

基于仿生技术对不同产地当归 阿魏酸含量与滋味的关联性研究

吴钰^{1,2,3,4}, 饶智^{1,2,3,4}, 陈彦坤^{1,2,3,4}, 陈光宇^{1,2,3,4}, 李俊明^{1,2,3,4}, 黄雄超⁵,
于添⁵, 俞伟祖⁵, 谢梦洲^{1,2,3,4*}, 王亚敏^{1,2,3,4}

(¹湖南中医药大学, 长沙 410208; ²湖南省药食同源功能性食品工程技术研究中心, 长沙 410208;
³中医诊断学湖南省重点实验室, 长沙 410208; ⁴中医心肺病证辨证与药膳食疗重点研究室, 长沙 410208;
⁵良品铺子营养食品有限责任公司, 武汉 430000)

摘要:目的: 比较 45 个产地当归的滋味及阿魏酸含量差异, 探讨滋味与阿魏酸含量的相关性, 从而评价不同产地当归品质的优劣。方法: 运用电子舌技术测定甘肃省 45 个县市当归样品的 9 种滋味, HPLC 法测定阿魏酸含量, 采用 95% 可信区间重叠法进行统计分析并比较味觉及阿魏酸差异, 并将 9 种滋味与阿魏酸含量进行相关性研究, 为当归药材的品质评价提供参考。结果: GS19 (西宁县) 阿魏酸含量最高 (0.29%), GS37 (西当县) 甜味最高, GS38 (高台县) 苦味值最高, GS14 (合水县) 鲜味值最高。当归滋味与其品质相关, 阿魏酸与鲜味值呈显著正相关 ($R=0.508$, $P=0.000$, $n=45$), 与苦味、涩味、甜味、咸味、苦味回味、鲜味回味值无显著相关性。结论: 不同产地当归的鲜味值差异反映阿魏酸含量的高低, 故可用电子舌技术评价及快速鉴别药材的品质。

关键词: 当归; 电子舌; HPLC; 阿魏酸; 95% 可信区间重叠法; Pearson 相关性分析

当归性味温、甘、辛, 具有活血补血、调经止痛、润肠通便等功效。当归主产于甘肃, 约占全国产量的 85%。考证历代本草古籍, 岷县及其周边地区均为当归道地产区, 即今甘肃岷县、宕昌、渭源、漳县一带^[1-2]。产地是影响中药质量的重要因素之一, 随着地理区域的改变, 光照、环境温度、降水量、土壤条件等生态因子会影响药材质量^[3]。传统中药性状鉴别主观性和经验性较强, 探寻准确而快速评价当归质量的新方法十分必要。任伟光等^[4]研究当归颜色与道地性的相关性, 比较了 4 个产地的当归颜色及 5 种有效成分含量, 结果表明, 当归颜色与其品质相关, 然而关于当归药材质量与滋味相关性的研究鲜有报道。本试验以甘肃省 45 个不同县市所产的当归药材为研究对象, 通过电子舌技术测定味觉响应值, 高效液相色谱法测定阿魏酸含量, 寻找当归滋味与质量的相关性, 旨在为当归药材质量的综合评价和全面控制当归质量, 评价当归产地与品质的相关性, 提高当归药材质量提供科学依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器与设备

ZWL-PAI-10 型超纯水机, 湖南中沃水务环保科技有限公司; ATX124 型电子天平, 东京岛津仪器有限公司; 2500Y 型多功能粉碎机, 永康市博欧五金制品; KM5200DE 型超声波清洗器, 昆山美超声仪器; SHH.W21 型电热水箱, 北京中兴伟业仪器; HY-4 型调速多用振荡器, 常州荣华仪器制造有限公司; TGL18W 型高速冷冻离心机, 长沙英泰仪器有限公司; SFY-20BL 型水分测定仪, 深圳市冠亚水分仪科技; 101-1AB 型电热鼓风干燥箱, 北京中兴伟业仪器; U3000 型液相色谱仪, 德国赛默飞; BCD-610W 型西门子冰箱, 博西华家用电器有限公司; SA-402B 型电子舌, 日本 Insent 公司, 实验中使用 AE1 传感器、AAE 传感器、CTO 传感器、COO 传感器、CAO 传感器、GL1 传感器; ME204E 型电子分析天平, 上海梅特勒-托利多仪器有限公司; TCS-100 型电子台秤, 上海乾峰电子仪器有限公司; DD5 型离心沉淀机, 长沙英泰仪器有限公司。

基金项目: 湖南中医药大学药食同源工程中心开放基金资助 (项目编号: 2018YSTY010)。

作者简介: 吴钰 (1995—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 中医药膳学。

* 共同通信作者: 谢梦洲 (1964—), 女, 博士, 教授, 研究方向: 中医药膳学; 王亚敏 (1990—), 女, 硕士, 研究方向: 中医药膳学。

1.2 材料与试剂

甲醇 (色谱纯 HPLC, Tedia Company)、乙腈 (色谱纯 HPLC, Tedia Company)、甲醇 (质谱纯 LC-MS, OCEANPAK)、乙腈 (质谱纯 LC-MS, OCEANPAK)、阿魏酸 (批号: 110773-201614, 中国食品药品检定研究院), 质量分数均 $\geq 99.9\%$ 。实验室用水为纯化水、HPLC 用水为超纯水, 实验用当归药材于 2020 年 10—12 月采自甘肃省 45 个县市 (亳州市锦博药业有限公司提供), 经湖南中医药大学王智老师鉴定为伞形科植物 *Angelica sinensis* 的干燥根。样品信息见表 1。

