前后以上6种味道响应值两组数据的差异有统计学意义, 说明酸枣仁炒制对以上6种味道影响较大, 且炒制对酸枣仁各味道的影响程度不同, 对SCS影响最大, 炒制后苦味增加。而PKS的 $P>0.05$, 可以认为炒制对该味道无影响或影响极小。

3.2 生、炒酸枣仁鉴别

3.2.1 生、炒酸枣仁特征滋味指纹图谱 根据生、炒酸枣仁各味道响应值原始数据做雷达图, 固定代表各味道的7条坐标轴初始值均为 0 , 根据各味道响应值自动变化结束值, 得生、炒酸枣仁特征滋味指纹图谱, 见图1。从图1中可以直观看出, 酸枣仁炒制后AHS、NMS、CPS、SCS味值与生品差异明显,

表2 生、炒酸枣仁各味道响应值 ($\bar{x} \pm s$, $n=2$)

编号	AHS	PKS	CTS	NMS	CPS	ANS	SCS
S1	654.61±4.16	1 521.08±4.81	696.88±6.12	2 235.16±8.53	2 484.69±16.94	3 717.47±39.03	5 939.65±34.49
S2	679.65±0.42	1 364.38±11.78	609.95±5.05	2 192.41±6.13	2 446.22±4.09	3 749.27±4.79	6 210.35±29.08
S3	640.50±1.92	1 309.69±12.50	589.85±6.76	2 154.19±5.66	2 392.15±6.20	3 701.23±7.68	6 107.25±20.56
S4	661.57±0.70	1 281.12±4.91	577.10±10.35	2 121.92±7.13	2 382.35±10.01	3 665.38±9.73	6 136.00±13.55
S5	644.71±0.87	1 255.95±2.28	615.47±4.84	2 127.02±6.79	2 404.36±3.23	3 678.43±3.22	6 198.47±23.43
S6	646.24±1.81	1 263.06±15.15	594.45±4.54	2 130.62±13.13	2 404.32±14.23	3 663.55±3.76	6 276.46±23.07
S7	609.46±1.18	1 396.02±21.36	601.13±21.09	2 495.86±13.97	2 553.79±10.05	3 479.94±42.78	5 978.14±31.17
S8	637.59±2.07	1 334.77±7.66	536.16±8.53	2 408.34±8.89	2 500.25±8.69	3 730.17±14.12	6 016.85±5.64
S9	632.06±0.73	1 264.54±2.35	487.70±8.23	2 382.85±9.08	2 464.34±2.97	3 665.98±6.14	6 021.58±12.80
S10	635.70±2.50	1 273.59±11.55	565.13±8.13	2 423.23±9.94	2 501.25±14.58	3 810.96±14.77	6 233.21±19.77
S11	651.08±1.11	1 250.45±9.27	546.83±3.61	2 361.39±5.11	2 457.81±8.36	3 671.86±7.23	5 876.29±22.97
S12	626.04±1.30	1 208.63±2.38	615.30±10.53	2 107.48±6.99	2 334.46±3.50	3 513.52±5.80	5 881.35±11.98
S13	627.39±0.43	1 207.81±13.31	589.73±21.04	2 103.99±13.13	2 339.43±12.00	3 502.66±18.11	5 927.18±1.19
C1	698.26±1.19	1 520.72±17.93	578.30±12.31	2 747.27±8.52	2 784.91±5.78	3 346.76±131.06	6 648.88±11.40
C2	699.20±1.18	1 456.25±14.37	533.49±11.89	2 706.78±17.71	2 781.92±7.64	3 666.17±50.49	6 578.67±23.10
C3	705.95±1.39	1 353.40±8.39	486.21±13.87	2 634.94±12.68	2 764.24±14.36	3 856.24±20.41	6 542.48±7.01
C4	713.42±1.63	1 353.59±5.21	505.39±4.40	2 618.39±4.02	2 801.56±2.49	3 938.57±6.20	6 525.17±18.06
C5	720.73±2.30	1 332.45±12.21	529.57±16.74	2 606.27±15.71	2 820.94±13.81	3 924.25±9.15	6 307.60±8.10
C6	732.73±0.35	1 305.02±8.38	518.95±8.75	2 554.11±7.77	2 792.73±7.86	3 835.32±9.08	6 389.35±17.16
C7	719.25±1.55	1 210.89±3.88	508.29±4.03	2 505.95±3.90	2 728.11±3.29	3 756.84±2.66	6 430.22±16.14
C8	716.27±2.19	1 213.54±18.04	519.16±22.80	2 480.90±19.48	2 702.83±18.57	3 700.37±19.83	6 429.28±11.09
C9	722.11±4.07	1 204.55±20.17	534.71±24.50	2 478.59±22.50	2 687.21±22.07	3 668.94±21.99	6 402.89±20.48
C10	739.18±1.23	1 150.89±16.54	545.24±10.07	2 450.89±12.80	2 665.28±12.05	3 720.48±14.52	6 544.42±30.06
C11	690.51±1.62	1 192.03±17.87	614.17±19.62	2 500.56±15.27	2 720.90±20.37	3 687.30±19.96	6 355.20±16.55
C12	704.32±1.08	1 165.21±1.71	629.34±7.83	2 524.66±5.34	2 745.06±5.92	3 695.14±3.43	6 371.98±13.43
C13	698.34±2.99	1 191.02±9.13	673.57±9.80	2 525.87±9.55	2 749.32±9.59	3 624.97±11.12	6 227.26±21.61

