

• 基础研究 •

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[△]

曾燕¹, 郭兰萍², 王继永^{1*}, 黄璐琦^{2*}, 田壮¹, 焦连魁¹, 邓庭伟¹

(1. 中国中药公司, 北京 102600; 2. 中国中医科学院 中药资源中心, 北京 100700)

[摘要] 目的: 采用电子舌技术考察不同来源黄芩药材味觉信息和主要化学成分之间的相关性。方法: 采集不同栽培区域和不同生长年限的黄芩, 采用 TS-5000Z 电子舌系统分析不同来源黄芩味觉信息, 采用高效液相色谱仪分析黄芩中主要化学成分含量, 考察不同来源黄芩的味觉信息差异性, 同时分析味觉信息和化学成分之间的相关性。结果: 不同来源黄芩的口味主要是苦味, 其次是涩味、鲜味及其相应的回味和咸味; 味觉分析信息可以对不同来源黄芩进行分类; 黄芩的苦味、涩味、苦回味、涩回味、酸味与黄芩苷含量呈现显著的正相关。结论: 基于电子舌技术的味觉分析方法可以量化不同来源黄芩的特征, 从而对黄芩药材进行分类, 其聚类结果与化学成分的聚类结果并不完全一致, 电子舌在反应药材的总体特征上有一定优势; 同时, 可通过电子舌味觉分析信息推测出黄芩药材中黄芩苷的含量。

[关键词] 黄芩; 电子舌; 感官分析; 品质相关性

Study on Taste Information of Different *Scutellaria baicalensis* Georgi and Correlation between Taste Information and Main Chemical Compositions Based on Technology of Electronic-Tongue

ZENG Yan¹, GUO Lanping², WANG Jiyong^{1*}, HUANG Luqi^{2*}, TIAN Zhuan¹, JIAO Liankui¹, DENG Tingwei¹

(1. China National Traditional Chinese Medicine Corporation, Beijing 100195, China;

2. National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

[Abstract] **Objective:** To study the taste information of different *Scutellaria baicalensis* Georgi and the correlation between the taste information and main chemical composition using the technology of Electronic-Tongue. **Methods:** The *S. baicalensis* Georgi from different cultivated area were collected as the samples, the taste information difference between these samples used the TS-5000Z Electronic-Tongue system was analyzed. At the same time, the main chemical compositions were analyzed by HPLC, so to study the relationship between the taste information and chemical compositions. **Results:** The bitterness was the main taste, and followed by astringent, umami, aftertaste-B, aftertaste-A, and salty. We could classify the samples using the taste information. There existed a significant positive correlation between baicalin and the bitterness, astringency, aftertaste-B, aftertaste-A also the sourness. **Conclusion:** The features of the *S. baicalensis* could be quantified by the TS-5000Z Electronic-Tongue system, and so the medicinal materials would be classified, but the results were not in accordance with the chemical analysis through the cluster analysis. The Electronic-Tongue system would be superior to response the whole characteristics of the medicinal material. At the same time, the baicalin would be inferred from the taste information.

[Keywords] *Scutellaria baicalensis* Georgi; Electronic-Tongue system; sensory analysis; correlation analysis of medicinal materials quality

doi: 10.13313/j.issn.1673-4890.2015.11.007

[△] [基金项目] 中国中药公司博士后专项(2013); 中药材产地加工技术平台 [(工信部消费(2011)340)]; 中医药行业科研专项(201407005-5); 中药材种子种苗与种植(养殖)标准平台(2012ZX09304006); 江苏省中药资源产业化过程协同创新中心项目(2013)

* [通信作者] 王继永, 研究员, 研究方向: 中药资源, Tel: (010) 61251500, E-mail: wangjiyong75@163.com;
黄璐琦, 研究员, 研究方向: 中药资源与鉴定, Tel: (010) 64011944, E-mail: huangluqi01@126.com

感官评价是用于唤起、测量、分析和解释产品通过视觉、嗅觉、触觉、味觉和听觉所引起反应的一种科学方法。模拟人的感觉器官的传感器技术是一项 20 世纪 80 年代发展起来的新技术,如模拟人的嗅觉的电子鼻、模拟人的味觉的电子舌等。

电子舌(Electronic-Tongue, E-Tongue)可以模拟人体味觉系统,从味觉传感器的化学信号分析出“味道”的信息进行识别检测。它得到的不是单个成分的定量或定性的结果,而是整个体系的评价分析,因此又称为“指纹”分析。电子舌通过表面敏感膜对特定味觉物质的吸收,引起表面电荷密度的改变或者膜表面附近离子分布的改变,进而获得表面电位响应的变化。利用具有独特选择性和广域选择性的人工双层脂质膜,直接输出食品的酸味、甜味、苦味、涩味、鲜味、咸味、苦味回味、涩味回味、丰富度(鲜味回味)等味觉数值。与人体舌感觉器官相比,人工电子舌具有客观性强、重复性好、抗疲劳工作、检测响应快、标准化控制、对人健康危害小的优点,因此被广泛地用于航天、环境、食品、医学、药物分析等多个领域。与食品相似,中药同样来源于自然界的植物、动物或部分矿物质,因此,基于电子舌在食品行业的研究基础,将电子舌应用于中药的研究具有较强的可行性^[1-6]。目前使用较多的电子舌设备主要有两种^[7-9],即法国 Alpha M. O. S 公司的 Astree 和日本 Insent 公司的 TS-5000Z。

传统中药研究认为,药材味道是药材品质评定的重要标准。近些年来电子舌在中药领域的研究逐年增多,比如在药品质量控制方面^[10]、预测未知中药提取液浓度^[11]、中药苦味与药效品质相关性研究^[12]、不同中药材质量评价^[13]、药材味道区分与判别分析研究^[14]、药材产地区分与判别研究^[15]等均有涉及。