表 1 45 批当归样品信息

批号	产地	批号	产地	批号	产地
GS1	甘肃武山县	GS16	甘肃广河县	GS31	甘肃康乐县
GS2	甘肃漳县	GS17	甘肃民勤县	GS32	甘肃康县
GS3	甘肃渭源县	GS18	甘肃宁县	GS33	甘肃西和县
GS4	甘肃环县	GS19	甘肃西宁县	GS34	甘肃礼县
GS5	甘肃岷县	GS20	甘肃崇信县	GS35	甘肃灵台县
GS6	甘肃镇原	GS21	甘肃陇西成县	GS36	甘肃静宁县
GS7	甘肃临洮县	GS22	甘肃民乐县	GS37	甘肃西当县
GS8	甘肃泾川县	GS23	甘肃和政县	GS38	甘肃高台县
GS9	甘肃临潭县	GS24	甘肃徽县	GS39	甘肃肃北县
GS10	甘肃舟曲县	GS25	甘肃甘谷县	GS40	甘肃永昌县
GS11	甘肃玛曲县	GS26	甘肃秦安县	GS41	甘肃华池县
GS12	甘肃永登县	GS27	甘肃榆中县	GS42	甘肃山丹县
GS13	甘肃皋兰县	GS28	甘肃庄浪县	GS43	甘肃华亭市
GS14	甘肃合水县	GS29	甘肃古浪县	GS44	甘肃文县
GS15	甘肃陇西市	GS30	甘肃清水县	GS45	甘肃临泽县

2 方法与结果

2.1 阿魏酸含量测定

2.1.1 空白对照溶液的制备 取甲醇溶液, 用 $0.22\ \mu\text{m}$ 有机微孔滤膜滤过, 即得。

2.1.2 对照品溶液的制备 取阿魏酸对照品适量, 精密称定, 加甲醇制成含阿魏酸浓度为 $20.0970\ \mu\text{g/mL}$ 的对照品溶液, 即得, 或称为阿魏酸对照液。

2.1.3 供试品溶液的制备 取本品粉末 (过三号筛) 约 $0.2\ \text{g}$, 精密称定, 置具塞锥形瓶中, 精密加入 70% 甲醇 $20\ \text{mL}$, 密塞, 称定重量, 加热回流 $30\ \text{min}$, 放冷, 再称定重量, 用 70% 甲醇补足减失的重量, 摇匀, 静置, 取上清液用 $0.22\ \mu\text{m}$ 有机微孔滤膜滤过, 取续滤液, 即得。

2.1.4 色谱条件 以十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂 (月旭科技上海股份有限公司, Ultimate XB-C₁₈ 型色谱柱, $5\ \mu\text{m}$, $4.6\ \text{mm} \times 250\ \text{mm}$), 以甲醇为流动相 A (30%), 以 0.1% 磷酸水溶液为流动相 B (70%); 柱温

$30\ ^\circ\text{C}$; 流速为 $1.0\ \text{mL/min}$; 检测波长为 $316\ \text{nm}$ 。

2.1.5 测定法 分别精密吸取对照品溶液与供试品溶液各 $10\ \mu\text{L}$, 注入高效液相色谱仪, 测定, 即得。空白对照液、阿魏酸、当归供试液色谱图等见图 1~3。

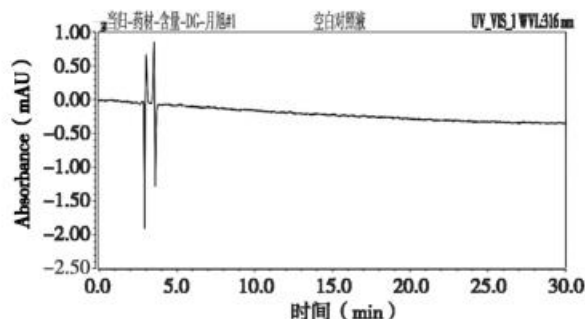


图 1 空白对照液色谱图

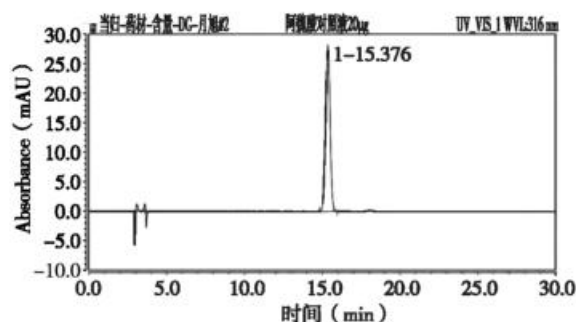


图 2 阿魏酸对照液色谱图

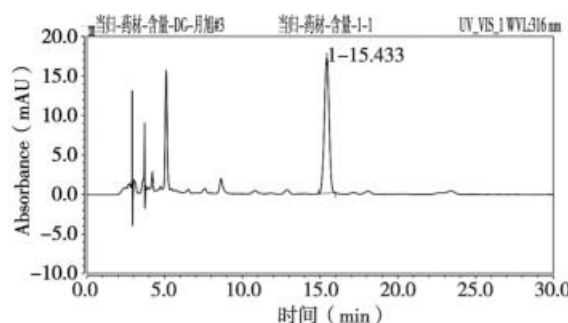


图 3 当归供试液色谱图

2.1.6 高效液相色谱法测定当归中阿魏酸含量 由表 2 及图 4 结果可知, 阿魏酸含量由高到低排序为: 最高的产地是西宁县, 远远高于其他产地 (95% 可信区间未重叠差别具有统计意义); 第二位是漳县、渭源县、岷县、镇原县、临洮县、永登县、合水县、陇西县、广河县、宁县、文县 (第二位产地之间 95% 可信区间重叠差别无统计意义); 第三位是环县、舟曲县、玛曲县、崇信县、民乐县、徽县、秦安县、庄浪县、古浪县、康乐县、康县、西和县、礼县、灵台县、静宁县、高台县、肃北县、华池县、山丹县、华亭市、临泽县、榆中县 (第三位产地之间 95% 可信区间重叠差别无统计意义);