表3 生、炒酸枣仁各味道响应值配对 t 检验结果

各味道 生-炒配对	配对差值		t	Sig. (双尾)
	平均值	标准误差平均值		
AHS	- 70.28	4.07	- 17.28	0
PKS	21.66	13.78	1.57	0.124
CTS	34.56	11.06	3.13	0.003
NMS	- 314.67	32.33	- 9.73	0
CPS	- 313.81	15.50	- 20.25	0
ANS	- 66.99	29.34	- 2.28	0.028
SCS	- 380.82	24.64	- 15.46	0

且均为上升趋势,而PKS、CTS、ANS味值变化不明显。

3.2.2 主成分分析(PCA) PCA广泛应用于数据降维,从多变量中提取几个能较大反映样本信息变量的“变量”。采用SIMCA 14软件将生、炒酸枣仁两组样品进行PCA,结果见图2。2组样品位于2个不同区域,具有明显组间差异,第一主成分和第二主成分累积方差贡献率为71.2%(>70%),可以认

为生、炒酸枣仁能够通过电子舌区分开。

3.2.3 正交偏最小二乘法-判别分析(OPLS-DA) 采用SIMCA 14软件将生、炒酸枣仁两组样品各味道响应值进行OPLS-DA建模,结果见图3。由图3可以看出,生、炒酸枣仁被判在2个不同区域,区分效果明显。该模型对 X 矩阵的解释率(R^2X)=0.9,对 Y 矩阵的解释率(R^2Y)=0.967,该模型的预测能力(Q^2)=0.965,说明该模型拟合度、预测性良好。在生、炒酸枣仁OPLS-DA模型中,以变量投影重要度(VIP)>1为筛选标准,结合配对 t 检验筛选差异标志物,共筛选出3个差异标记滋味,分别为SCS、CPS、NMS。表明在本实验当前条件下,电子舌检测和OPLS-DA技术能够对酸枣仁生品及其制品进行判别区分。

