

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201509008

刘艳, 司民真, 李家旺, 等. 姜科植物的 FTIR 鉴别分类研究 [J]. 广西植物, 2016, 36(10):1253-1258

LIU Y, SI MZ, LI JW, et al. Discrimination of Zingiberaceae using FTIR spectroscopy [J]. Guihaia, 2016, 36(10):1253-1258

姜科植物的 FTIR 鉴别分类研究

刘艳¹, 司民真^{2,3,*}, 李家旺^{2,3}, 李伦^{2,3}, 张德清^{2,3}

(1. 云南师范大学物理与电子信息学院, 昆明 650500; 2. 楚雄师范学院 云南省高校分子光谱重点实验室, 云南 楚雄 675000; 3. 楚雄师范学院 光谱应用技术研究所, 云南 楚雄 675000)

摘要: 红外光谱图峰形峰位大体一致, 所含化学成分基本相同, 是由碳水化合物、蛋白质、脂类等生物大分子振动谱带构成。该研究采用傅里叶变换红外光谱技术结合聚类分析, 对姜科植物姜亚科 2 族 6 属 29 种植物进行光谱测试, 分析比较姜科同族不同属和同属不同种植物在红外谱图上表现出的差异。将 1 800~1 000 cm^{-1} 进行二阶导数处理, 并对差异较大的 1 750~1 400、1 200~1 000 cm^{-1} 两个波段分别进行比较分析, 用吸光度比值 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 来反映二苯基庚烷和姜辣素的相对含量, 再将二阶导数数据进行系统聚类。结果表明: 姜科植物的主要化学成分姜辣素与二苯基庚烷类化合物的相对含量在族属间和属种间有差异, 两种化合物的相对含量在同族不同属植物中差别很大, 在同属不同种植物中大体一致; 姜科植物的糖类化学成分以单糖和多糖为主; 在族属级的水平分类中, 2 族 6 属姜科植物的分类与传统分类结果基本吻合, 并从光谱角度建议心叶凹唇姜的族级分类应该深入研究。通过研究可知, 傅里叶变换红外光谱技术结合聚类分析法可以应用于姜科植物的分类。该研究结果为姜科植物的分类系统学提供了参考。

关键词: 傅里叶变换红外光谱, 聚类分析, 姜科植物, 鉴别分类, 族属

中图分类号: Q944.0657.37 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)10-1253-07

Discrimination of Zingiberaceae using FTIR spectroscopy

LIU Yan¹, SI Min-Zhen^{2,3,*}, LI Jia-Wang^{2,3}, LI Lun^{2,3}, ZHANG De-Qing^{2,3}

(1. School of Physics and Electronic Information, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 2. Yunnan Key Laboratory of universities for Molecular Spectrum, Chuxiong 675000, Yunnna, China; 3. Institute of spectral applied technology, Chuxiong Normal University, Chuxiong 675000, Yunnna, China)

Abstract: We measured ginger Zingiberaceae subfamily six species of two genera and 29 species of plants spectrum measurement with Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and analysed and compared different genera of Zingiberaceae and different species of the same genus in the infrared spectrum picture. The combined with clustering analysis of. Infrared spectrum chart peak positions were basically the same, and the chemical composition were roughly the same. They were composed of carbohydrate, protein, lipid and other biological molecular vibration spectrum band. From 1 800 to 1 000 cm^{-1} for second derivative conduction, the difference were mainly concentrated in 1 750-1 400, 1 200-1 000 cm^{-1} region, the second derivative could increase the difference of spectral peaks, and improve the resolution of the spectrum. The 1 800-1 000 cm^{-1} the second derivative processing, and the differences of the 1 750-1 400, 1 200-1 000 cm^{-1} were compared. The absorbance ratios A_{1516}/A_{3424} and A_{1449}/A_{3424} were used to reflect the relative content of gingerols and diarylheptanoids, and then the data were analyzed and clustered. The results showed that relative contents

收稿日期: 2015-12-15 修回日期: 2016-02-16

基金项目: 国家自然科学基金(13064001, 10864001) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(13064001, 10864001)].