阿魏酸含量最低的产地是武山县、泾川县、临潭县、皋兰县、民勤县、成县、和政县、甘谷县、清水县、西当县、永昌县（第四位产地之间95%可信区间重叠差别无

统计意义）。45个产地当归中阿魏酸的含量均高于0.050%，符合2015年版中国药典规定。

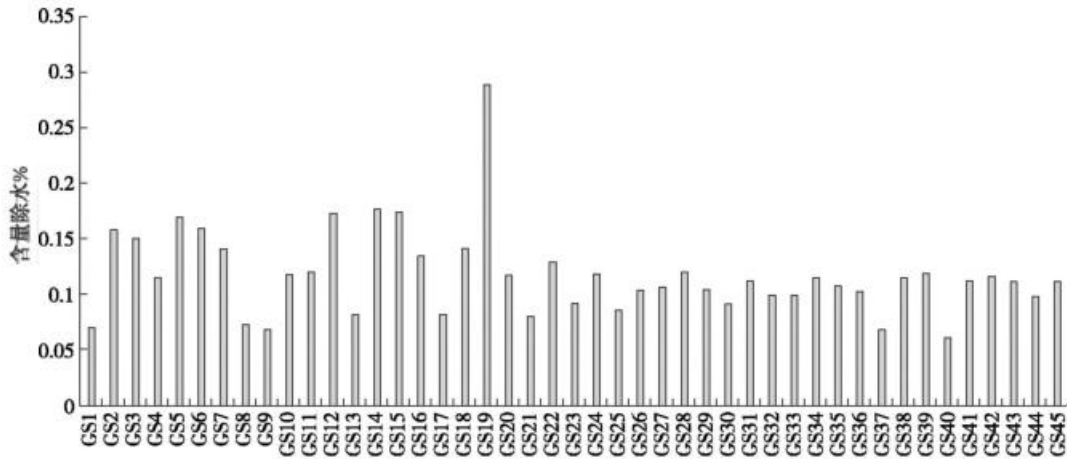


图4 不同产地当归中阿魏酸含量的比较

表2 不同产地当归中阿魏酸含量的比较

批号	均值、标准差及 95% 置信区间	批号	均值、标准差及 95% 置信区间	批号	均值、标准差及 95% 置信区间
GS1	0.070 3 ± 0.001 4 0.066 8 ~ 0.073 8	GS16	0.135 3 ± 0.002 7 0.128 6 ~ 0.142 0	GS31	0.113 4 ± 0.002 3 0.107 8 ~ 0.119 0
GS2	0.158 5 ± 0.003 2 0.150 6 ~ 0.166 4	GS17	0.083 2 ± 0.001 7 0.079 1 ~ 0.087 3	GS32	0.099 1 ± 0.002 0 0.094 2 ~ 0.104 0
GS3	0.151 0 ± 0.003 0 0.143 5 ~ 0.158 5	GS18	0.142 2 ± 0.002 8 0.135 1 ~ 0.149 3	GS33	0.099 0 ± 0.002 0 0.094 1 ~ 0.103 9
GS4	0.115 8 ± 0.002 3 0.110 0 ~ 0.121 6	GS19	0.290 0 ± 0.005 8 0.275 6 ~ 0.304 4	GS34	0.115 9 ± 0.002 3 0.110 1 ~ 0.121 7
GS5	0.169 9 ± 0.003 4 0.161 5 ~ 0.178 3	GS20	0.118 0 ± 0.002 4 0.112 1 ~ 0.123 9	GS35	0.108 2 ± 0.002 2 0.102 8 ~ 0.113 6
GS6	0.159 3 ± 0.003 2 0.151 4 ~ 0.167 2	GS21	0.080 8 ± 0.001 6 0.076 8 ~ 0.084 8	GS36	0.103 1 ± 0.002 1 0.098 0 ~ 0.108 2
GS7	0.141 6 ± 0.002 8 0.134 6 ~ 0.148 6	GS22	0.129 2 ± 0.002 6 0.122 8 ~ 0.135 6	GS37	0.068 3 ± 0.001 4 0.064 9 ~ 0.071 7
GS8	0.073 6 ± 0.001 5 0.069 9 ~ 0.077 3	GS23	0.093 0 ± 0.001 9 0.088 4 ~ 0.097 6	GS38	0.115 8 ± 0.002 3 0.110 0 ~ 0.121 6
GS9	0.069 0 ± 0.001 4 0.065 6 ~ 0.072 4	GS24	0.118 8 ± 0.002 4 0.112 9 ~ 0.124 7	GS39	0.120 2 ± 0.002 4 0.114 2 ~ 0.126 2
GS10	0.117 4 ± 0.002 3 0.111 6 ~ 0.123 2	GS25	0.086 5 ± 0.001 7 0.082 2 ~ 0.090 8	GS40	0.062 0 ± 0.001 2 0.058 9 ~ 0.065 1
GS11	0.120 8 ± 0.002 4 0.114 8 ~ 0.126 8	GS26	0.104 4 ± 0.002 1 0.099 2 ~ 0.109 6	GS41	0.113 2 ± 0.002 3 0.107 6 ~ 0.118 8
GS12	0.172 8 ± 0.003 5 0.164 2 ~ 0.181 4	GS27	0.106 9 ± 0.002 1 0.101 6 ~ 0.112 2	GS42	0.116 7 ± 0.002 3 0.110 9 ~ 0.122 5
GS13	0.083 4 ± 0.001 7 0.079 3 ~ 0.087 5	GS28	0.120 4 ± 0.002 4 0.114 4 ~ 0.126 4	GS43	0.112 4 ± 0.002 2 0.106 8 ~ 0.118 0
GS14	0.177 0 ± 0.003 5 0.168 2 ~ 0.185 8	GS29	0.105 5 ± 0.002 1 0.100 3 ~ 0.110 7	GS44	0.098 3 ± 0.002 0 0.093 4 ~ 0.103 2
GS15	0.174 5 ± 0.003 5 0.165 8 ~ 0.183 2	GS30	0.091 5 ± 0.001 8 0.087 0 ~ 0.096 0	GS45	0.112 1 ± 0.002 2 0.106 5 ~ 0.117 7

