

基于蒸制处理的黄精麻味物质研究

Study on the numbing substance of *Polygonatum Rhizoma* based on steaming treatment

王家璇¹ 王 锋^{1,2} 李清明^{1,2} 李文佳^{1,2} 苏小军^{1,2}

WANG Jiaxuan¹ WANG Feng^{1,2} LI Qingming^{1,2} LI Wenjia^{1,2} SU Xiaojun^{1,2}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南省发酵食品工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2. Hunan Fermented Food Engineering Technology Research Center, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:目的:探索黄精产生麻味特征的物质基础。方法:采用“九蒸九制”的方法对8个产地的黄精进行炮制,并分析不同蒸制次数下黄精中皂苷、多酚、草酸钙针晶含量的变化;采用细胞溶血率试验以及感官评价方法评价黄精麻味程度的变化,并进行麻味相关性分析。结果:随着蒸制次数的增加,不同产地的黄精中多酚和皂苷含量均呈先升后降的趋势,而草酸钙针晶含量、细胞溶血率以及麻味评分均逐渐下降;相关性分析表明,草酸钙针晶含量与黄精麻感程度之间呈显著正相关($P < 0.05$)或者极显著正相关($P < 0.01$);扫描电镜结果显示,蒸制处理后草酸钙针晶结构逐步遭到破坏,与黄精麻味的变化规律相吻合。结论:草酸钙针晶是黄精具有麻味特征的关键物质。

关键词:黄精;麻味物质;皂苷;多酚;草酸钙针晶;蒸制处理

Abstract: Objective: To discover the material substances of the numbing characteristics in *Polygonatum Rhizoma*. Methods: *Polygonatum Rhizoma* from eight regions were processed by the "nine-steam-nine-bask" method, and its content changes of saponin, polyphenol and calcium oxalate crystal at different steaming times were determined. The degree change of numbing was determined by the cell hemolysis test and sensory properties, and a correlation analysis of numbing was conducted. Results: With the increase of steaming times, the contents of polyphenol and saponin in *Polygonatum Rhizoma* from different regions were initially increased and then decreased, while the content of calcium oxalate crystal and hemolysis rate and the sensory score

of numbing decreased gradually. The correlation analysis results indicated that there was a significant positive correlation ($P < 0.05$) or a highly significant positive correlation ($P < 0.01$) between the content of calcium oxalate crystal and the numbing degree. SEM results showed that the structure of calcium oxalate crystal was gradually destroyed after steaming, which coincided with the change of numbing. Conclusion: This research proves that calcium oxalate crystal may be the key substance for the numbing in *Polygonatum Rhizoma*, which can provide a scientific basis for the study of the numbing elimination technology of *Polygonatum Rhizoma*.

Keywords: *Polygonatum Rhizoma*; numbing substance; saponin; polyphenol; calcium oxalate crystal; steaming treatment

黄精(*Polygonatum Rhizoma*)又名老虎姜、鸡头参、黄鸡菜,为百合科黄精属植物,属于药食同源类中药材^[1]。但是,多数生黄精刺激性强,易使口舌麻木,需经炮制处理后才能食用,这在一定程度上制约了其在食品领域的加工利用。

麻味是人舌及口腔黏膜接触特定物质产生的一种独特味觉及触觉感知,也称之为麻口感或麻舌感^[2]。皂苷、多酚类物质以及草酸钙针晶都能使人体产生刺激性涩味感,且都可能是黄精中引起麻味的物质,但至今还没有一个明确的结论^[3]。目前对于麻味的评价指标仍以感官评价为主,但该方法在实际操作中容易受到品评人员的主观影响,可靠性较低。红细胞溶血试验是一种可以用来测定物质刺激性强弱的方法,其原理是利用刺激性物质通过破坏红细胞膜,使细胞膜渗透性发生改变,血红蛋白从红细胞中漏出,从而产生溶血现象^[4]。该方法具有机制明确、预测性和重现性较好等优点,已在地肤子皂苷、防风多糖、茶多酚以及洋甘菊的刺激性评价上得到了应

基金项目:湖南省重点研发计划项目(编号:2022SK2017)

作者简介:王家璇,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:苏小军(1975—),男,湖南农业大学教授,博士。