作者简介: 刘艳(1990-), 女, 云南人, 在读硕士, 主要从事生物光谱学方面研究, (E-mail) 340596704@qq.com。

*通讯作者: 司民真, 博士, 教授, 主要从事拉曼光谱和红外光谱研究, (E-mail) siminzen@hotmail.com。

of the main chemical constituents of the plant of gingerols and diarylheptanoids compounds in family and species were quite different; the relative contents were significantly different in different gera of the same group, but were similar in different species of the same genus plants. The chemical composition of the sugars in the plant of the ginger family were composed of many types of compounds, but mainly monosaccharides and polysaccharides. At the level of the family, the classification of six families and two genera of the family was in agreement with the results of the traditional classification, and from the point of view of the spectrum. It is suggested that the group level classification of *B. longiflora* should take the time, energy, and more information and further research in many aspects. It can be known that the Fourier transform infrared spectroscopy combined with clustering analysis method can be applied to the classification of Zingiberaceae. This study provides an academic value and a meaningful reference for the classification of ginger family.

Key words: Fourier transform infrared spectroscopy, system cluster, Zingiberaceae, discrimination, clan

姜科 (Zingiberaceae) 是单子叶植物姜目的一科。本科分为 2 亚科 3 族, 约 49 属 1 500 种, 主产地为热带亚洲。在我国有 19 属 150 余种, 主产地为南方各地。本科植物有很多著名的药材, 如姜花、草豆蔻、姜、郁金、莪术等, 为化痰、止痛、驱风、健胃等的良药, 丰盛佳肴的调料, 美丽景观的观赏植物。如姜花的清香洁白, 花期长, 可供观赏; 姜的根茎肥厚, 有芳香及辛辣味, 可作烹饪调料; 山姜的果实、种子含有丰富的黄酮类化合物及挥发油, 为芳香健胃、消化不良、腹痛、呕吐等的良药。此外囊荷花芽可作蔬菜, 姜黄可提取应用于食品工业的黄色染料。姜科植物各有所长, 刀红英等 (2014) 根据临床经验, 将傣医药学常用的姜科植物基源作了梳理, 将常用药用姜科分为根茎和果实两大类; 漏新芬等 (1994) 用薄层色谱对 14 种姜科药材进行化合物分类分析, 发现豆蔻属植物彼此间较相似, 山姜属植物彼此间有差别; 李维秀等 (2008) 研究了姜科 3 属植物的染色体数目, 发现姜属植物染色体数目一致, 而其余属间植物有差异; 唐源江等 (2010) 对姜科 14 属植物的根进行解剖结构分析, 结果支持了原姜科 4 族划分为 2 亚科的结论, 但对姜亚科的族属分类存在分歧。查阅近年来发表的系统学研究论文来看, 主要的工作多集中在某一方面特性的分类系统学分析, 大多是族属及下一级水平的研究 (Liao et al, 2000)。因此总体研究的特点有点分散, 缺乏系统性和总结性的结果。Kress et al (2002) 用基因组 ITS 序列和线粒体 matK 序列将姜科分为 4 亚科 6 族, 这一结果与已有的分类系统完全不一致, 因此所有姜科的分类系统与自然分类的吻合度还需要大量的证据以及时间的检验, 从多方面补充相关资料来对姜科植物进行分类相当重要。

傅里叶变换红外光谱技术具有重复性好, 预处

理简单, 测试速度快, 样品需求量少, 在植物分类中, 已有学者利用该技术对杜鹃花科 (罗庇荣等, 2009)、金丝桃属 (吕洪飞等, 2004)、竹亚科 (李伦等, 2013)、棕榈科 (张黎等, 2013) 等植物进行成功分类。但红外技术应用于姜科植物的族属分类还尚未见报道。本研究将利用 FTIR 结合聚类分析方法对姜科 1 族 6 属 29 种植物进行分类研究, 以期姜科植物的分类系统学提供参考。

1 实验部分

1.1 实验仪器

红外光谱仪为 Thermo Scientific Nicolet™ iS™ 5 spectrometer 傅里叶变换红外光谱仪, 扫描范围 400~4 000 cm^{-1} , 分辨率 4 cm^{-1} , 扫描次数 16 次。

1.2 样品来源、制备、检测及数据处理

本研究材料均采自于西双版纳。取同一时期 29 种药材的根来进行测试。样品清洗后晾干, 经粉碎后过 100 目筛, 取适量进行研磨成粉末, 用电子天平称取 1 mg 的粉末样品和 100 mg 的溴化钾, 按 1:100 的比例混合后搅磨均匀, 压片测红外光谱。同一种植物测 3 个光谱, 用来计算平均光谱。光谱均扣除溴化钾背景, 光谱数据用 Omnic 8.0 软件进行二阶导数处理, 应用 IBM Spass Statistics 20 进行系统聚类。