3 电子舌仿生技术测定不同产地当归的味觉

3.1 仪器与材料

3.1.1 仪器 SA-402B型电子舌，日本 Insent 公司，实验中使用 AE1 传感器、AAE 传感器、CTO 传感器、COO 传感器、CAO 传感器、GL1 传感器；ME204E 型电子分析天平，上海梅特勒-托利多仪器有限公司；TCS-100 型电子台秤，上海乾峰电子仪器有限公司；DD5 型离心沉淀机，长沙英泰仪器有限公司。

3.1.2 药材与试剂 实验室用水为纯化水，样品信息见表1。

3.2 电子舌测定

3.2.1 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 1 000 mL 的容量瓶，定容。

3.2.2 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，搅拌混合后转移到 1 000 mL 的容量瓶，定容。

3.2.3 参比液配制 精密称定 2.24 g 氯化钾和 0.045 g 酒石酸，用 500 mL 蒸馏水溶解，转移到 1 000 mL 的容量瓶，定容。

3.2.4 电子舌测试方法 首先在清洗液中清洗 90 s，然后用参比液清洗 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，测试时间为 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。

3.3 方法学考察^[8]

3.3.1 精密度试验 按“2.3.1”方法制备原药液并稀释8倍,按“2.2.4”方法连续测定6次,记录传感器AE1、AAE、CTO、COO、CAO、GL1的响应值,计算RSD分别为2.25%、2.24%、1.33%、1.31%、0.58%、0.45%、0.82%,表明仪器精密度良好。

3.3.2 重复性试验 按“2.3.1”方法制备原药液并稀释8倍,平行制备样品溶液6份,分别测定,记录传感器AE1、AAE、CTO、COO、CAO、GL1的响应值,计算RSD分别为2.50%、2.65%、2.96%、2.72%、2.83%、2.58%、2.61%,表明该方法重复性良好。

3.3.3 稳定性试验 按“2.3.1”方法制备原药液并稀释8倍,分别于制备后0、4、8、12、16、20、24 h测定,记录传感器AE1、AAE、CTO、COO、CAO、GL1的响应值,计算RSD分别为2.56%、2.60%、2.03%、2.15%、1.05%、1.12%、1.08%,表明样品溶液在24 h内稳定。

3.4 电子舌分析

3.4.1 供试品溶液制备 精密称取当归粉1 g(准确到

0.01 g,加入100 mL超纯水,加热回流提取1 h,趁热抽滤,取滤液。药渣再加80 mL超纯水,按上述条件重复提取1次,趁热抽滤,取滤液。合并2次滤液,转速4 000 r/min离心10 min,取上清液定,即得样品溶液。

3.4.2 电子舌分析结果 将每个样品液倒入电子舌测试专用塑料小杯中,每杯25 mL,每个样品倒2杯,按“2.2.4”方法进行测试,对味觉信息测定值进行计算,求出均值、标准差、95%可信区间,酸味、苦味回味、涩味、涩味回味、咸味响应值均为负值,故删除。由表3及图5可知,不同产地当归的味觉差异主要体现在甜味、苦味、鲜味、鲜味回味,其中成县的当归甜味最高(与其他产地95%可信区间未重叠,差别有统计意义),45个县的当归苦味值相当(95%可信区间重叠,差别无统计意义),合水县鲜味值最高(与其他产地95%可信区间未重叠,差别有统计意义),45个县的当归鲜味回味值相当(95%可信区间重叠,差别无统计意义),由于鲜味回味响应值数值太小,导致操作误差太大,结果无统计学意义。