E-mail: sxj@hunau.edu.cn

收稿日期:2023-12-18 改回日期:2024-04-12

用研究^[5]。

蒸制处理是中药材的传统炮制方法,黄精经过蒸制处理后对人体的刺激性逐渐减弱^[6]。研究拟采用蒸制方法对 8 个不同产地的黄精进行处理,测定黄精蒸制过程中皂苷、多酚和草酸钙针晶含量的变化规律并采用红细胞溶血性试验和感官评价两种方法对麻味变化进行评价,旨在确定黄精中麻味相关主要物质,以期为麻味消减技术的研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料:新鲜黄精分别产自四川遂宁、贵州黔西南、江西宜春、云南楚雄、广西百色、湖南新化、安徽六安和湖北襄阳,分别编号为 SC-PR、GZ-PR、JX-PR、YN-PR、GX-PR、HN-PR、AH-PR 和 HB-PR;

氯化钠、甲醇、无水碳酸钠、冰醋酸、磷酸、盐酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

Folin 酚、香草醛:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;

薯蓣皂苷元:标准品,上海麦克林生化科技有限公司;

没食子酸、草酸:标准品,上海源叶生物科技有限公司;

无水乙醇:分析纯,天津恒兴化学试剂制造有限公司;

高氯酸:分析纯,天津政成化学制品有限公司;

脱纤兔血:广州鸿泉生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9240A 型,上海飞跃实验仪器有限公司;

热泵除湿干燥器:RST-100RB 型,上海湿腾电器有限公司;

低速离心机:LD5-2A 型,北京京立离心机有限公司;

可见分光光度计:V-5000 型,上海元析仪器有限公司;

高效液相色谱仪:Agilent 1260 infinity 型,安捷伦科技(中国)有限公司;

扫描电子显微镜:JSM-6380LV 型,日本电子株式会社。

1.3 试验方法

1.3.1 原料处理 参照 Yao 等^[7]的方法并稍作改动,取各产地新鲜黄精样品,清洗切片后置于蒸锅中蒸制 6 h,并于 55 ℃烘箱中干燥 10 h,即得“一蒸一制”熟黄精。如此反复操作,得到蒸制 1~9 次的熟黄精样品。采集新鲜黄精样品以及黄精第 1,3,5,7,9 个周期的加工样品,分别标记为 S0、S1、S3、S5、S7 和 S9。

1.3.2 黄精多酚含量测定

(1) 供试品溶液配制:精密称取各黄精粉样品

1.00 g,加入 20.00 mL 70% 乙醇溶液,60 ℃水浴提取 1.5 h,5 000 r/min 离心 15 min,重复进行 2 次,将上清液合并。所得上清液采用旋蒸仪浓缩至 25.00 mL。

(2) 多酚含量测定:参照崔丽霞^[8]的方法。以没食子酸为标准物质,吸光度为纵坐标(y),对照品含量为横坐标(x),得到标准曲线方程: $y = 12.867x + 0.0177$ ($R^2 = 0.9986$)用于计算多酚含量。

1.3.3 黄精皂苷含量测定

(1) 供试品溶液配制:取黄精生品及各炮制品粉末 2.00 g,加入 80% 乙醇 50.00 mL,150 W 超声提取 45 min,过滤,收集滤液,挥干试剂,加适量甲醇溶解,离心除去不溶物,定容至 25 mL,即得供试品溶液。

(2) 皂苷含量测定:采用香草醛—高氯酸比色法^[9]。以薯蓣皂苷元为标品,吸光度为纵坐标(y),对照品溶液含量为横坐标(x),得到标准曲线方程: $y = 0.3348x + 0.062$ ($R^2 = 0.9962$)用于计算皂苷含量。

1.3.4 黄精草酸钙针晶含量测定 参照王贺鹏等^[10]的方法。以草酸为标准物质,峰面积为纵坐标(y),对照品含量为横坐标(x),得到标准曲线方程: $y = 7791.9x - 229.78$ ($R^2 = 0.9992$)用于计算草酸钙含量。

1.3.5 黄精溶血活性测定 参照林雨等^[11]的方法并稍做修改。取 2.00 mg/mL 的各生、熟黄精甲醇提取物 2.50 mL,与等体积 2% 的红细胞悬液充分混合,立即置于 37 ℃恒温箱中温育 1 h,离心,取上清液,于 545 nm 处测定吸光度。以生理盐水为阴性对照,蒸馏水为阳性对照。按式(1)计算溶血率。

$$H = (A_s - A_{ne}) / (A_{pc} - A_{ne}), \quad (1)$$

式中:

H——溶血率,%;

A_s ——样品试验组吸光度;

A_{pc} ——阳性对照组吸光度;