4 结论与讨论

本研究旨在从滋味角度探讨生、炒酸枣仁差异,

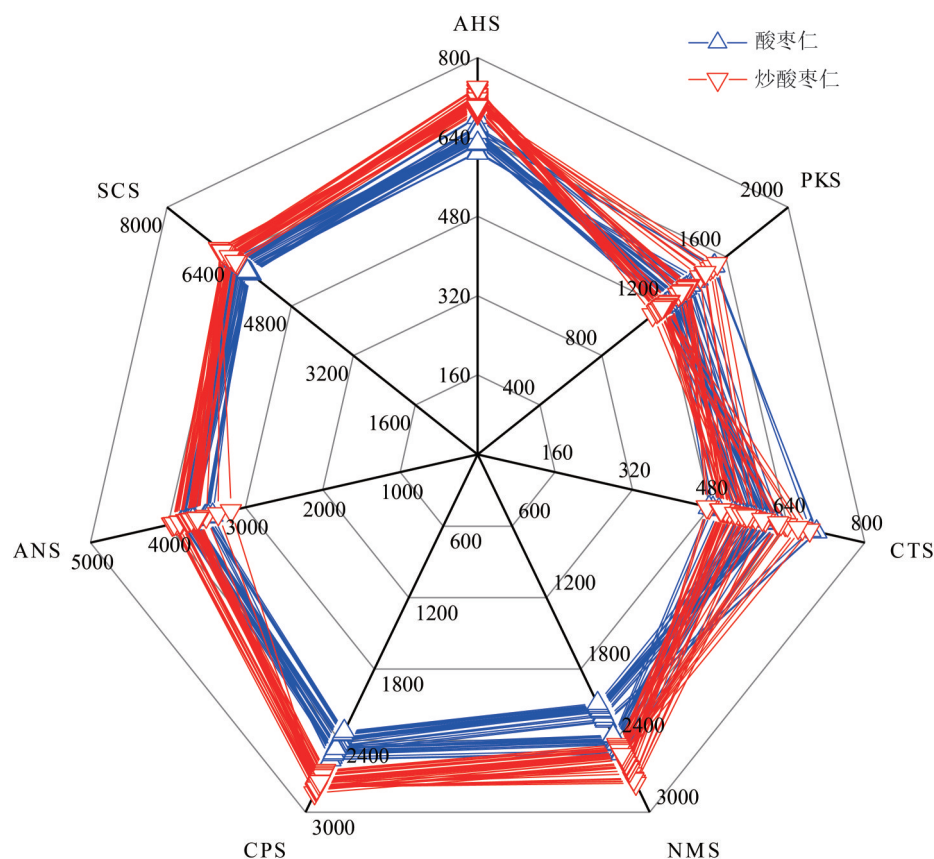


图1 生、炒酸枣仁特征滋味指纹图谱

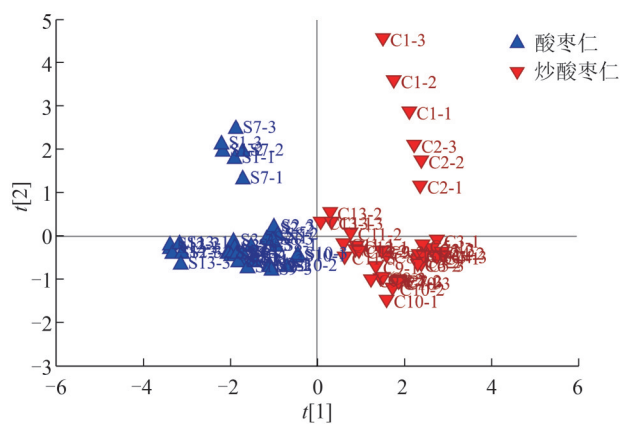


图2 生、炒酸枣仁PCA得分

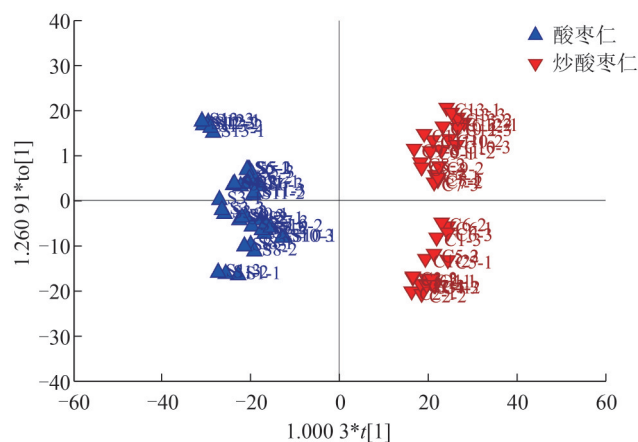


图3 生、炒酸枣仁正OPLS-DA得分

采用电子舌技术对生、炒酸枣仁样品本身滋味进行定量表征, 配对 t 检验结果显示, 酸枣仁炒制前后均有酸、咸、鲜、甜、苦味, 炒后苦、鲜、酸、甜味值上升, 咸味值下降。其中, 炒制对苦味影响最大, 分析苦味上升的原因, 可能与加热炒制后酸枣仁表面略带的焦斑有关。而酸、甜、鲜味值上升及咸味值下降的原因可能与各味道相关的内在成分因炒制发生变化有关, 酸枣仁各味道与内在化学成分的相

关性有待进一步研究。通过PCA、OPLS-DA可以实现生、炒酸枣仁的快速识别, 而且2种识别模型起到了相互验证的作用。配对 t 检验结合OPLS-DA筛选出生、炒酸枣仁差异标记滋味为SCS、CPS、NMS。综上所述, 电子舌技术可以从数值上客观化体现炒制对酸枣仁各味道的影响, 可以对生、炒酸枣仁进行鉴别, 从滋味角度尝试解释“逢子必炒”及“生熟异治”的原因, 为生、炒酸枣仁差异研究

提供数据参考,为今后电子舌在中药炮制前后评价研究应用方面提供参考。

在中药研究中,药材味道是中药性状鉴别、品质评价的重要依据。例如,以味酸为佳的山楂、乌梅,以味甜为佳的甘草,以味苦为佳的黄连等。基于“味”的性状鉴别、评价是我国经过数千年传统经验总结形成的具有特色的“辨状论质”理论,凝聚着中药品质评定的精华,是不可或缺的中药鉴别方法,但其是一种感官评价,存在个体差异大、客观性差、无法量化的问题。采用电子舌技术建立基于味道的指纹图谱,可为中药“味”的鉴别提供客观、准确的量化数据,有助于提高中药性状鉴别的标准。