表3 当归不同产地味觉电位差响应值均值、标准差及95%可信区间

样品名称	甜味	苦味	鲜味	鲜味回味
GS1	14.600 0 ± 0.000 0	12.300 0 ± 0.000 0	9.610 0 ± 0.000 0	0.890 0 ± 0.000 0
	14.600 0 ~ 14.600 0	12.300 0 ~ 12.300 0	9.610 0 ~ 9.610 0	0.890 0 ~ 0.890 0
GS2	14.626 7 ± 0.028 9	12.010 0 ± 0.045 8	10.800 0 ± 0.010 0	0.863 3 ± 0.020 8
	14.570 1 ~ 14.683 3	11.920 2 ~ 12.099 8	10.780 4 ~ 10.819 6	0.822 5 ~ 0.904 1
GS3	15.160 0 ± 0.045 8	12.390 0 ± 0.020 0	10.796 7 ± 0.025 2	0.900 0 ± 0.026 5
	15.070 2 ~ 15.249 8	12.350 8 ~ 12.429 2	10.747 4 ~ 10.846 0	0.848 1 ~ 0.951 9
GS4	14.573 3 ± 0.005 8	12.126 7 ± 0.015 3	11.026 7 ± 0.040 4	0.876 7 ± 0.015 3
	14.562 0 ~ 14.584 6	12.096 8 ~ 12.156 6	10.947 5 ~ 11.105 9	0.846 8 ~ 0.906 6
GS5	14.873 3 ± 0.035 1	12.253 3 ± 0.064 3	10.060 0 ± 0.062 5	0.830 0 ± 0.026 5
	14.804 5 ~ 14.942 1	12.127 3 ~ 12.379 3	9.937 6 ~ 10.182 4	0.778 1 ~ 0.881 9
GS6	14.636 7 ± 0.040 4	12.013 3 ± 0.030 6	10.616 7 ± 0.055 1	0.880 0 ± 0.040 0
	14.557 5 ~ 14.715 9	11.953 4 ~ 12.073 2	10.508 7 ~ 10.724 7	0.801 6 ~ 0.958 4
GS7	14.396 7 ± 0.025 2	12.056 7 ± 0.040 4	10.550 0 ± 0.017 3	0.886 7 ± 0.041 6
	14.347 4 ~ 14.446 0	11.977 5 ~ 12.135 9	10.516 1 ~ 10.583 9	0.805 1 ~ 0.968 3
GS8	14.533 3 ± 0.032 2	12.196 7 ± 0.025 2	9.906 7 ± 0.045 1	0.923 3 ± 0.056 9
	14.470 3 ~ 14.596 3	12.147 4 ~ 12.246 0	9.818 3 ~ 9.995 1	0.811 9 ~ 1.034 7
GS9	14.580 0 ± 0.036 1	12.240 0 ± 0.078 1	9.543 3 ± 0.055 1	0.920 0 ± 0.050 0
	14.509 3 ~ 14.650 7	12.086 9 ~ 12.393 1	9.435 3 ~ 9.651 3	0.822 0 ~ 1.018 0
GS10	14.396 7 ± 0.032 2	12.056 7 ± 0.063 5	9.920 0 ± 0.085 4	0.893 3 ± 0.046 2
	14.333 7 ~ 14.459 7	11.932 2 ~ 12.181 2	9.752 5 ~ 10.087 5	0.802 8 ~ 0.983 8
GS11	14.210 0 ± 0.000 0	12.150 0 ± 0.000 0	11.320 0 ± 0.000 0	1.050 0 ± 0.000 0
	14.210 0 ~ 14.210 0	12.150 0 ~ 12.150 0	11.320 0 ~ 11.320 0	1.050 0 ~ 1.050 0
GS12	14.376 7 ± 0.020 8	12.216 7 ± 0.005 8	11.000 0 ± 0.026 5	1.030 0 ± 0.060 8
	14.335 9 ~ 14.417 5	12.205 4 ~ 12.228 0	10.948 1 ~ 11.051 9	0.910 8 ~ 1.149 2
GS13	13.870 0 ± 0.017 3	12.100 0 ± 0.026 5	10.340 0 ± 0.065 6	1.050 0 ± 0.010 0
	13.836 1 ~ 13.903 9	12.048 1 ~ 12.151 9	10.211 5 ~ 10.468 5	1.030 4 ~ 1.069 6
GS14	13.980 0 ± 0.045 8	12.110 0 ± 0.026 5	11.483 3 ± 0.040 4	1.043 3 ± 0.037 9
	13.890 2 ~ 14.069 8	12.058 1 ~ 12.161 9	11.404 1 ~ 11.562 5	0.969 1 ~ 1.117 5
GS15	14.123 3 ± 0.045 1	12.086 7 ± 0.037 9	10.610 0 ± 0.017 3	1.040 0 ± 0.036 1
	14.034 9 ~ 14.211 7	12.012 5 ~ 12.160 9	10.576 1 ~ 10.643 9	0.969 3 ~ 1.110 7

(续)