A_{ne} ——阴性对照组吸光度。

1.3.6 黄精的麻味感官评价 参照张帆^[12]^[17]的方法。

1.3.7 草酸钙针晶形态观察 取 JX-PR 各蒸制阶段的样品,粉碎后过 80 目筛,干燥,喷金,于扫描电镜下观察。

1.3.8 数据处理与分析 采用 Excel 对数据进行处理,试验数据用 SPSS 22.0 软件进行统计处理和差异显著性分析,并采用 Origin 2021 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 蒸制过程中黄精多酚含量的变化

由表 1 可知,各产地新鲜黄精多酚含量存在较大差异,最高达 (10.40 ± 0.33) mg/g,最低仅为 (1.11 ± 0.08) mg/g。蒸制过程中,黄精多酚含量均呈先升高后降低的趋势,且总体高于未经蒸制处理的。不同产地黄精经过蒸制后多酚含量的变化幅度差异显著,增长幅度

表 1 黄精蒸制过程中多酚含量的变化[†]

Table 1 The content change of polyphenol during the steaming process of *Polygonatum Rhizoma*

	mg/g					
样品	S0	S1	S3	S5	S7	S9
SC-PR	1.11±0.08 ^f	3.60±0.01 ^e	8.16±0.06 ^d	13.27±0.12 ^a	12.30±0.09 ^b	9.64±0.17 ^c
GZ-PR	2.18±0.33 ^f	2.41±0.33 ^e	11.26±0.08 ^b	13.34±0.05 ^a	10.06±0.02 ^c	8.32±0.13 ^d
JX-PR	4.93±0.05 ^f	6.15±0.03 ^d	18.93±0.05 ^b	21.72±0.05 ^a	9.28±0.08 ^c	5.90±0.05 ^e
YN-PR	10.40±0.33 ^e	10.76±0.16 ^e	16.90±0.16 ^c	22.30±0.18 ^a	17.76±0.11 ^b	15.76±0.03 ^d
GX-PR	2.42±0.04 ^f	2.80±0.02 ^e	6.78±0.20 ^b	8.56±0.03 ^a	3.95±0.04 ^c	3.60±0.02 ^d
HN-PR	2.16±0.04 ^f	2.59±0.06 ^e	5.21±0.10 ^d	9.25±0.02 ^a	9.06±0.04 ^b	7.09±0.05 ^c
AH-PR	3.89±0.09 ^f	6.62±0.05 ^d	8.97±0.05 ^b	11.76±0.02 ^a	8.37±0.11 ^c	6.17±0.08 ^e
HB-PR	2.65±0.04 ^f	7.97±0.06 ^c	11.20±0.06 ^b	13.79±0.09 ^a	7.27±0.02 ^d	6.81±0.02 ^e

[†] 同行字母不同表示同一产地不同样品编号差异显著($P<0.05$)。

最大的为 SC-PR,多酚含量提高了 765.77%;变化幅度最小的为 YN-PR,仅提高了 51.54%。经过第 5 次蒸制后,所有产地黄精的多酚含量均达到最大值,相较于新鲜黄精其增长幅度最高可达 10 倍以上。黄精在蒸制过程中以(一)-丁香树脂酚-*O*- β -D-葡萄糖苷为代表的木质素类成分和以牡荆素-2''-*O*-木糖苷为代表的黄酮苷类成分发生降解,产生(一)-丁香树脂酚和牡荆素,而(一)-丁香树脂酚等酚类物质随着蒸制次数的增加又会继续降解,因此黄精多酚含量会呈先升高后降低的趋势^[13]。

2.2 蒸制过程中黄精皂苷含量的变化

由表 2 可知,各产地鲜黄精皂苷含量存在较大差异,最高达(7.49±0.11) g/100 g,而最低仅为(1.33±0.07) g/100 g。蒸制过程中,黄精皂苷含量均呈先升高后降低的趋势,且总体高于未经蒸制处理的。不同产地黄精经过蒸制后皂苷含量的变化幅度差异显著,增长幅度最大的为 JX-PR,皂苷含量提高了 715.05%;变化幅度最小的为 GZ-PR,仅提高了 27.25%。其中,YN-PR 和 SC-PR 在第 3 次蒸制时皂苷含量最高,分别为(22.71±

0.36) g/100 g和(23.49±0.38) g/100 g,相较于鲜黄精其增长幅度分别为 203.20%和 886.97%;其余产地的黄精在第 5 次蒸制时含量最高,为(16.35±0.23)~(20.45±0.24) g/100 g,增长幅度最高可达 10 倍以上。黄精在蒸制过程中会产生薯蓣皂苷元和延龄草苷等新的皂苷组分,因此其含量有所增加;但原薯蓣皂苷和薯蓣皂苷又会随着蒸制次数增加开始降解,因此在蒸制过程中皂苷含量会呈先升高后降低的趋势^{[12]47-49}。