2 结果与分析

2.1 姜科同族不同属植物的红外光谱分析

图 1 是从姜科姜亚科 2 族 6 属植物中分别选取的 6 种代表性植物 (姜花族: A. 顶花莪术; B. 心叶凹唇姜; C. 普洱姜花; 姜族: a. 宽唇山姜; b. 野草果; c. 红球姜) 的同族不同属红外光谱图比较。光

表 1 姜科植物的样品名称及族属关系

Table 1 Sample table and family relationship of Zingiberaceae

编号 No.	名称 Name	拉丁名 Latin name	类属 Clan
1	红豆蔻	<i>Alpinia galanga</i>	姜族山姜属 <i>Zingiberaceae-alpinia</i>
2	云南草蔻	<i>A. blepharocalyx</i>	
3	长柄山姜	<i>A. kwangsiensis</i>	
4	草豆蔻	<i>A. hainanensis</i>	
5	花叶山姜	<i>A. pumila</i>	
6	黑果山姜	<i>A. nigra</i>	
7	节鞭山姜	<i>A. conchigera</i>	
8	美山姜	<i>A. formosana</i>	
9	宽唇山姜	<i>A. platytilus</i>	
10	弯管姜	<i>Zingiber recurvatum</i>	姜族姜属 <i>Zingiberaceae-zingiber</i>
11	勐海姜	<i>Z. menghaiense</i>	
12	版纳姜	<i>Z. xishuangbannaense</i>	
13	柱根姜	<i>Z. teres</i>	
14	红球姜	<i>Z. zerumbet</i>	
15	紫色姜	<i>Z. purpureum</i>	
16	黄斑姜	<i>Z. flavomaculosum</i>	
17	圆瓣姜	<i>Z. orbiculatum</i>	
18	白姜花	<i>Hedychium chrysoleucum</i>	姜花族姜花属 <i>Hedychieae-hedychium</i>
19	普洱姜花	<i>H. puerense</i>	
20	红姜花	<i>H. coccineum</i>	
21	滇姜花	<i>H. yunnanense</i>	
22	肉红姜花	<i>H. neocarneum</i>	
23	小毛姜花	<i>H. villosum</i> var. <i>tenuiflorum</i>	
24	郁金	<i>Curcuma aromatica</i>	姜花族姜黄属 <i>Hedychieae-curcuma</i>
25	印尼莪术	<i>C. xanthorrhiza</i>	
26	温郁金	<i>C. wenyujin</i>	
27	顶花莪术	<i>C. yunnanensis</i>	
28	野草果	<i>Amomum koenigii</i>	姜族豆蔻属 <i>Zingiberaceae-amomum</i>
29	心叶凹唇姜	<i>Boesenbergia longiflora</i>	姜花族凹唇姜属 <i>Hedychieae-boesenbergia</i>

谱各谱峰的归属如下:(1) 3 400 cm^{-1} 附近的吸收峰来自于羟基和氨基的吸收叠加;(2) 2 927 cm^{-1} 附近的吸收峰亚甲基不对称伸缩振动;(3) 1 633 cm^{-1} 附近的吸收峰尖而强,归属为蛋白质的酰胺 I 带;(4) 1 516 cm^{-1} 附近的峰归为木质素中苯环的骨架振动(杜甫佑等, 2005);(5) 1 425~1 300 cm^{-1} 波段的吸收峰为 C-H 键的伸缩振动;(6) 1 300~1 200 cm^{-1} 范围的峰归属为蛋白质中的 C-N 和酚类中 C-O 伸缩

振动峰的叠加;(7) 1 200~1 000 cm^{-1} 范围主要归属为糖类和皂苷类物质的贡献;900~700 cm^{-1} 范围包含 C-O、C-N、C-C 的伸缩(弯曲)振动吸收峰(赵帅群等, 2014)。以上分析的红外光谱图是碳水化合物、蛋白质、脂类等生物大分子的综合反映。