黄芩 *Scutellaria baicalensis* Georgi 为唇形科多年生药用植物,以干燥根入药,味苦,寒。具有清热燥湿、泻火解毒、止血、安胎的作用^[16]。临床应用已有 2000 多年的历史,为常用大宗中药材之一。现有研究显示,不同来源黄芩,包括产地、生长年限等方面的差异会导致黄芩质量差异^[17-23],这种差异是否在味道上有所体现?或者说能否用电子舌技术对不同来源黄芩药材进行区分?黄芩的味觉“指纹图谱”和黄芩药效成分是否有相关性?寻找它们之间的联系可拓宽我们对中药“味道”的认识,也为中药质量评价提供新思路和新方法。

基于此,我们收集了不同产地、不同生长年限的 19 份黄芩样品,采用 TS-5000Z 电子舌系统开展不同来源黄芩药材味道分析,并考察味道与黄芩药材主要化学成分的相关性。

1 仪器与材料

1.1 仪器

TS-5000Z 系列智能味觉分析系统(日本 Insent 公司); Waters2695 高效液相色谱仪, DAD2998 检测器; METTLER TOLEDO XS205DU 型电子分析天平; KQ-500DE 型数控超声波清洗器。

1.2 材料

甲醇、乙腈为 FISHER 色谱纯;乙醇、甲酸为分析纯;黄芩苷对照品(中国食品药品检定研究院,含量测定用,批号: 110715-201117);黄芩素对照品(中国食品药品检定研究院,含量测定用,批号: 111595-200905);汉黄芩苷对照品(上海源叶生物科技有限公司,含量测定用,批号: 20111213,纯度: 98%);汉黄芩素对照品(北京恒元启天化工技术研究院,含量测定用,批号: MUST-41040501,纯度: 98%)。黄芩药材: 2013 年 11 月下旬,采集不同产地栽培黄芩,每个采集点采挖 30~50 株作为一个混合样本。药材采集后 55℃ 烘干,粉碎,过四号筛。药材样品共 19 份,采集信息见表 1。

表 1 黄芩药材采集信息

编号	采集点	生长年限	编号	采集点	生长年限
1	河北围场县	2	11	山西闻喜县	3
2	河北围场县	2	12	山西新绛县	3
3	河北围场县	2	13	山西芮城县	3
4	河北围场县	3	14	山东莒县	2
5	河北承德县	4	15	山东莒县	2
6	河北平泉县	3	16	山东莒县	2
7	内蒙古武川县	2	17	山东莒县	2
8	内蒙古武川县	2	18	山东莒县	2
9	内蒙古武川县	4	19	河北承德县	5
10	山西闻喜县	3			

2 方法

2.1 电子舌测定

2.1.1 正极清洗液配制 准确称量 7.46 g 氯化钾,用 500 mL 蒸馏水搅拌溶解,然后准确加入 300 mL 无水乙醇溶液,边搅拌边加入准确称量的 0.56 g 氢

氧化钾,溶解完毕后,转移到1000 mL的容量瓶,定容。

2.1.2 负极清洗液配制 准确量取300 mL无水乙醇,与500 mL蒸馏水震荡混合,然后加入8.3 mL的浓盐酸搅拌混合转移到1000 mL的容量瓶,定容。

2.1.3 参比液配制 准确称量2.24 g氯化钾和0.045 g酒石酸,用500 mL水溶解,然后转移到1000 mL的容量瓶,定容^[24]。

2.1.4 待测样品制备 将黄芩药材样品烘干、粉碎、过筛后,取约2 g样品,置于100 mL蒸馏水中,超声波溶解30 min,补足超声损失的重量,滤纸过滤。取滤液,直接测试。各样品的浓度相同。

2.1.5 电子舌测试方法 TS-5000Z味觉分析系统测量程序:首先在清洗液中清洗90 s,接着用2.1.3中的参比液清洗2次,传感器在平衡位置归零30 s,达到平衡条件后,开始测试,测试时间30 s;在两组参比液中分别短暂清洗3 s,传感器插入新的参比液中测试回味30 s循环测试4次,去掉第一循环,取后3次平均数据作为测试结果。每次清洗、平衡和测试回味的液体均分布在不同样品杯中^[25]。

2.2 化学成分测定

2.2.1 色谱条件 色谱柱: ThermoHypersil GOLD C₁₈ (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 乙腈-水-甲酸(15:85:0.1), 梯度洗脱; 检测波长: 278 nm; 流速: 0.8 mL·min⁻¹; 柱温: 30 ℃; 进样量: 6 μL。含量测定梯度洗脱时间程序见表2。

表2 流动相梯度洗脱时间程序

时间/min	乙腈(%)	0.1%甲酸水(%)
0	15	85
10	18	82
11	22	78
38	26	74
39	37	63
50	48	52
60	15	85

2.2.2 对照品溶液制备 精密称取黄芩苷对照品21.71 mg置于10 mL容量瓶内,加入甲醇至刻度线定容,制成2.171 mg·mL⁻¹黄芩苷对照品溶液。精密称取汉黄芩苷对照品9.76 mg置于10 mL容量瓶内,加入甲醇至刻度线定容,制成0.976 mg·mL⁻¹汉黄芩苷对照品溶液。精密称取黄芩素对照品1.06 mg

置于10 mL容量瓶内,加入甲醇至刻度线定容,制成1.06 mg·mL⁻¹黄芩素对照品溶液。精密称取汉黄芩素对照品适量,加入甲醇至刻度线定容,分别配制成各适量浓度对照品溶液。精密吸取以上各对照品适量以甲醇定容至刻度线,混匀即得黄芩混合对照品溶液。

2.2.3 供试品溶液制备 取黄芩细粉0.1 g,精密称定,置100 mL具塞三角瓶中,加入70%乙醇25 mL,摇匀,超声30 min,静置澄清,取上清液以0.45 μm滤膜滤过,即得。