2.3 蒸制过程中黄精草酸钙针晶含量的变化

由表 3 可知,各产地鲜黄精草酸钙针晶含量存在较大差异,其中最高为(1.01±0.02) g/100 g,而最低仅为(0.26±0.01) g/100 g。黄精中草酸钙针晶含量随着蒸制的次数的增加而逐渐降低,经过第 3 次蒸制后草酸钙针晶含量较新鲜黄精均显著降低,下降幅度最高达70.30%。林莹等^[14]研究表明,泰山黄精中草酸钙针晶含量随着蒸制次数的增加也逐渐减少,与试验结果相似。其原因可能是蒸制过程中,草酸钙针晶的结构因受热而遭到破坏形成可溶性草酸,从而使草酸钙针晶含量降低^[10]。

表 2 黄精蒸制过程中皂苷含量的变化[†]

Table 2 The content change of saponin during the steaming process of *Polygonatum Rhizoma*

	g/100 g					
样品	S0	S1	S3	S5	S7	S9
SC-PR	2.38±0.02 ^e	17.01±0.45 ^c	23.49±0.38 ^a	21.20±0.20 ^b	16.54±0.29 ^c	11.81±0.36 ^d
GZ-PR	3.78±0.05 ^f	7.82±0.17 ^c	11.37±0.26 ^b	12.86±0.21 ^a	5.27±0.14 ^d	4.81±0.10 ^e
JX-PR	1.86±0.09 ^f	3.59±0.07 ^c	13.00±0.14 ^d	18.30±0.05 ^a	16.40±0.14 ^b	15.16±0.43 ^c
YN-PR	7.49±0.11 ^e	7.96±0.13 ^c	22.71±0.36 ^a	21.41±0.41 ^b	19.84±0.14 ^c	13.45±0.29 ^d
GX-PR	1.33±0.07 ^f	2.08±0.03 ^e	14.10±0.14 ^b	20.21±0.41 ^a	10.36±0.02 ^c	9.01±0.05 ^d
HN-PR	6.82±0.03 ^f	7.53±0.25 ^c	14.28±0.17 ^c	18.81±0.14 ^a	14.77±0.33 ^b	9.72±0.16 ^d
AH-PR	5.85±0.11 ^e	6.71±0.06 ^d	12.58±0.34 ^b	16.35±0.23 ^a	12.53±0.06 ^b	9.45±0.29 ^c
HB-PR	1.75±0.06 ^f	5.23±0.14 ^c	10.07±0.12 ^c	19.66±0.11 ^a	14.98±0.11 ^b	7.79±0.23 ^d

[†] 同行字母不同表示同一产地不同样品编号差异显著($P<0.05$)。

表 3 黄精蒸制过程中草酸钙针晶含量的变化[†]

Table 3 The content change of calcium oxalate crystal during the steaming process of *Polygonatum Rhizoma*

	g/100 g					
样品	S0	S1	S3	S5	S7	S9
SC-PR	0.26±0.01 ^a	0.23±0.01 ^b	0.22±0.00 ^{bc}	0.19±0.01 ^d	0.20±0.00 ^{cd}	0.16±0.01 ^e
GZ-PR	0.70±0.03 ^a	0.60±0.03 ^b	0.30±0.01 ^c	0.28±0.00 ^c	0.07±0.00 ^e	0.19±0.00 ^d
JX-PR	1.01±0.02 ^a	0.63±0.02 ^b	0.30±0.00 ^c	0.19±0.01 ^d	0.16±0.01 ^e	0.14±0.00 ^e
YN-PR	0.46±0.05 ^a	0.37±0.01 ^b	0.28±0.03 ^c	0.16±0.04 ^d	0.16±0.00 ^d	0.07±0.00 ^e
GX-PR	0.30±0.01 ^b	0.32±0.00 ^a	0.14±0.00 ^c	0.14±0.01 ^c	0.13±0.00 ^d	0.15±0.00 ^c
HN-PR	0.28±0.01 ^a	0.23±0.02 ^b	0.21±0.01 ^c	0.18±0.01 ^d	0.10±0.00 ^e	0.11±0.01 ^e
AH-PR	0.64±0.01 ^a	0.51±0.02 ^b	0.49±0.02 ^b	0.38±0.00 ^c	0.36±0.01 ^c	0.04±0.01 ^d
HB-PR	0.46±0.02 ^a	0.42±0.03 ^a	0.24±0.04 ^b	0.12±0.01 ^c	0.13±0.00 ^c	0.06±0.00 ^d