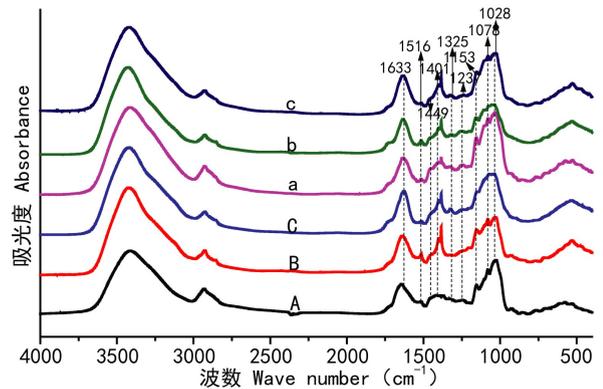


图 1 姜科各属代表植物的红外光谱图 A. 顶花莪术; B. 心叶凹唇姜; C. 普洱姜花. a. 宽唇山姜; b. 野草果; c. 红球姜. 下同。

Fig. 1 FTIR spectra of Zingiberaceae representative species A. *Curcuma yunnanensis*; B. *Boesenbergia longiflora*; C. *Hedychium puerense*. a. *Alpinia platytilus*; b. *Amomum koenigii*; c. *Zingiber zerumbet*. The same below.

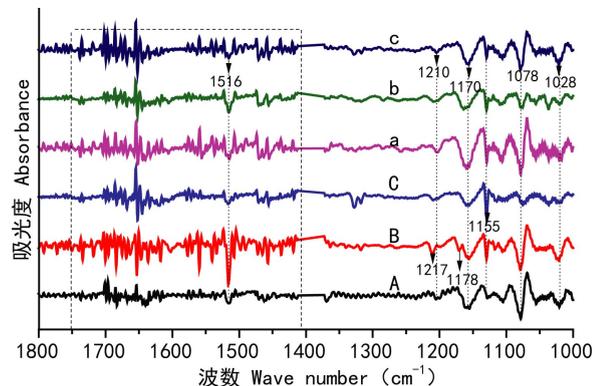


图 2 姜科各属代表植物的二阶导数红外光谱图
Fig. 2 The second derivative spectra of Zingiberaceae representative species

图 1 中,分别对比两族植物姜花族(A、B、C)和姜族(a、b、c),发现图谱峰形峰位基本一致,但 1 800~1 000 cm^{-1} 存在着差异,主要表现在(1)姜花族:顶花莪术 1 401 cm^{-1} 吸收峰表现为弱峰,而心叶凹唇姜、普洱姜花表现为中强峰;普洱姜花 1 325 cm^{-1} 为一尖峰,而顶花莪术、心叶凹唇姜的 1 325 cm^{-1}

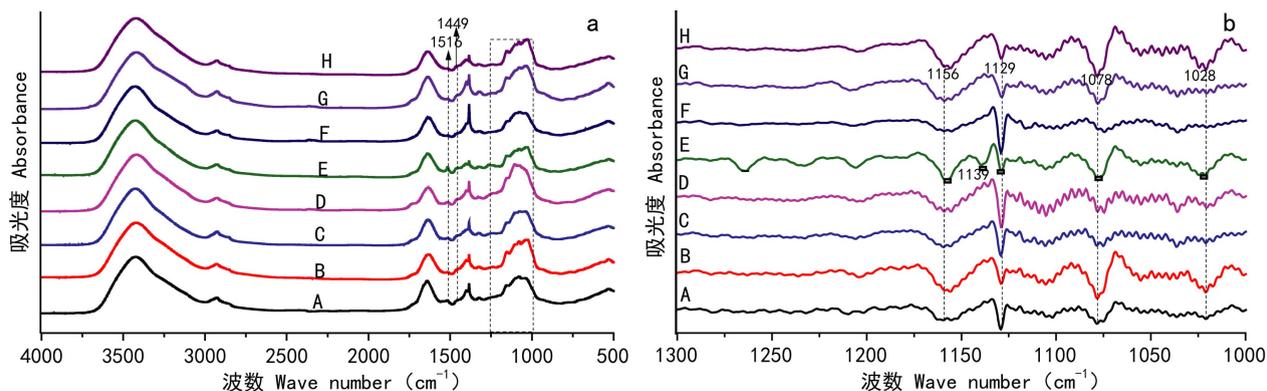


图3 姜属不同种植物的红外光谱图(a)和姜属不同种植物的二阶导数红外光谱图(b) A. 版纳姜; B. 红球姜; C. 黄斑姜; D. 勐海姜; E. 弯管姜; F. 圆瓣姜; G. 柱根姜; H. 紫色姜。

Fig. 3 FTIR spectra of *Zingiber* different kinds (a) and second derivative spectra of *Zingiber* different kinds (b) A. *Zingiber xishuangbannaense*; B. *Z. zerumbet*; C. *Z. flavomaculosum*; D. *Z. menghaiense*; E. *Z. recurvatum*; F. *Z. orbiculatum*; G. *Z. teres*; H. *Z. purpureum*.