2.3 数据统计

运用电子舌自带的DBMS数据库系统,对传感器采集的原始数进行味觉特征。使用SPSS 19.0对感官评价数据进行主成分分析、聚类分析和相关性分析。

3 结果

3.1 不同来源黄芩的电子舌分析

每个样品响应的雷达图,能直观地反应样品各电极的响应值大小,便于对样品响应值情况进行比较。可以整体把握味觉情况。1~19号样品原始雷达图见图1、2。以5号样品为标准的有效评价指标雷达图(图3)显示,19个黄芩样品中,口味的差异主要体现在苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、咸味和鲜味上,丰富性差异较小。

黄芩样品的苦味和涩味相关性如图4所示,苦味和涩味呈正相关,苦味小的样品涩味也弱,如1~3号,苦味大的涩味也强,如13号,但是7号比较特殊,苦味最大,但是涩味属于中等水平。苦味: 7≥13≥19≥15≥9≥8≥4≥6≥11≥10≥16≥18≥14≥17≥12≥1≥5≥3≥2; 涩味: 13≥15≥19≥6≥9≥4≥10≥14≥11≥8≥5≥16≥7≥18≥17≥12≥1≥2≥3。

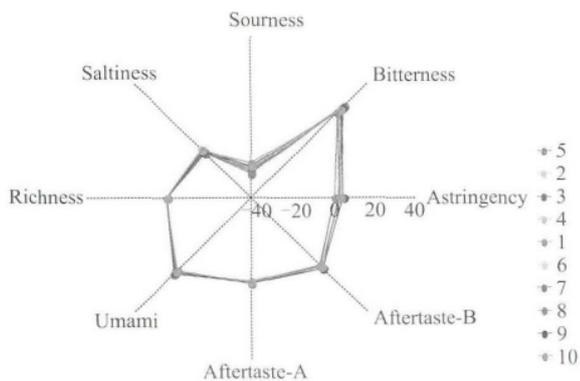
黄芩样品鲜味和丰富性相关性如图5所示,19个样品的丰富性差异在1个刻度内,不经过专业训练的普通人感觉不到差异。鲜味: 8≥7≥1≥4≥2≥6≥12≥11≥3≥16≥9≥10≥14≥13≥17≥18≥15≥5≥19。

黄芩样品气泡图如图6所示,苦味回味和涩味回味大小几乎呈正比例关系,两个指标最大的是13号,其次是19号,1、2、3号最小,7号的涩味回味也较小,但是苦味回味属于中等水平;气泡大小代表了咸味的强弱,最大的是13号和14号,最小的是3号。

对味觉信息进行主成分分析(见图7),第一主

成分(PCA1)和第二主成分(PCA2)共占了所有味觉信息的81.41%，方差贡献率分别为56.99%和24.42%。分别以主成分1和主成分2为横、纵坐标轴作图分析，结合聚类分析结果(见图8)，发现在PCA1和PCA2上均很接近的样品有：1、2、3号(均为河北围场县育苗移栽2年生样品)，10号、11号、

14号和16号(10号和11号为山西闻喜县3年生样品，14和16号为山东莒县2年生样品)，5号、17号和18号(5号为河北承德县4年生样品，17号和18号为山东莒县育苗移栽2年生样品)，15号和19号(15号为山东莒县2年生样品，19号为河北承德县5年生样品)。7号和13号样品与其他样品相差较大。



注: Sourness 酸味, Bitterness 苦味, Astringency 涩味, Aftertaste-B 苦味回味, Aftertaste-A 涩味回味, Umami 鲜味, Saltiness 咸味, Richness 丰富性; 下同。