[†] 同行字母不同表示同一产地不同样品编号差异显著($P<0.05$)。

2.4 蒸制过程中黄精甲醇提取物溶血活性的变化

由表 4 可知,各产地鲜黄精甲醇提取物的溶血率均低于 5%,蒸制过程中,各产地黄精甲醇提取物的溶血率均逐渐降低,与林雨等^[11]的研究结果相近。与鲜黄精相比,各产地黄精经过第 3 次蒸制后的甲醇提取物溶血率均显著降低,下降幅度最高达 71.19%,表明高温蒸制可以显著降低黄精的麻味程度。

2.5 蒸制过程中黄精麻味的感官评价

由表 5 可知,各产地黄精在蒸制过程中其麻味均不断减弱。黄精经过第 3 次蒸制后,麻味感官得分较鲜黄精均显著降低,下降幅度最高达 66.07%。而随着蒸制次数的增加,黄精的麻味感官得分继续下降,但下降幅度不大。结果表明高温蒸制能够有效消除黄精的麻舌感,且在第 3 次蒸制后黄精的麻舌感几乎消失。吴丰鹏^[15]在以

表 4 黄精蒸制过程中甲醇提取物溶血率的变化[†]

Table 4 The hemolysis rate of the methanol extract during the steaming process of *Polygonatum Rhizoma*

	%					
样品	S0	S1	S3	S5	S7	S9
SC-PR	1.67±0.08 ^a	1.22±0.08 ^b	0.80±0.04 ^c	0.57±0.04 ^d	0.72±0.04 ^c	0.31±0.08 ^e
GZ-PR	2.36±0.10 ^a	1.42±0.13 ^b	0.68±0.03 ^c	0.36±0.10 ^d	0.29±0.03 ^d	0.62±0.10 ^c
JX-PR	3.78±0.10 ^a	2.17±0.10 ^b	1.75±0.10 ^c	1.56±0.07 ^c	0.81±0.03 ^d	0.52±0.07 ^e
YN-PR	2.01±0.21 ^a	0.96±0.06 ^b	0.81±0.21 ^{bc}	0.72±0.24 ^{bcd}	0.60±0.06 ^{cd}	0.42±0.12 ^d
GX-PR	2.00±0.21 ^a	1.52±0.09 ^b	0.87±0.06 ^c	0.50±0.07 ^d	0.19±0.07 ^e	0.31±0.06 ^e
HN-PR	2.78±0.07 ^a	2.48±0.10 ^b	1.85±0.13 ^c	1.19±0.07 ^d	0.89±0.03 ^e	0.76±0.03 ^e
AH-PR	2.60±0.03 ^a	1.58±0.20 ^b	1.35±0.10 ^c	1.02±0.03 ^d	0.99±0.07 ^d	0.37±0.04 ^e
HB-PR	2.40±0.31 ^a	2.23±0.07 ^a	1.78±0.11 ^b	0.90±0.14 ^c	0.80±0.04 ^c	0.49±0.07 ^d

[†] 同行字母不同表示同一产地不同样品编号差异显著($P<0.05$)。

表 5 黄精蒸制过程中麻味评价得分的变化[†]

Table 5 The sensory score of numbing during the steaming process of *Polygonatum Rhizoma*

样品	S0	S1	S3	S5	S7	S9
SC-PR	5.00±0.82 ^a	3.70±0.67 ^b	2.60±0.67 ^c	1.90±0.57 ^{cd}	1.50±0.68 ^{de}	1.10±0.57 ^e
GZ-PR	5.60±1.02 ^a	3.40±0.92 ^b	1.90±0.70 ^{cd}	2.10±0.54 ^c	1.40±0.49 ^{cd}	1.20±0.40 ^d
JX-PR	5.30±1.10 ^a	3.40±0.92 ^b	2.30±0.90 ^c	1.70±0.46 ^{cd}	1.30±0.46 ^{cd}	1.40±0.49 ^d
YN-PR	4.60±0.92 ^a	2.90±0.94 ^b	2.40±0.49 ^b	1.50±0.50 ^c	1.20±0.40 ^c	0.80±0.40 ^c
GX-PR	4.80±0.98 ^a	3.00±0.77 ^b	2.40±0.66 ^b	1.50±0.50 ^c	1.30±0.46 ^c	1.00±0.45 ^c
HN-PR	5.10±1.04 ^a	2.90±0.94 ^b	2.00±0.45 ^c	2.00±0.77 ^c	1.40±0.49 ^{cd}	0.90±0.54 ^d
AH-PR	5.40±0.92 ^a	3.50±0.50 ^b	2.20±0.75 ^c	1.50±0.50 ^{cd}	1.90±0.83 ^{cd}	1.10±0.70 ^d
HB-PR	4.50±0.81 ^a	2.30±0.90 ^b	2.10±0.83 ^{bc}	1.50±0.67 ^{bcd}	1.40±0.49 ^{cd}	1.20±0.60 ^d