峰太微弱以至于不呈现;在 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 波段中,顶花莪术呈现出 $1\ 153$ 、 $1\ 078$ 、 $1\ 028\text{ cm}^{-1}$ 阶梯峰,而其余两种植物的这三个峰明显异于顶花莪术,这可能是各植物所含的糖类化合物多少和类型不同而造成的。(2)姜族:姜族中三种代表植物的最大差异表现在糖类吸收区域 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$,三者均出现阶梯峰,但宽唇山姜的 $1\ 153$ 、 $1\ 078$ 、 $1\ 028\text{ cm}^{-1}$ 峰比其余两者尖而强;红球姜的 $1\ 078\text{ cm}^{-1}$ 左边有一小肩峰,其余两者没有;野草果 $1\ 078$ 、 $1\ 028\text{ cm}^{-1}$ 出现蓝移,为 $1\ 102$ 、 $1\ 137\text{ cm}^{-1}$ 。

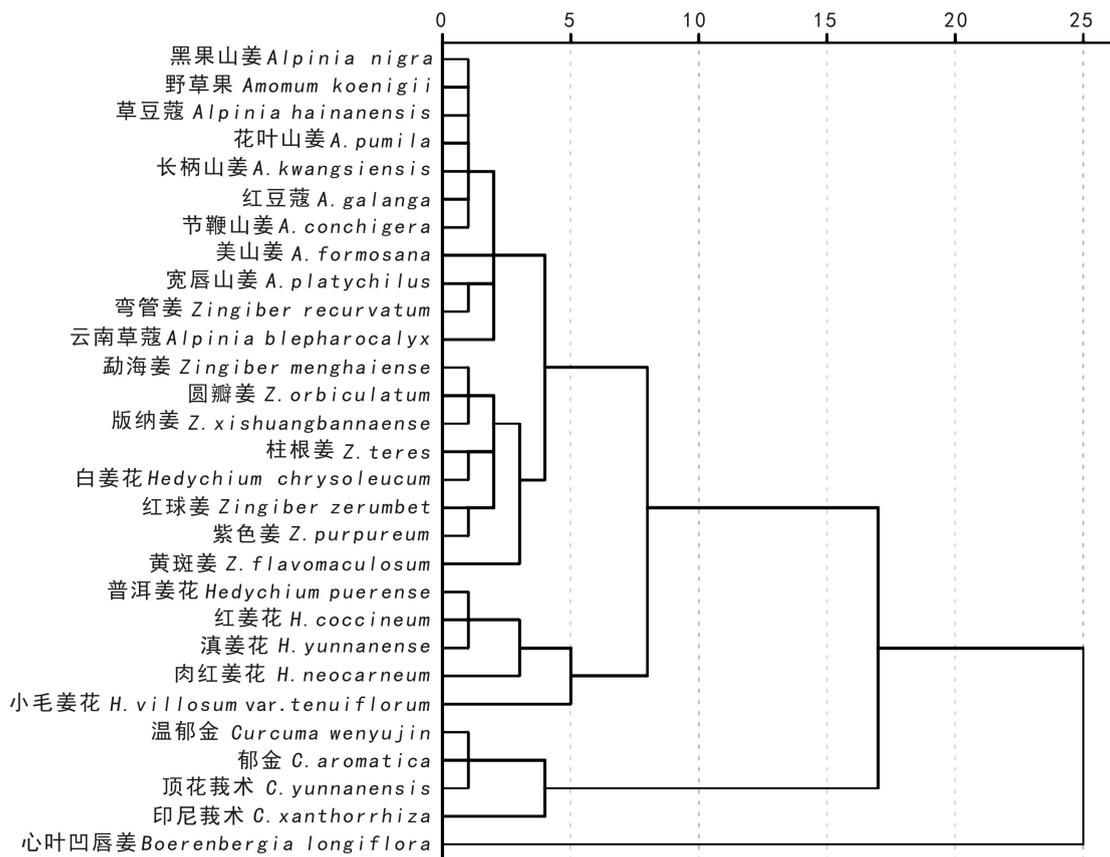
$1\ 516\text{ cm}^{-1}$ 与 $1\ 449\text{ cm}^{-1}$ 是苯环骨架振动,为姜辣素与二苯基庚烷的特征峰(有3-甲氧基-4-羟基苯基官能团)(周立新,2004),姜辣素为姜科植物的辣味成分,二苯基庚烷是抗炎镇痛、抗氧化、抗肿瘤等药效主成分,两者在姜科植物中分布较为广泛。用吸光度比值法 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 来定义植物中所含姜辣素与二苯基庚烷的含量多少(李伦等,2013)。姜花族:顶花莪术 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 为 0.02 、 0.06 ;心叶凹唇姜为 0.07 、 0.1 ;普洱姜花为 0.03 、 0.1 。姜族:宽唇山姜为 0.03 、 0.04 ;野草果为 0.05 、 0.1 ;红球姜为 0.02 、 0.08 。由以上比较可知,两族 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 的比值相差较大,姜花族中心叶凹唇姜的比值最大,姜族中野草果的比值最大。比值的差异说明姜科同族不同属植物中所含的姜辣素与二苯基庚烷的相对含量不一样。