图1 以 RefSol 参比溶液为基准的1~10号样品雷达图

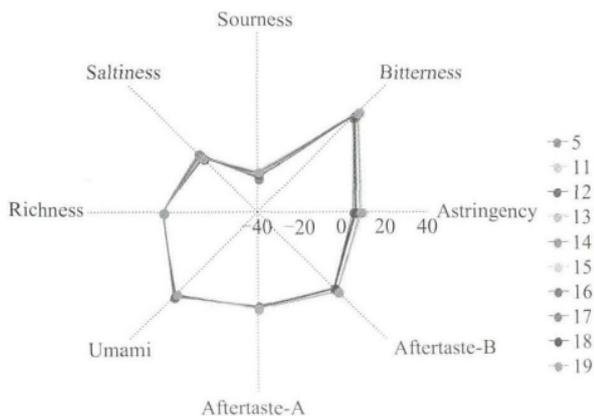


图2 以 RefSol 参比溶液为基准的11~19号样品雷达图

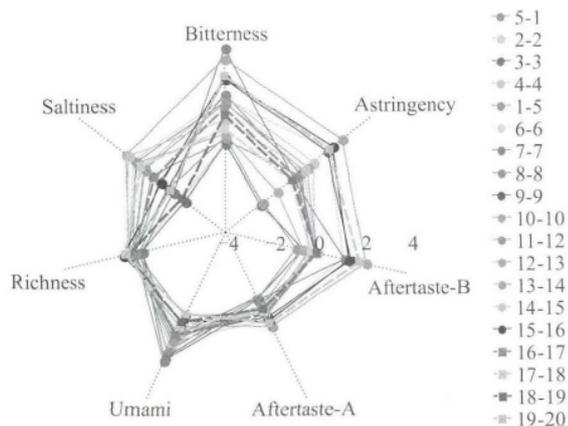


图3 以5号样品为有效评价指标雷达图

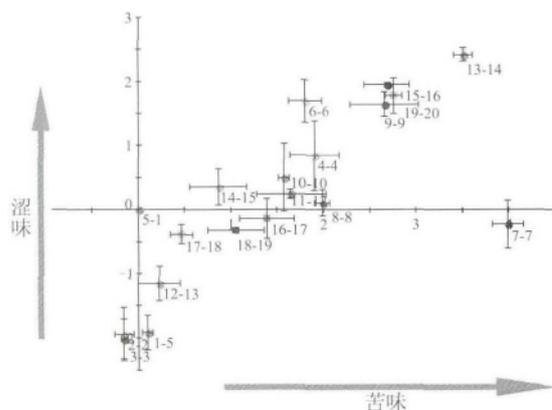


图4 1~19号黄芩样品的苦味和涩味相关性

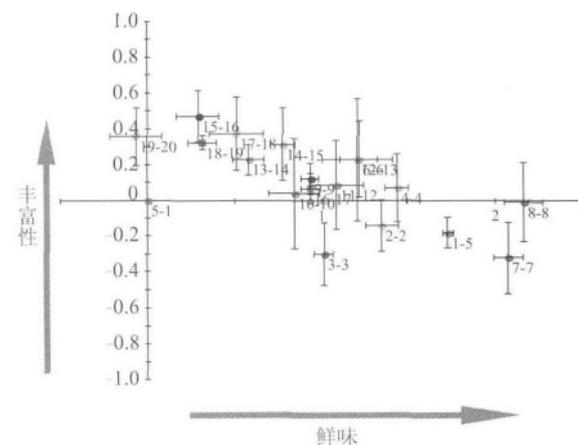
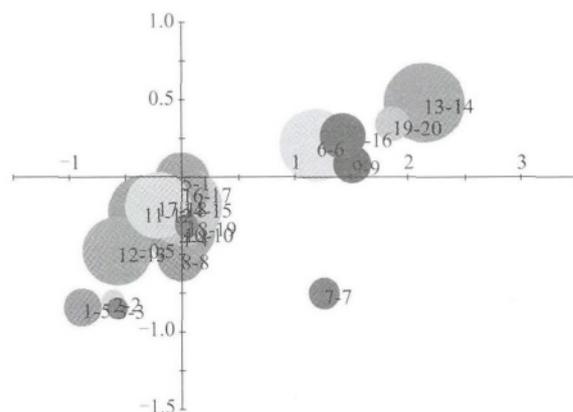


图5 1~19号黄芩样品的鲜味和丰富性相关性



注: X轴代表苦味回味; Y轴代表涩味回味; 气泡代表咸味。

图6 1~19号黄芩样品的气泡图

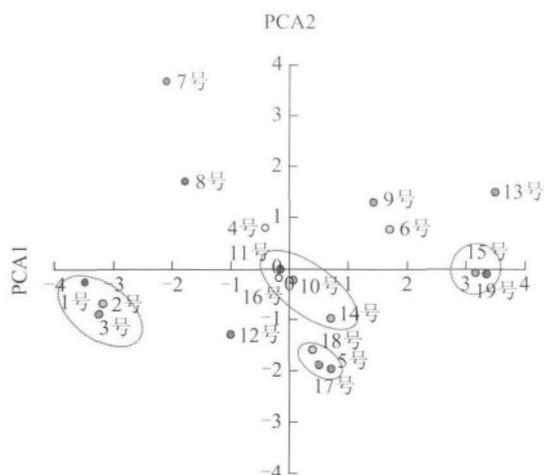


图7 1~19号黄芩样品味觉信息主成分分析图

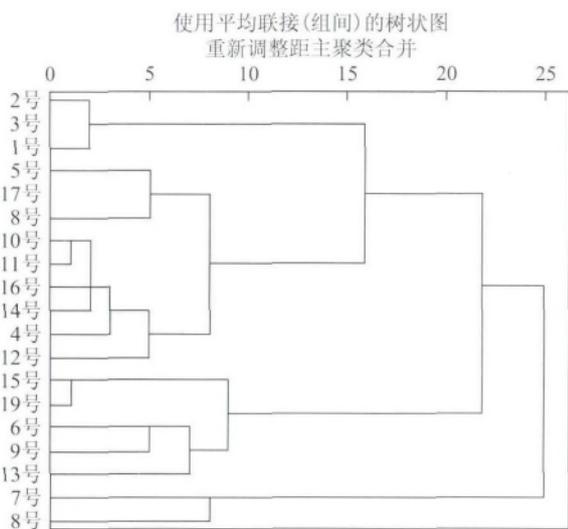


图8 1~19号黄芩样品味觉信息聚类分析图

3.2 不同来源黄芩化学成分分析

3.2.1 不同来源黄芩主要化学成分含量分析 不同来源黄芩主要化学成分含量分析结果见表3, 黄芩苷含量范围为9.66%~16.74%, 均值为13.18%; 汉黄芩苷含量范围为2.07%~3.42%, 均值为2.61%; 黄芩素含量范围为0.89%~2.41%, 均值为1.53%; 汉黄芩素含量范围为0.169%~0.414%, 均值为0.302%; 总黄酮含量(4种成分的加和) 范围为14.22%~22.39%, 均值为17.62%。不同采集地点, 不同生长年限的黄芩其主要化学成分差异较大。

3.2.2 不同来源黄芩主要化学成分主成分和聚类分析 以黄芩中黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素和汉黄芩素4种主要化学成分做主成分分析和聚类分析。主成分分析显示, PCA1和PCA2共占了所有味觉信息

的91.91%, 方差贡献率分别为64.85%和27.06%。分别以PCA1和PCA2为横、纵坐标轴作图分析, 发现各样品在PCA1和PCA2上各样品彼此分开不是很明显, 主要是17号样品在PCA1上和其他样品有一定的距离(见图9)。聚类分析结果显示, 大体上可以把19个样品分成3大类, 其中15、19、13、16号和5号归为一类, 10、14、11、18号和4号归为一类, 其他样品归为一类(见图10)。