[†] 同行字母不同表示同一产地不同样品编号差异显著($P<0.05$)。

威海黄精为原材料的研究中也得到了相似的结论。

2.6 黄精主要成分与麻味的相关性分析

为了进一步确定引起黄精麻味的物质,将不同产地黄精蒸制过程中主要成分含量变化、黄精甲醇提取物溶血率和麻味感官评价得分的变化进行相关性分析,结果如表6~表13所示。可以看出,黄精的溶血率和麻味感官得分的变化呈正相关,两者结果显示出了很好的一致

表6 SC-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 6 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of SC-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.62	1.00 **			
草酸钙	-0.77	-0.38	1.00 **		
溶血率	-0.87 *	-0.56	0.97 **	1.00 **	
麻味得分	-0.91 *	-0.53	0.94 **	0.97 **	1.00 **

† *.相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

表7 GZ-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 7 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of GZ-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.83 *	1.00 **			
草酸钙	-0.81 *	-0.35	1.00 **		
溶血率	-0.88 *	-0.55	0.93 **	1.00 **	
麻味得分	-0.77	-0.39	0.93 **	0.96 **	1.00 **

† *.相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

表8 JX-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 8 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of JX-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.61	1.00 **			
草酸钙	-0.48	-0.94 **	1.00 **		
溶血率	-0.20	-0.83 **	0.95 **	1.00 **	
麻味得分	-0.42	-0.93 **	1.00 **	0.97 **	1.00 **

† *.相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

性,均可作为黄精麻味程度的评价方法。蒸制过程中,黄精中多酚和皂苷含量变化与麻味程度的变化不具有相关性或者呈负相关,而黄精中草酸钙针晶含量的变化与麻味程度呈显著正相关($P<0.05$)或者极显著正相关($P<0.01$),表明在蒸制过程中各产地黄精草酸钙针晶含量与麻味变化趋势相似。由此可知,草酸钙针晶含量对于黄

表9 YN-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 9 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of YN-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.89 *	1.00 **			
草酸钙	-0.74	-0.59	1.00 **		
溶血率	-0.64	-0.59	0.89 *	1.00 **	
麻味得分	-0.72	-0.60	0.98 **	0.96 **	1.00 **

† *.相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

表10 GX-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 10 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of GX-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.95 **	1.00 **			
草酸钙	-0.65	-0.83 *	1.00 **		
溶血率	-0.46	-0.71	0.92 **	1.00 **	
麻味得分	-0.45	-0.67	0.83 *	0.97 **	1.00 **

† *.相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

表11 HN-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 11 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of HN-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.83 *	1.00 **			
草酸钙	-0.81	-0.43	1.00 **		
溶血率	-0.92 **	-0.62	0.95 **	1.00 **	
麻味得分	-0.77	-0.55	0.90 *	0.90 *	1.00 **

† *.相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

表 12 AH-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 12 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of AH-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.95 **	1.00 **			
草酸钙	-0.17	-0.29	1.00 **		
溶血率	-0.50	-0.55	0.91 *	1.00 **	
麻味得分	-0.68	-0.74	0.81 *	0.97 **	1.00 **

[†] * .相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

表 13 HB-PR 蒸制过程中多酚、皂苷、草酸钙针晶含量与溶血率和麻味感官评分的相关性分析[†]

Table 13 Correlation analysis of the content of polyphenols, saponins, calcium oxalate crystal with hemolysis rate and sensory score of numbing during the steaming process of HB-PR

指标	多酚	皂苷	草酸钙	溶血率	麻味得分
多酚	1.00 **				
皂苷	0.79	1.00 **			
草酸钙	-0.48	-0.72	1.00 **		
溶血率	-0.36	-0.68	0.98 **	1.00 **	
麻味得分	-0.63	-0.70	0.86 *	0.83 *	1.00 **

[†] * .相关性显著($P<0.05$); ** .相关性极显著($P<0.01$)。

精的麻味程度影响很大,是引起黄精麻味的主要物质之一。研究^[16]表明,草酸钙针晶是引起半夏等天南星科药用植物麻舌感的物质。但是,草酸钙针晶的刺激性还与针晶的晶形、质地以及针晶上所附的蛋白酶类物质等因素相关^[17]。因此,黄精中草酸钙针晶的致麻机制还有待于进一步研究。