二阶导数能增大样品间谱峰的差异,提高谱图分辨率。将6种姜科植物 $1\ 800\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 范围的光谱数据进行二阶导处理,从整体来查找图谱差异,见图

2。从图2可以看出,姜科2族6属植物差异主要在 $1\ 750\sim 1\ 400$ 、 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 范围内。两族植物中 $1\ 516\text{ cm}^{-1}$ 峰强明显不同,其中最强的是心叶凹唇姜。在 $1\ 210$ 、 $1\ 170$ 、 $1\ 155$ 、 $1\ 078$ 、 $1\ 028\text{ cm}^{-1}$ 附近峰强的比较中,宽唇山姜相对较强;此外,心叶凹唇姜的 $1\ 210\text{ cm}^{-1}$ 峰移了7个波数,且多出 $1\ 178\text{ cm}^{-1}$ 峰。

2.2 姜科同属不同种植物的红外光谱分析

图3是8种姜属植物的红外光谱图。从图3可以看出,同属植物中红外谱图峰位、峰形大体相似。图3:a中 $1\ 516$ 、 $1\ 449\text{ cm}^{-1}$ 峰强有差异, $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ (虚线框出的区域)峰形差异很大。比较8种植物的吸光度比值 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 。版纳姜 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 为 0.025 、 0.012 ;红球姜为 0.026 、 0.107 ;黄斑姜为 0.027 、 0.008 ;勐海姜为 0.036 、 0.01 ;弯管姜为 0.029 、 0.017 ;圆瓣姜为 0.023 、 0.076 ;柱根姜为 0.02 、 0.126 ;紫色姜为 0.031 、 0.106 。通过比较可得知,8种同属植物 A_{1516}/A_{3424} 的比值近似为 0.027 ,相差不大; A_{1449}/A_{3424} 的比值相差较大,版纳姜、黄斑姜、勐海姜、弯管姜(0.01 左右)小于红球姜、圆瓣姜、柱根姜、紫色姜(0.1 左右)。以上结果说明8种同属植物所含姜辣素与二苯基庚烷的含量大体一致,但两种化合物各自所占的比重有差异。将 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 此区域进行二阶导处理,如图3:b。从图3:b可看出,糖类特征区域峰形峰强差异明显,如 $1\ 156$ 、 $1\ 129$ 、 $1\ 078$ 、 $1\ 028\text{ cm}^{-1}$ 。弯管姜在 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 区域被分为5个峰,而版纳姜、红球姜、勐海姜、紫色姜分为4个峰,黄斑姜、圆瓣姜、柱根姜被分为3个峰,出现多峰缺峰现象。将糖类

图 4 姜科植物二阶导数光谱在 $1\ 800\sim 800\ \text{cm}^{-1}$ 范围的聚类分析Fig. 4 The second derivative spectra of Zingiberaceae in $1\ 800\sim 800\ \text{cm}^{-1}$ range of cluster diagram