样品名称	甜味	苦味	鲜味	鲜味回味
GS16	14.096 7 ± 0.075 7	12.236 7 ± 0.047 3	10.533 3 ± 0.090 2	1.060 0 ± 0.052 9
	13.948 3 ~ 14.245 1	12.144 1 ~ 12.329 3	10.356 5 ~ 10.710 1	0.956 3 ~ 1.163 7
GS17	14.223 3 ± 0.100 2	12.323 3 ± 0.023 1	10.790 0 ± 0.055 7	1.023 3 ± 0.041 6
	14.027 0 ~ 14.419 6	12.278 0 ~ 12.368 6	10.680 9 ~ 10.899 1	0.941 7 ~ 1.104 9
GS18	14.013 3 ± 0.015 3	12.400 0 ± 0.040 0	10.986 7 ± 0.015 3	1.053 3 ± 0.005 8
	13.983 4 ~ 14.043 2	12.321 6 ~ 12.478 4	10.956 8 ~ 11.016 6	1.042 0 ~ 1.064 6
GS19	14.840 0 ± 0.043 6	12.203 3 ± 0.066 6	10.966 7 ± 0.025 2	0.996 7 ± 0.051 3
	14.754 6 ~ 14.925 4	12.072 8 ~ 12.333 8	10.917 4 ~ 11.016 0	0.896 1 ~ 1.097 3
GS20	14.280 0 ± 0.045 8	12.403 3 ± 0.058 6	10.303 3 ± 0.061 1	0.983 3 ± 0.025 2
	14.190 2 ~ 14.369 8	12.288 5 ~ 12.518 1	10.183 5 ~ 10.423 1	0.934 0 ~ 1.032 6
GS21	15.850 0 ± 0.000 0	12.190 0 ± 0.000 0	10.200 0 ± 0.000 0	1.080 0 ± 0.000 0
	15.850 0 ~ 15.850 0	12.190 0 ~ 12.190 0	10.200 0 ~ 10.200 0	1.080 0 ~ 1.080 0
GS22	15.726 7 ± 0.188 8	12.810 0 ± 0.055 7	10.303 3 ± 0.133 2	1.130 0 ± 0.043 6
	15.356 7 ~ 16.096 7	12.700 9 ~ 12.919 1	10.042 3 ~ 10.564 3	1.044 6 ~ 1.215 4
GS23	10.920 0 ± 0.551 1	11.806 7 ± 0.668 6	9.833 3 ± 0.116 8	1.120 0 ± 0.010 0
	9.839 9 ~ 12.000 1	10.496 2 ~ 13.117 2	9.604 5 ~ 10.062 1	1.100 4 ~ 1.139 6
GS24	13.183 3 ± 0.480 6	11.936 7 ± 0.379 8	10.303 3 ± 0.085 1	1.096 7 ± 0.015 3
	12.241 4 ~ 14.125 2	11.192 3 ~ 12.681 1	10.136 6 ~ 10.470 0	1.066 8 ~ 1.126 6
GS25	13.916 7 ± 0.513 9	12.403 3 ± 0.096 1	9.040 0 ± 1.339 1	1.110 0 ± 0.034 6
	12.909 4 ~ 14.924 0	12.215 0 ~ 12.591 6	7.700 9 ~ 10.379 1	1.042 1 ~ 1.177 9
GS26	15.136 7 ± 0.135 8	12.226 7 ± 0.101 2	9.660 0 ± 0.072 1	1.136 7 ± 0.035 1
	14.870 6 ~ 15.402 8	12.028 4 ~ 12.425 0	9.518 7 ~ 9.801 3	1.067 9 ~ 1.205 5
GS27	14.390 0 ± 0.262 1	12.446 7 ± 0.257 9	9.610 0 ± 0.052 9	1.120 0 ± 0.065 6
	13.876 3 ~ 14.903 7	11.941 1 ~ 12.952 3	9.506 3 ~ 9.713 7	0.991 5 ~ 1.248 5
GS28	15.373 3 ± 0.198 6	12.293 3 ± 0.165 0	10.070 0 ± 0.072 1	1.093 3 ± 0.075 1
	14.984 1 ~ 15.762 5	11.969 8 ~ 12.616 8	9.928 7 ~ 10.211 3	0.946 2 ~ 1.240 4
GS29	14.196 7 ± 0.283 8	12.646 7 ± 0.156 3	9.650 0 ± 0.340 7	1.086 7 ± 0.047 3
	13.640 5 ~ 14.752 9	12.340 3 ~ 12.953 1	8.982 2 ~ 10.317 8	0.994 1 ~ 1.179 3
GS30	13.653 3 ± 0.626 9	11.840 0 ± 0.494 9	10.210 0 ± 0.045 8	1.073 3 ± 0.035 1
	12.424 5 ~ 14.882 1	10.870 1 ~ 12.809 9	10.120 2 ~ 10.299 8	1.004 5 ~ 1.142 1
GS31	14.660 0 ± 0.000 0	11.940 0 ± 0.000 0	10.410 0 ± 0.000 0	1.100 0 ± 0.000 0
	14.660 0 ~ 14.660 0	11.940 0 ~ 11.940 0	10.410 0 ~ 10.410 0	1.100 0 ~ 1.100 0
GS32	15.330 0 ± 0.229 1	12.143 3 ± 0.032 2	10.103 3 ± 0.035 1	1.120 0 ± 0.026 5
	14.880 9 ~ 15.779 1	12.080 3 ~ 12.206 3	10.034 5 ~ 10.172 1	1.068 1 ~ 1.171 9
GS33	15.716 7 ± 0.055 1	12.076 7 ± 0.037 9	10.396 7 ± 0.095 0	1.100 0 ± 0.026 5
	15.608 7 ~ 15.824 7	12.002 5 ~ 12.150 9	10.210 4 ~ 10.583 0	1.048 1 ~ 1.151 9
GS34	14.996 7 ± 0.400 2	12.126 7 ± 0.015 3	10.173 3 ± 0.037 9	1.120 0 ± 0.017 3
	14.212 4 ~ 15.781 0	12.096 8 ~ 12.156 6	10.099 1 ~ 10.247 5	1.086 1 ~ 1.153 9
GS35	15.593 3 ± 0.176 2	11.973 3 ± 0.035 1	10.423 3 ± 0.025 2	1.103 3 ± 0.020 8
	15.248 0 ~ 15.938 6	11.904 5 ~ 12.042 1	10.374 0 ~ 10.472 6	1.062 5 ~ 1.144 1
GS36	14.303 3 ± 0.065 1	12.013 3 ± 0.049 3	10.100 0 ± 0.010 0	1.140 0 ± 0.010 0
	14.175 8 ~ 14.430 8	11.916 6 ~ 12.110 0	10.080 4 ~ 10.119 6	1.120 4 ~ 1.159 6
GS37	15.730 0 ± 0.075 5	12.223 3 ± 0.110 2	10.370 0 ± 0.052 0	1.126 7 ± 0.032 2
	15.582 0 ~ 15.878 0	12.007 4 ~ 12.439 2	10.268 2 ~ 10.471 8	1.063 7 ~ 1.189 7
GS38	15.156 7 ± 0.320 2	12.480 0 ± 0.075 5	9.373 3 ± 0.644 4	1.110 0 ± 0.026 5
	14.529 1 ~ 15.784 3	12.332 0 ~ 12.628 0	8.110 3 ~ 10.636 3	1.058 1 ~ 1.161 9
GS39	15.480 0 ± 0.040 0	12.380 0 ± 0.268 5	9.100 0 ± 0.500 3	1.120 0 ± 0.000 0
	15.401 6 ~ 15.558 4	11.853 7 ~ 12.906 3	8.119 4 ~ 10.080 6	1.120 0 ~ 1.120 0
GS40	15.406 7 ± 0.164 4	12.130 0 ± 0.103 9	10.026 7 ± 0.023 1	1.090 0 ± 0.017 3
	15.084 4 ~ 15.729 0	11.926 3 ~ 12.333 7	9.981 4 ~ 10.072 0	1.056 1 ~ 1.123 9