查阅文献发现,电子舌技术在中药研究中应用广泛,已有文献报道,电子舌技术在反映中药材总体特征上具有优势,可基于味觉信息进一步推测中药材中特征性成分含量^[21],其既可以判断药材的基原、产地、炮制程度、储藏时间,也可以用于评价中药的滋味及掩味效果,还可以鉴别中药粉末^[22]。在进行中药材滋味评价的同时可结合“气”进行气味融合评价,使鉴别、评价效果更佳。同时,中药的“气”“味”也是中药材内在化学成分的外在表现,而化学成分类别、含量又与药效相关,药效又决定着药材质量。因此,采用电子舌、电子鼻等智能感官技术结合光谱、色谱技术综合评价生、炒酸枣仁,阐明生、炒酸枣仁中气味与化学成分的相关性,明确气味-药效相关成分是需要继续探究的内容。同时,也需要不断完善方法学,在完善的方法学基础上,可以将该综合评价方法应用到中药质量评价中,即基于智能感官评价-色谱/光谱联用技术或可成为一种科学、客观、合理的中药质量评价新模式。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:382-383.
- [2] 吴立明. 酸枣仁古今谈[J]. 山东中医杂志,2005,24(4):240-241.
- [3] 吴立明. 酸枣仁本草及功用考证[J]. 中药材,2005,28(5):432-434.
- [4] 刘晓,朱晓钗,谢莉,等. 生、炒酸枣仁水提液指纹图谱对比研究[J]. 南京中医药大学学报,2019,35(5):585-589.
- [5] 李振雨,魏梅,孙冬梅,等. 酸枣仁生品及其炮制品的 HPLC-ELSD 指纹图谱研究[J]. 中医药导报,2020,26(4):19-23.
- [6] 蔡瑾瑾,陈璐. GC-MS 分析王不留行、决明子、酸枣仁炒制前后脂肪油成分的变化[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(15):31-34.
- [7] 翟旭峰,肖小春,姜勇军,等. 生酸枣仁及其炮制品镇静催眠作用及对失眠大鼠脑电图的影响[J]. 中药药理与临床,2015,31(6):94-97.
- [8] 吴巧敏,赵艺初,韩艺凡,等. 生酸枣仁、炒酸枣仁、酸枣果肉对 PCPA 失眠模型大鼠学习记忆能力影响的对比研究[J]. 中医药导报,2016,22(5):72-75.
- [9] 张铁军,刘昌孝. 中药五味药性理论辨析及其化学生物学实质表征路径[J]. 中草药,2015,46(1):1-6.
- [10] 刘昌孝,张铁军,何新,等. 活血化瘀中药五味药性功效的化学及生物学基础研究的思考[J]. 中草药,2015,46(5):615-624.
- [11] CIOSEK P, WRÓBLEWSKI W. Sensor arrays for liquid sensing: Electronic tongue systems[J]. Analyst, 2007, 132(10):963-978.
- [12] DEISINGH A K, STONE D C, THOMPSON M. Applications of electronic nose and tongues in food analysis[J]. Int J Food Sci Technol, 2004, 39(6):587-604.
- [13] 杜宏福,董爱静,聂志强,等. 电子舌分析山西老陈醋固态发酵过程及主要有机酸的预测[J]. 食品与发酵工业,2015,41(1):196-201.
- [14] 张平,江洁,胡文忠,等. 电子舌对冰葡萄酒的区分辨识研究[J]. 酿酒科技,2014(10):41-42.
- [15] 鲁小利,蔡小庆,刘淑艳. 电子舌在黄酒检测中的应用[J]. 酿酒科技,2015(1):82-85.
- [16] CHEN Q S, ZHAO J W, VITTAYAPADUNG S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. Food Res Int, 2008, 41(5):500-504.
- [17] 吴浩善,张冬月,康廷国,等. 基于电子舌技术的南、北五味子及其产地的鉴别研究[J]. 中药材,2018,41(4):822-828.
- [18] 刘芳,解达帅,刘红梅,等. 电子舌技术鉴别川贝母粉及其掺伪品[J]. 中成药,2017,39(9):1977-1979.
- [19] 付智慧,李淑军,胡慧华,等. 基于电子舌技术的筛茎草炮制前后滋味比较[J]. 中草药,2017,48(4):673-680.
- [20] 耿欣,李廷利. 正交设计法优化炒酸枣仁的炮制工艺[J]. 中医药学报,2016,44(4):60-62.
- [21] 曾燕,郭兰萍,王继永,等. 基于电子舌技术的不同来源黄芩药材味觉信息分析及味觉信息与主要化学成分的相关性研究[J]. 中国现代中药,2015,17(11):1139-1147.
- [22] 付智慧,李淑军,刘鹏,等. 电子舌在中药研究中的应用现状及前景展望[J]. 中成药,2016,38(11):2454-2457.

(收稿日期:2021-01-17 编辑:王笑辉)