表3 不同来源黄芩药材主要化学成分分析(n=30~50) (%)

编号	黄芩苷	汉黄芩苷	黄芩素	汉黄芩素	总黄酮
1	10.60	2.22	1.12	0.277	14.22
2	10.58	2.07	1.49	0.29	14.43
3	12.15	2.42	1.20	0.254	16.02
4	12.76	2.77	2.04	0.388	17.96
5	15.71	2.78	1.67	0.332	20.49
6	11.04	2.47	1.77	0.388	15.67
7	11.45	2.48	1.26	0.362	15.55
8	10.20	2.18	1.43	0.415	14.23
9	11.43	2.35	1.10	0.233	15.11
10	14.52	2.55	2.11	0.318	19.49
11	13.92	2.54	1.60	0.293	18.35
12	10.44	2.10	1.69	0.391	14.61
13	16.74	2.97	1.16	0.169	21.04
14	14.59	2.61	1.67	0.264	19.14
15	17.14	3.42	1.62	0.199	22.39
16	17.06	3.36	0.89	0.241	21.55
17	9.66	2.08	2.41	0.414	14.57
18	13.76	2.83	1.06	0.216	17.86
19	16.69	3.33	1.75	0.287	22.05

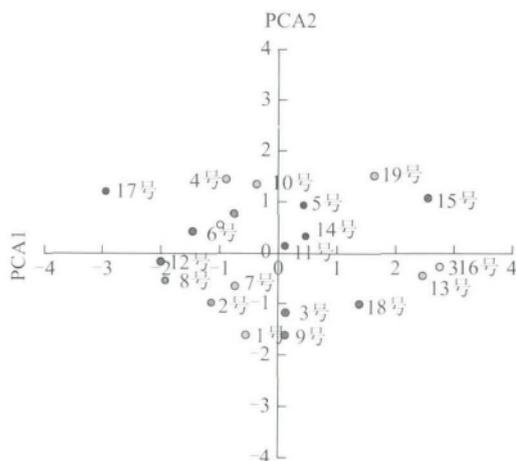


图9 不同来源黄芩主要化学成分主成分分析

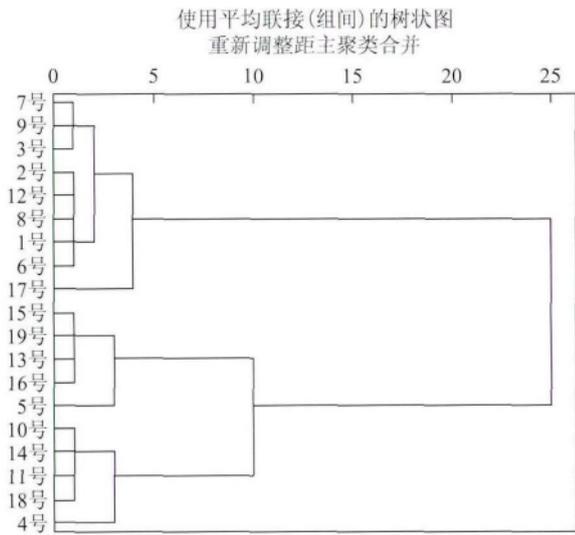


图10 不同来源黄芩主要化学成分聚类分析图

3.3 电子舌评价与化学成分的相关性分析

分别考察电子舌味觉感应信息和黄芩苷含量、以及苦味和黄芩中各成分的相关性发现：苦味、涩味、苦回味、涩回味、酸味与黄芩苷呈现显著的正相关；鲜回味与黄芩苷出现显著的负相关；咸味和黄芩苷含量没有相关性。苦味和汉黄芩苷也出现显著正相关。见图11~21。