(续)

样品名称	甜味	苦味	鲜味	鲜味回味
GS41	12.670 0±0.000 0	11.640 0±0.000 0	10.100 0±0.000 0	0.960 0±0.000 0
	12.670 0~12.670 0	11.640 0~11.640 0	10.100 0~10.100 0	0.960 0~0.960 0
GS42	14.843 3±0.465 2	12.113 3±0.122 2	10.653 3±0.098 2	0.936 7±0.025 2
	13.931 5~15.755 1	11.873 8~12.352 8	10.460 9~10.845 7	0.887 4~0.986 0
GS43	14.850 0±0.481 4	12.120 0±0.239 0	10.286 7±0.020 8	0.936 7±0.035 1
	13.906 6~15.793 4	11.651 6~12.588 4	10.245 9~10.327 5	0.867 9~1.005 5
GS44	11.250 0±0.096 4	11.460 0±0.292 1	10.296 7±0.280 1	0.926 7±0.050 3
	11.061 0~11.439 0	10.887 6~12.032 4	9.747 8~10.845 6	0.828 1~1.025 3
GS45	14.530 0±0.175 2	11.923 3±0.100 2	10.133 3±0.144 7	0.946 7±0.025 2
	14.186 6~14.873 4	11.727 0~12.119 6	9.849 7~10.396 9	0.897 4~0.996 0

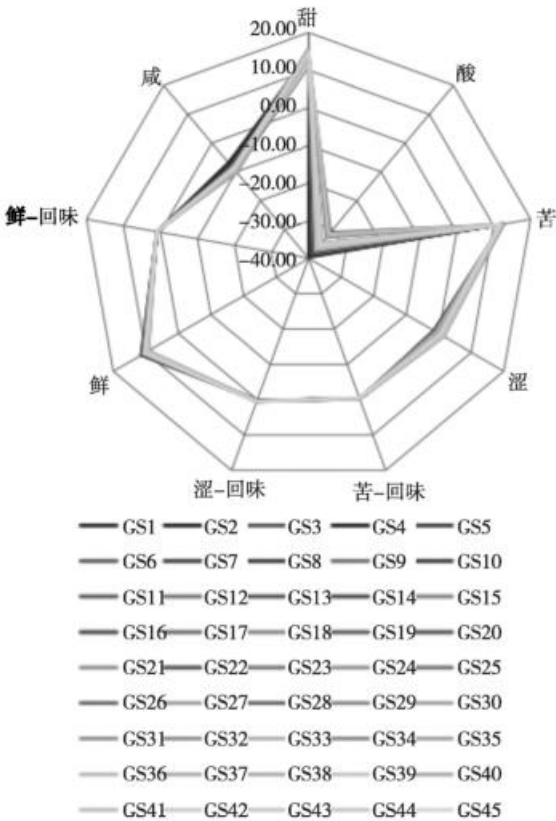


图5 不同产地当归的味觉信息雷达图

3.5 当归的滋味与主要化学成分的相关性研究

采用 SPSS 21.0 统计软件对当归的滋味与阿魏酸含量进行 Pearson 相关性分析。表 4 可知，不同产地当归的鲜味值与阿魏酸含量呈极显著正相关，表明鲜味值越高，阿魏酸含量越高，表明滋味可在一定程度上反映药材的有效成分含量。