2.7 蒸制过程中黄精草酸钙针晶形态变化

以代表性材料 JX-PR 为研究对象,在扫描电镜下观察草酸钙针晶形态变化,如图 1 所示,S0 针晶细长,其末端一头或两头尖锐,晶体表面光滑;S1 针晶部分针尖开始断裂,针晶结构遭到破坏;S3~S5 晶体逐渐断裂成柱状;S7~S9 晶体结构破坏加剧,断裂成细小柱状形态。JX-PR 经 3 次蒸制后草酸钙针晶结构遭到了明显破坏,这与其麻味变化规律相吻合。山药、麦冬、茜草等植物中也含有草酸钙针晶,但由于其多为短粒和钝状,因而不产生刺激性^[18]。由此推断,草酸钙针晶具有致麻作用,且与其结构密切相关。

3 结论

不同产地黄精中均存在麻味物质。草酸钙针晶含量

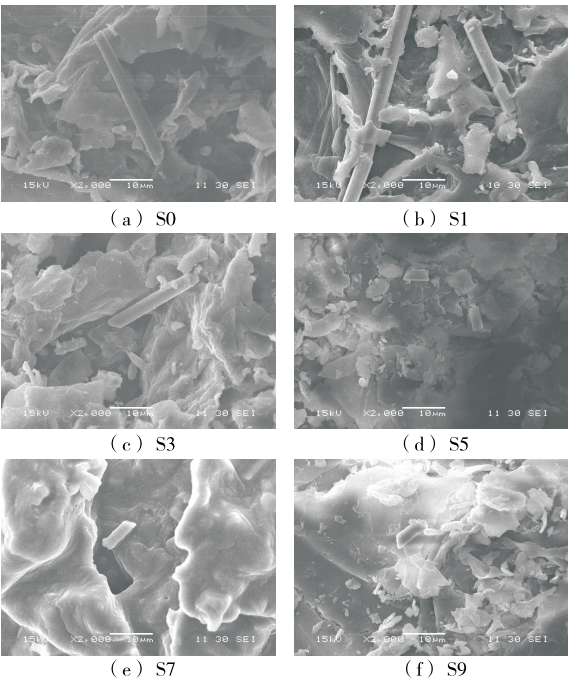


图 1 扫描电镜下 JX-PR 蒸制过程中草酸钙针晶形态变化

Figure 1 The morphological changes of calcium oxalate crystal during during the steaming process of JX-PR under the scanning electron microscope (2 000×)

和黄精麻味程度均随着蒸制次数的增加而逐渐降低且两者的变化呈正相关,同时,草酸钙针晶的结构也逐步遭到破坏,从针晶尖端逐渐断裂,直到裂解成较小柱状形态。蒸制 3 次后,8 个产地黄精草酸钙针晶含量、溶血率大小和麻味感官评分均显著降低,此时草酸钙针晶也由细长的针晶状断裂成了柱状形态,说明经过 3 次蒸制即可有效降低黄精的麻味。因此,可以判定草酸钙针晶为黄精中的麻味相关物质。但是,黄精的成分复杂,引起麻味的物质有可能并不是单一的物质,而可能是多种成分或者特殊的晶体结构综合作用的结果。因此,黄精中是否存在其他引起麻味的物质还有待进一步研究。

参考文献

[1] WANG Y J, LIU N, XUE X, et al. Purification, structural characterization and in vivo immunoregulatory activity of a novel polysaccharide from *Polygonatum sibiricum* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 160(1): 688-694.

[2] 黄永亮, 何晓燕, 吴纯洁. 毒性中药半夏麻舌特性评价的研究现状与展望[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2014, 16(2): 438-441.

HUANG Y L, HE X Y, WU C J. Research status and prospects of evaluation on characteristic of "numbness of tongue" for poisonous