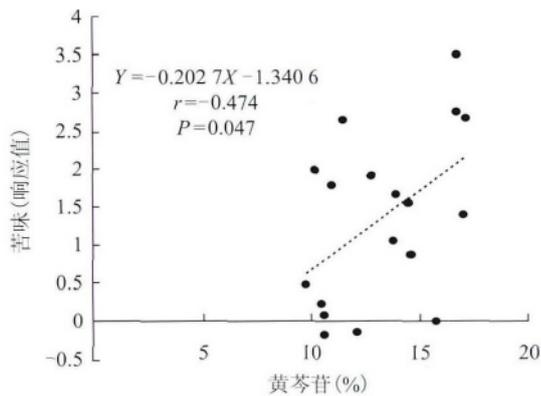


图11 苦味评价与黄芩苷的相关性

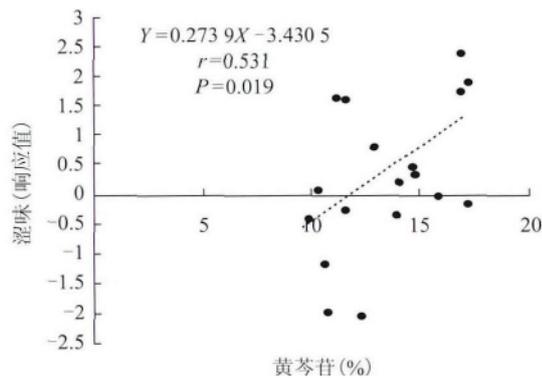


图12 涩味评价与黄芩苷的相关性

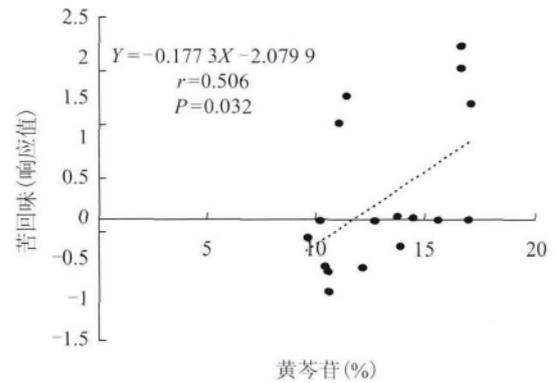


图13 苦回味评价与黄芩苷的相关性

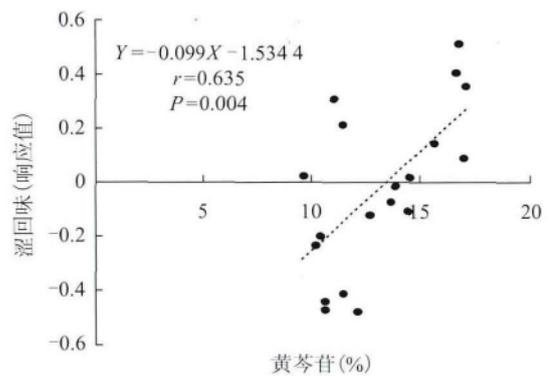


图14 涩回味评价与黄芩苷的相关性

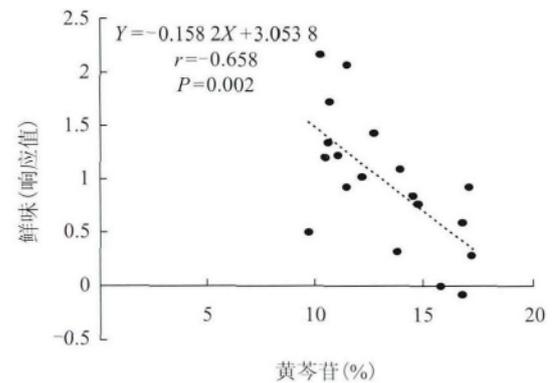


图15 鲜回味评价与黄芩苷的相关性

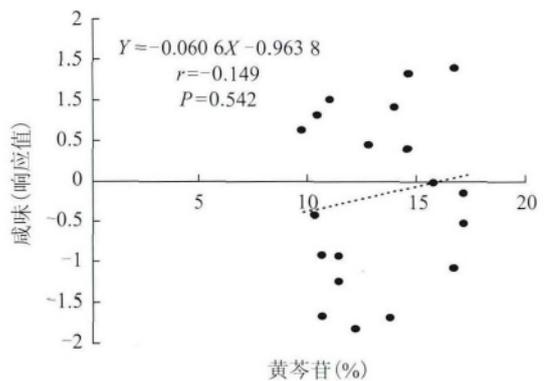


图16 咸味评价与黄芩苷的相关性

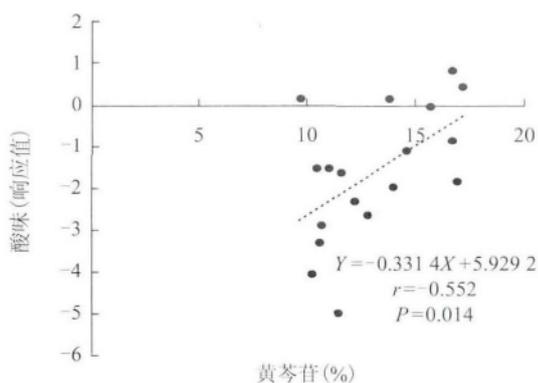


图 17 酸味评价与黄芩苷的相关性

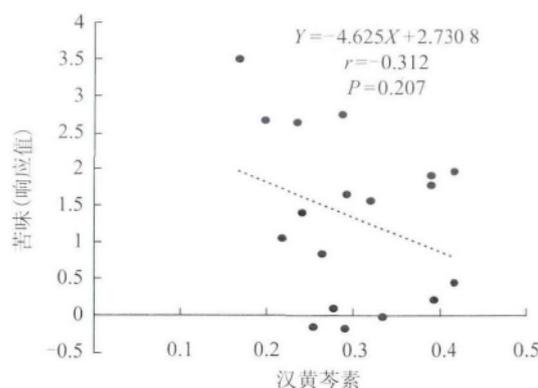


图 21 苦味评价与汉黄芩素的相关性

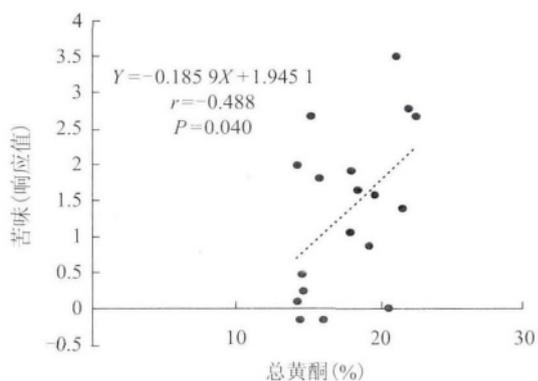


图 18 苦味评价与总黄酮的相关性

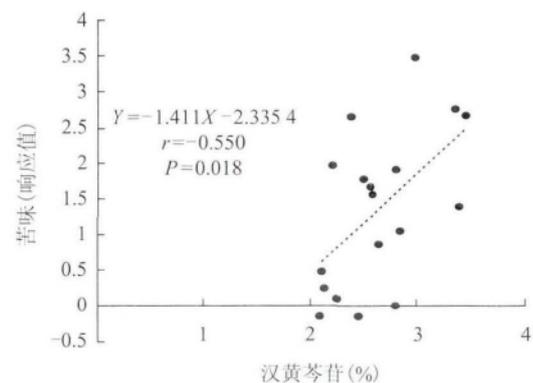


图 19 苦味评价与汉黄芩苷的相关性

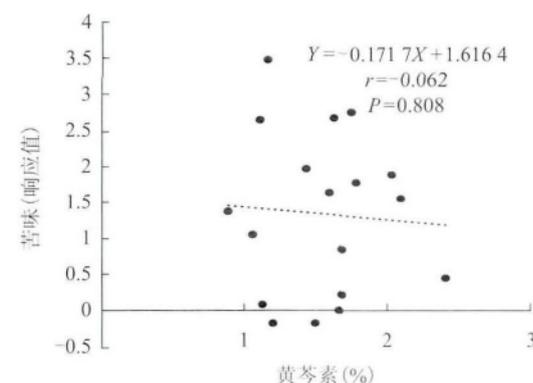


图 20 苦味评价与黄芩素的相关性

4 结论

本研究通过电子舌味觉分析系统分析了不同栽培区域和不同生长年限的黄芩药材味觉信息,通过其中酸味、苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、鲜味、咸味和丰富性 8 项指标的对比分析,总结了不同来源黄芩药材在味觉上的差异。同时通过对这些不同来源的黄芩药材主要黄酮类化学成分进行含量测定,结合电子舌味觉分析信息,考察了黄芩药材主要化学成分与味觉信息的相关性,得出如下结论:

①不同来源黄芩的口味主要是苦味、涩味、鲜味及其相应的回味和咸味。除了鲜味回味和丰富性的差异较小外,其他味道差异较大。

②1、2、3 号样品的苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、咸味和丰富性均较小,整体味觉很接近,可较为明显地聚为一类。7 号样品的苦味、鲜味较大; 13 号样品的苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、咸味最大; 其他样品之间具体味觉差异,均可以得到量化。

③对不同来源黄芩主要化学成分含量进行主成分分析和聚类分析发现,大体上可以所有样品分成 3 大类。

④分析不同来源黄芩电子舌味觉感应信息和黄芩主要黄酮类化学成分含量发现,黄芩苷含量与苦味、涩味、苦回味、涩回味、酸味呈现显著的正相关,与鲜回味出现显著的负相关。苦味和汉黄芩苷含量呈现显著正相关。

5 讨论

近些年来,电子舌在医药领域的研究逐年增多,比如在药物不同来源的差异性对比,预测未知中药提取液浓度,对比中药主成分的质量优劣等方面均

有涉及^[11]。电子舌能客观评价味道,并把涉及到成分相互作用的内在信息翻译成不同味道和质量之间关系,这使得它们在客观表达和控制中药材外观信息气味方面有着广阔的应用前景^[26]。

在中药研究中,药材味道是药材品质评定的重要标准。例如乌梅、木瓜、山楂以味酸为佳,黄连、黄柏以味苦为佳,甘草、党参以味甜为佳等。传统中医理论认为苦味药中苦味物质即药效物质^[27-29],现代研究也多有证实^[30-32],电子舌在中药苦味质量相关性方面有过一些应用。梁晓光等^[12]对黄连中的6种生物碱进行电子舌苦度评价和抑菌活性研究,发现其中的小檗碱、非洲防己碱和药根碱苦度较大,木兰碱苦度较小,并且发现其苦度与其对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌抑制呈显著正相关,苦味化合物为黄连的主要药效物质基础。Kataoka等^[13]也曾用过电子舌产品对多种中草药进行质量评估。电子舌技术在中药分类判别方面也有一些研究实例,如电子舌技术可以区分不同滋味的药材以及相同滋味的不同药材^[14],鉴别未知产地来源的药材等^[15]。另外也用于掩味评价和质量控制等^[33]。

光学技术和色谱技术对中药材进行品质评价需要借助有机溶剂才能完成测定,而电子舌技术可以综合评价药材品质,且节能环保。该技术在茶叶品质评价中就多有使用^[34-37]。

在进行中药材味觉评价的同时,可结合“气”的信息进行“气味”融合技术进行中药材信息的综合评价,目前也有一些研究。如武林^[38]通过气-味信息融合(电子鼻、电子舌)开展了对不同种类的中药材的分类鉴别,发现“气味融合”后使得分类效果更加显著,识别率达100%,比单独使用电子舌达到的中药材分类鉴别效果更佳。此外,“气味融合技术”也有助于解决中药药效物质无法检测、中西药难以会通的难题^[39]。基于电子舌技术的感官评价及其连用技术或可成为中药质量控制的新技术。