特征谱带进行归属。由表 2 可知,姜属植物的糖类以多糖和单糖为主。

2.3 姜科植物的聚类分析

图 4 是姜科姜亚科 2 族 6 属 29 种植物的聚类分析图。基于平方欧式距离,采用组间联接方式,来分析姜亚科 2 族(姜花族和姜族),6 属(姜属、姜黄属、姜花属、山姜属、凹唇姜属、豆蔻属)的分类情况。在距离为 5 时,山姜属 9 种植物全聚在一起,姜属 7 种植物全聚在一起,且三属合并在一起,同属姜族。在距离为 6 时,姜花属 5 种植物聚在一起,只有白姜花和姜属植物聚在一起,姜黄属 5 种植物聚在了一起,且两属合并在一起,同属姜花族;凹唇姜属的心叶凹唇姜单独聚类。在距离为 7 时,姜族和姜花族合并在一起,到距离为 25 时,再与心叶凹唇姜汇合,同属姜亚科。红外光谱的聚类分析情况与传统的分类学结论基本吻合,但也有差异之处:(1)吻合处。在距离为 7 以内,山姜属(9 种),姜属(7 种),姜花属(5 种),姜黄属(5 种)分别聚在了一起,在属级分类中,聚合度较好,吻合传统分类。在距离

表 2 姜属植物在 $1\ 200\sim 1\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 的
红外二阶导数谱带的归属情况

Table 2 Band of second derivatives spectra assignments for *Zingiber* in $1\ 200\sim 1\ 000\ \text{cm}^{-1}$

振动峰位 Vibration peak position (cm^{-1})	振动归属(夏朝红等, 2007) Vibration attribution
1 156~1 158	多糖(淀粉) Polysaccharide (Starch)
1 139	多糖(淀粉) Polysaccharide (Starch)
1 128~1 126	单糖的(O-H)的变角振动 Angular vibration of simple sugars (O-H)
1 077~1 078	多糖(淀粉) Polysaccharide (starch)
1 026~1 028	糖和脂的特征峰 Characteristic peaks of sugar and lipid

为 7 时,山姜属、豆蔻属、姜属先合并为姜族;姜花属和姜黄属合并为姜花族,最后两族合并为姜亚科,在族级水平分类中,和传统分类一致。(2)差异处。在距离为 1 时,豆蔻属野草果和山姜属植物聚在一起,姜花属白姜花和姜属植物聚在了一起;在距离 25 时,

凹唇姜属心叶凹唇姜才和两族植物聚在一起并为姜亚科,在族属级的分类中,这和传统分类不一样。

红外光谱的聚类和传统分类差异之处,有可能是由于物种间化合物成分组成以及相对含量多少不同而造成的。从光谱角度来看,心叶凹唇姜没有先和姜花族聚在一起,这和某些化合物的组成和类型相关,比如姜辣素与二苯基庚烷的相对含量比较中,姜花族中心叶凹唇姜的比值最大,说明姜科同族不同属植物化合物相对含量不一样,而这种现象在系统聚类中有所体现,心叶凹唇姜独成一类,这成了光谱聚类的一个依据。对于心叶凹唇姜是姜花族这一说法,光谱聚类建议再深入研究。

3 结论

应用 FTIR 光谱技术对 29 种姜科植物进行研究发现,同族不同属和同属不同种植物的红外图谱基本一样,谱带是由碳水化合物、蛋白质和脂类等生物大分子构成。对 $1\ 800\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 进行二阶导处理,发现差异主要集中在 $1\ 750\sim 1\ 400$ 、 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 区域内。用吸光度比值 A_{1516}/A_{3424} 、 A_{1449}/A_{3424} 来反映二苯基庚烷和姜辣素的相对含量,将 $1\ 200\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 的二阶导谱峰进行归属,并用二阶导 $1\ 800\sim 1\ 000\text{ cm}^{-1}$ 数据进行聚类分析。结果显示同族不同属植物比值差异大,二苯基庚烷和姜辣素的相对含量悬殊大,同属不同种植物比值差异小,相对含量基本一致。姜科植物的糖类以单糖和多糖为主。在族属级的水平分类中,姜科植物的族属分类与传统分类结果基本吻合,但有一定的差异。结果表明,傅里叶变换红外光谱技术能应用于姜科植物的分类系统学。

参考文献:

DAO HY, WANG XR, YAN HD, 2014. Dai medicine commonly used zingiberaceous [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, (4): 5-6. [刀红英,王孝蓉,岩罕单,2014.西双版纳州傣医常用姜科植物[J].中国民族民间医药,(4):5-6.]

DU FY, ZHANG XY, WANG HG, et al, 2005. The law of lignocellulose following decay by white-rot fungi [J]. J Cellul Sci Technol, 13(1): 17-25. [杜甫佑,张晓昱,王宏勋,等,2005.白腐菌降解木质纤维素顺序规律的研究[J].纤维素科学与技术,13(1):17-25.]