- praditional Chinese medicine Rhizome Pinellia[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology, 2014, 16(2): 438-441.
- [3] 唐美玲. 生黄精的刺激性成分及其炮制减毒增效作用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023: 18.
- TANG M L. Study on the irritant components of raw *Polygonati Rhizoma* and its detoxification and synergistic effect of processed *Polygonati Rhizoma*[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2023: 18.
- [4] HAYASHI T, ITAGAKI H, FUKUDA T, et al. Multivariate factorial analysis of data obtained in seven in vitro test systems for predicting eye irritancy [J]. Toxicology in Vitro, 1994, 8(2): 215-220.
- [5] 李杨, 董银卯, 孟宏, 等. 7 种中草药提取物抗过敏功效及刺激性研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(4): 191-194.
- LI Y, DONG Y M, MENG H, et al. Experimental study on anti-allergic effect of extracts from seven kinds of chinese herbal medicine[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional, 2013, 19(4): 191-194.
- [6] LUO L, QIU Y X, GONG L M, et al. A review of *Polygonatum* Mill. genus: Its taxonomy, chemical constituents, and pharmacological effect due to processing changes [J]. Molecules, 2022, 27(15): 4 821.
- [7] YAO X J, DENG Z Y, LI H Y, et al. Effect of processing cycles on the composition of *Polygonatum cyrtoneura* Hua during nine-steam-nine-bask processing[J]. Food Bioscience, 2022, 50: 102081.
- [8] 崔丽霞. 紫苏花色苷提取纯化及其微胶囊化研究[D]. 太原: 中北大学, 2018: 22.
- CUI L X. Extraction, purification and microencapsulation of perilla anthocyanins[D]. Taiyuan: North University of China, 2018: 22.
- [9] 郭丽丽, 李小兰, 田小丽, 等. 黄芪茎叶总皂苷的响应面提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(4): 158-167.
- GUO L L, LI X L, TIAN X L, et al. Optimization of extraction technology of total saponins from stems and leaves of *Astragalus membranaceus* by response surface methodology and their antioxidant activity[J]. China Food Additives, 2023, 34(4): 158-167.
- [10] 王贺鹏, 郁红礼, 吴皓, 等. 炮制对天南星毒性成分草酸钙针晶及凝集素蛋白含量的影响[J]. 南京中医药大学学报, 2022, 38(5): 375-381.
- WANG H P, YU H L, WU H, et al. Effect of arisaematis rhizoma processed on the contents of lectin protein and calcium oxalate crystal as toxic components[J]. Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2022, 38(5): 375-381.
- [11] 林雨, 余亮, 魏馨瑶, 等. 黄精炮制前后的化学成分变化及其减毒增效研究[J]. 中药材, 2021, 44(6): 1 355-1 361.
- LIN Y, SHE L, WEI X Y, et al. Study on chemical constituents, detoxification and synergism of *Polygonati Rhizoma* before and after processing[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2021, 44(6): 1 355-1 361.
- [12] 张帆. 九蒸九制过程中黄精感官品质形成规律及主要活性物质变化研究[D]. 南宁: 广西大学, 2022.
- ZHANG F. Study on the formation regularity of sensory quality and changes of main active substances of *Polygonatum* during nine-steam-nine-bask processing preparation [D]. Nanning: Guangxi University, 2022.
- [13] 梁泽华, 潘颖洁, 邱丽媛, 等. 基于 UPLC-Q-TOF-MS/MS 分析黄精九蒸九晒炮制过程中化学成分的变化[J]. 中草药, 2022, 53(16): 4 948-4 957.
- LIANG Z H, PAN Y J, QIU L Y, et al. Analysis on chemical components changes of *Polygonati Rhizoma* in processing of nine times steaming and nine times sunning by UPLC-Q-TOF-MS/MS [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2022, 53(16): 4 948-4 957.
- [14] 林莹, 刘敬军, 徐凌川. 泰山黄精炮制前后草酸钙针晶形态及含量变化研究[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(4): 892-894.
- LIN Y, LIU J J, XU L C. Study on the changes of morphology and content of calcium oxalate crystal before and after processing Mount Tai *Polygonatum sibiricum* Red[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica, 2023, 34(4): 892-894.
- [15] 吴丰鹏. 九蒸九制对威海黄精有效成分的影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022: 17.
- WU F P. Study on the effect of nine-steam-nine-bask on the effective ingredient of *Polygonatum sibiricum* from Weihai [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022: 17.
- [16] 钟凌云, 吴皓. 天南星科植物中黏膜刺激性成分的研究现状与分析[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(18): 1 561-1 563.
- ZHONG L Y, WU H. Current researching situation of mucosal irritant components in Araceae family plants[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2006, 31(18): 1 561-1 563.
- [17] 郁红礼, 吴皓, 张兴德, 等. 半夏及其毒针晶刺激性毒性的稳定性研究[J]. 中药材, 2010, 33(6): 903-907.
- YU H L, WU H, ZHANG X D, et al. Irritant stability of raphides and tubers from *pinellia ternate*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2010, 33(6): 903-907.
- [18] 钟凌云. 半夏刺激性毒性成分、炮制减毒机理及工艺研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2007: 112.
- ZHONG L Y. Studies on irritant component of *Pineilliae tuber* and the attenuation mechanism and technology of processing [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2007: 112.