参考文献

- [1] 哈达. 电子舌在环境监测和药物评价中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [2] MAJOR N, MARKOVIĆ K, KRPAŃ M, et al. Rapid honey characterization and botanical classification by an electronic tongue[J]. *Talanta* 2011, 85(1): 569-574.
- [3] 黄星奕, 张春霞. 应用电子舌技术识别水体的水华污染程度[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2010, 31(5): 506-509.
- [4] 姜莎, 陈芹芹, 胡雪芳, 等. 电子舌在红茶饮料区分辨识中的应用[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 345-349.
- [5] 陈全胜, 江水泉, 王新宇. 基于电子舌技术和模式识别方法的茶叶质量等级评判[J]. *食品与机械*, 2008, 24(1): 124-126.
- [6] 黄星奕, 张浩玉, 赵杰文. 电子舌技术在食品领域应用研究进展[J]. *食品科技*, 2007(7): 20-24.
- [7] MUÑOZ A M, CIVILLE G V, CARR B T. Sensory evaluation in quality control[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [8] 赵镭, 刘文, 牛丽影, 等. 食品感官科学技术: 发展的机遇和挑战[J]. *中国食品学报*, 2009(6): 138-143.
- [9] WOERTZ K, TISSEN C, KLEINEBUDDE P, et al. A comparative study on two electronic tongues for pharmaceutical formulation development[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 2011, 55(2): 272-281.
- [10] AHMAD M N. Development of multichannel artificial lipid-polymer membrane sensor for phytomedicine application[J]. *Sensor* 2006, 10(6): 1333-1344.
- [11] Development of Multichannel Artificial Lipid-Polymer Membrane Sensor for Phytomedicine Application[J]. *Sensors* 2006, 10(6): 1333-1344.
- [12] 梁晓光, 吴飞, 王俊杰, 等. 基于现代电子舌技术的传统苦味中药黄连的苦味物质基础研究[J]. *中国中药杂志*, 2014, 19(17): 3326-3329.
- [13] KATAOKA Masumi, TOKUYAMA E, MIYANAGA Y, et al. The taste sensory evaluation of medicinal plants and Chinese medicines[J]. *International Journal of Pharmaceutics* 2008, 351(1/2): 36-44.
- [14] 杜瑞超, 王俊杰, 吴飞, 等. 电子舌对中药滋味的区分辨识[J]. *中国中药杂志*, 2013, 38(2): 154-160.
- [15] 吴飞, 杜瑞超, 洪燕龙, 等. 电子舌在鉴别中药枳实药材产地来源中的应用[J]. *中国药理学杂志*, 2012, 47(10): 808-812.
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 282-283.
- [17] 肖雁青, 江源, 李磊, 等. 北京西部山地黄芩主要有效成分与不同环境条件的关系研究[J]. *中草药*, 2009, 40(8): 1291-1296.
- [18] 宋双红, 张媛, 王喆之. HPLC测定不同产地黄芩中黄酮化合物的含量[J]. *中国中药杂志*, 2006, 31(7): 598-600.
- [19] 常小平, 王影. 不同产地黄芩中主要有效成分含量比较[J]. *河南中医*, 2010, 30(12): 1176-1177.