KRESS WJ, PRINCEN LM, WILLIAMS KJ, 2002. The phylogeny and a new classification of the gingers (Zingiberaceae): evidence from molecular and morphological data [J]. Am J Bot, 89(11): 1682-1696.

LOU XF, SUN HX, 1994. Application of cluster analysis in the chemical identification of medicinal herbs of ginger [J]. Chin J

Chin Mater Med, 19(9): 520-522. [漏新芬,孙红祥,1994.聚类分析在姜科果实类药材化学鉴定中的应用[J].中国中药杂志,19(9):520-522.]

LI WX, CHEN J, 2008. Chromosome numbers of ten zingiberaceae species [J]. Guihaia, 28(5): 596-598. [李维秀,陈进,2008.十种姜科植物染色体数目研究[J].广西植物,28(5):596-598.]

LIAO JP, WU QG. 2000. A preliminary study of seed anatomy of zingiberaceae [J]. Bot J Linn Soc, 134: 287-300.

LUO BR, LIU G, SHI YP, et al, 2009. Discrimination of ericaceae using FTIR spectroscopy and principal component analysis [J]. Inf Technol, 31(1):39-43. [罗庇荣,刘刚,时有朋,等,2009. FTIR 结合主成分分析对杜鹃花植物鉴别分类研究[J].红外技术,31(1):39-43.]

LÜ HF, CHENG CG, TANG X, et al, 2004. FTIR spectrum of hypericum and triadenum with reference to their identification [J]. Acta Bot Sin, 46(4): 401-406. [吕洪飞,程存归,唐熙,等,2004.金丝桃属和三腺金丝桃属植物叶的红外光谱分析及其与分类群鉴定的相关性[J].植物学报,46(4):401-406.]

LI L, LIU G, ZHANG CY, et al, 2013. Discrimination of bamboo using FTIR spectroscopy and statistical analysis [J]. Spectrosc Spect Anal, 33(12): 3221-3225. [李伦,刘刚,张川云,等,2013. FTIR 结合统计分析对竹类植物的鉴别分类研究[J].光谱学与光谱分析,33(12):3221-3225.]

LI L, ZHOU XP, LIU G, et al, 2013. Infrared spectroscopic study on leaf senescence of evergreen tree [J]. Spectrosc Spect Anal, 33(2): 340-343. [李伦,周湘萍,刘刚,等,2013.常绿树叶自然衰老的红外光谱研究[J].光谱学与光谱分析,33(2):340-343.]

TANG YJ, LIAO JP, WU QG, 2010. Analyses of anatomic structure and their systematic significances of zingiberaceous roots of 28 species in chin [J]. Acta BotBoreal-Occident Sin, 30(9): 1821-1833. [唐源江,廖景平,吴七根,2010.国产姜科 28 种植物根解剖结构分析及其系统学意义[J].西北植物学,30(9):1821-1833.]

WANG Q, BAI X, TANG J, et al, 2013. FTIR spectroscopy combined with principal component and cluster analysis: application to identification of different varieties of Jiashi melon seed [J]. Chin J Spect Lab, 30(5): 2084-2087. [王青,白希,唐军,等,2013. FTIR 结合主成分聚类用于伽师瓜籽品种的鉴别[J].光谱实验室,30(5):2084-2087.]

XIA CH, DAI Q, FANG W, et al, 2007. Research on the IR spectroscopy of kinds of polysaccharide [J]. J wuhan univ technol, 29(1): 45-48. [夏朝红,戴奇,房韦,等.2007.几种多糖的红外光谱研究[J].武汉理工大学学报,29(1):45-48.]

ZHANG L, LIU G, LI L, et al. 2013. Discrimination of palmaria plants using fourier transform infrared spectroscopy [J]. J Light Scatt, 25(1): 98-103. [张黎,刘刚,李伦,等.2013. FTIR 结合主成分分析对棕榈科植物鉴别研究[J].光散射学报,25(1):98-103.]

ZHAO SQ, LIU G, OU QH, et al, 2014. Study of different tree peony varieties by fourier transform infrared spectroscopy [J]. Chin J Las, 41: s115002-1-s115002-5. [赵帅群,刘刚,欧全宏,等,2014.不同品种牡丹花的傅里叶变换红外光谱研究[J].中国激光,41:s115002-1-s115002-5.]

ZHOU LX. 2004. Modern medicine identification technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press. [周立新.2004.现代中药鉴定技术[M].北京:化学工业出版社.]