表 4 当归滋味与阿魏酸含量相关性分析结果

	均值	标准差	R	P	n
阿魏酸含量	0.118 2	0.394 1			
鲜味值	10.266 4	0.536 6	0.508 **	0.000	45

注：**在 0.01 水平（双侧）显著相关

4 讨论

中药材传统性状评价以定性描述为主，缺乏定量检测的技术及方法，故本试验应用电子舌智能感官评定技术测定样品滋味，以期对滋味进行客观量化，并将滋味信息与有效成分含量进行相关性研究，发现滋味可在一定程度上反映药材或饮片中有有效成分含量高低，所呈现的规律性可用于快速鉴别药材或饮片的质量。本研究结果显示，不同产地当归中阿魏酸含量明显不同，其中甘肃西宁县当归最优，阿魏酸含量最高（0.29%），远远高于其他产地（95% 可信区间未重叠差别具有统计意义）阿魏酸含量与鲜味呈显著正相关（ $R=0.508$ ， $P=0.000$ ， $n=45$ ），说明当归的鲜味越重，阿魏酸的含量越高。

电子舌技术是一种智能识别味觉的电子系统，主要由交互敏感传感器阵列、信号采集电路和基于模式识别的数据处理方法组成的现代化智能感官定性定量分析检测仪器，能够利用具有独特选择性和广域选择性的人工双层脂质膜，直接输出样品液的酸味、甜味、苦味、涩味、鲜味、酸味、咸味、苦味回味、涩味回味、丰富度（鲜味回味）等味觉数值，根据响应值的高低量化味道，故将人类的味觉系统定性定量与量化，极大地提高了滋味鉴别的水平，具有客观性强、重复性好、检测响应快、标准化控制、对人健康危害小等优点^[6]，已被广泛应用于食品、调味品、中药及中成药等领域^[7-9]。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015:133-134.

[2] 张瑛, 王亚丽, 潘新波. 当归历史资源分布本草考证 [J]. 中药材, 2016,39(8):1908-1910.

[3] 廖保生, 宋经元, 谢彩香, 等. 道地药材产地溯源研究 [J]. 中国中药杂志, 2014,39(20):3881-3888.

- [4] 任伟光, 李文涛, 黄林芳. 当归颜色与其道地性分析 [J]. 中国医院药学杂志, 2015, 35(10): 890-894.
- [5] Kobayashi Y, Habara M, Ikezaki 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.
- [6] 饶智, 陈光宇, 何群, 等. 基于电子舌技术与人工口尝评价相结合的羌活胜湿汤矫味技术研究 [J]. 中药材, 2021(3): 660-665.
- [7] 黄嘉丽, 黄宝华, 卢宇靖, 等. 电子舌检测技术及其在食品领域的应用研究进展 [J]. 中国调味品, 2019, 44(5): 189-193, 196.
- [8] 余义勇, 何群, 陈光宇, 等. 基于电子舌电子鼻分析红糖风味的差异性 [J]. 中国食物与营养, 2021, 27(3): 33-38.
- [9] 修慧迪, 程磊, 王文全, 等. 基于仿生技术对不同产地茯苓品质的鉴别展望 [J]. 广州化工, 2021, 49(6): 14-17.

Correlation Between Ferulic Acid Content and Taste of *Angelica* from Different Origins Based on Biomimetic Technology

WU Yu^{1,2,3,4}, RAO Zhi^{1,2,3,4}, CHEN Yan-kun^{1,2,3,4}, CHEN Guang-yu^{1,2,3,4}, LI Jun-ming^{1,2,3,4},
HUANG Xiong-chao⁵, YU Tian⁵, YU Wei-zu⁵, XIE Meng-zhou^{1,2,3,4}, WANG Ya-min^{1,2,3,4}

(¹ Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China; ² Hunan Provincial Medicine & Food Homologous Functional Food Engineering and Technology Research Center, Changsha 410208, China; ³ Provincial Key Laboratory of TCM Diagnostics, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China; ⁴ The Key Laboratory of Cardiopulmonary Disease Syndrome Differentiation and Medicinal Diet Therapy in Chinese Medicine, Changsha 410208, China; ⁵ Liangpin Puzi Nutrition Food Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: **【Objective】** To compare the taste and ferulic acid content of *angelica* from 45 producing areas, and to explore the correlation between taste and ferulic acid content, so as to evaluate the quality of *angelica* from different producing areas. **【Method】** The electronic tongue technology was used to determine the 9 flavors of *Angelica sinensis* samples from 45 counties and cities in Gansu province. The content of ferulic acid was determined by HPLC. The 95% Confidence Interval Overlap Method was used for statistical analysis and comparison of taste and ferulic acid differences. The correlation between 9 flavors and ferulic acid content was studied to provide reference for the quality evaluation of *Angelica sinensis*. **【Result】** GS19 (Xining county) had the highest ferulic acid content (0.29%), GS37 (Xidang county) had the highest sweetness value, GS38 (Gaotai county) had the highest bitterness value, GS14 (Heshui county) had the highest umami value. The taste of *angelica* is related to its quality. Ferulic acid is significantly positively correlated with umami and aftertaste values ($R = 0.508$, $P = 0.000$, $n = 45$), and is related to bitterness, astringency, sweetness, salty, and bitter aftertaste. There is no significant correlation between the values. **【Conclusion】** The difference in the umami value and umami aftertaste value of *Angelica sinensis* from different origins reflects the level of ferulic acid content, so electronic tongue technology can be used to evaluate and quickly identify the quality of medicinal materials.

Keywords: *angelica*; electronic tongue; HPLC; ferulic acid; 95% Confidence Interval Overlap Method; Pearson Correlation Analysis