- [20] 薛黎明,秦雪梅,张丽增.不同产地黄芩药材的黄芩苷含量测定及指纹图谱研究[J].中成药,2008,30(1):10-13.
- [21] 肖丽和,王红燕,李发美,等.不同来源黄芩药材 HPLC 指纹图谱比较[J].沈阳药科大学学报,2004,21(1):28-31.
- [22] 刘菊福,卢长安,廖福龙,等.不同产地黄芩提取物主要药效作用的比较[J].中国中医药信息杂志,2001,8(3):28-30.
- [23] 王喆明,吴再旺,蔡少青,等.不同来源黄芩道地性的药效学研究[C]//基础理论研究专业委员会.全国中西医结合基础理论研究学术研讨会论文集.长沙:中国中西医结合学会,2010:281-285.
- [24] OOHIRA K, TOKO K, AKIYAMA H. Electric characteristics of hybrid polymer membranes composed of two lipid species [J]. Journal of the Physical Society of Japan, 1995, 9(64): 3554.
- [25] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAZKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores [J]. Sensors (Basel), 2010, 10(4): 3411-3443.
- [26] 李文敏,吴纯洁,黄学思,等.电子鼻和电子舌技术及其在中药加工炮制中的应用展望[C]//中华中医药学会中药炮制分会.四大怀药与地道药材研究论坛会议论文集.焦作:中华中医药学会,2007:42-47.
- [27] 廉秀云,吴运玲,冯惠善.浅谈苦味药的药性特征及其配伍作用[J].黑龙江中医药,1999(1):52-53.
- [28] 吴安芝,张引拖.论述苦味药的药性特征及其配伍作用[J].内蒙古中医药,2011(7):85-86.
- [29] 孙大定.苦味药的药性特征及其配伍作用初探[J].中国中药杂志,1996,21(2):55-56.
- [30] 刘晶晶.苦味机理及苦味物质的研究概况[J].食品科技,2006(8):21-24.
- [31] 郝晓霞.苦味物质研究概况[J].黄冈师范学院学报,2008,28(S1):90-92.
- [32] 张开诚.苦味机理与苦味抑制技术研究概况[J].中国调味品,2004(11):39-42,32.
- [33] 刘瑞新,李慧玲,李学林,等.基于电子舌的穿心莲水煎液的掩味效果评价研究[J].中草药,2013,44(16):2240-2245.
- [34] 郭雅玲,赖凌凌.人工味觉系统在茶叶品质评价中的应用进展[J].热带作物学报,2013,34(6):1192-1199.
- [35] 吴瑞梅,赵杰文,陈全胜,等.基于电子舌技术的绿茶滋味品质评价[J].农业工程学报,2011,27(11):378-381.
- [36] 薛丹,史波林,赵镭,等.基于电子舌技术的茶叶等级分类研究[J].食品科技,2010,35(12):278-281.
- [37] 庄雅婷.台湾特色茶感官特性与电子舌及电子鼻分析之相关性[D].台北:中台科技大学食品科技研究所,2008.
- [38] 武琳.基于机器嗅觉/味觉中药材气一味信息融合与品鉴方法的研究[D].广州:广东工业大学,2012.
- [39] 盛良.用电子鼻、电子舌检测中西药物共同药效物质基础[J].现代中西医结合杂志,2008,17(18):2778-2780.

(收稿日期 2015-01-13)

(上接第1132页)

- [3] 白映佳,刘丽芳,孔铭,等.中药材养护新技术研究进展[J].世界科学技术——中医药现代化,2014,16(2):425-432.
- [4] 毛春芹,季琳,陆兔林,等.中药材硫磺熏蒸后有害物质及其危害研究进展[J].中国中药杂志,2014,39(15):2801-2806.
- [5] 曹颖,何国伟.中药材过度硫熏问题亟待解决[N].中国中医药报,2012-12-28(7).
- [6] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[S].北京:中国医药科技出版社,2010.
- [7] 中国仓储协会,中国中药协会,君合百安仓储科技(北京)有限公司,等.中华人民共和国国内贸易行业标准:SB/T11904-2014[S].北京:中国标准出版社,2015:3.
- [8] 叶艳芬.现代技术——气调养护中药材[J].海峡药学,2007,19(9):130-131.
- [9] 王春录.一种气调仓储方法:中国 ZL 2010 1 0174988.5[P].2010-05-18.

(收稿日期 2015-08-06)