

不同种质宁夏枸杞红外光谱特征及其与表型性状的相关性分析

李艳萍¹, 刘冰¹, 刘楠¹, 闫亚美², 秦垦², 喻静², 米佳^{2*}

(1. 银川能源学院 化学与生物工程学院, 宁夏 银川 750000; 2. 宁夏农林科学院 枸杞科学研究所, 宁夏 银川 750000)

摘要: 为快速鉴别不同种质宁夏枸杞化学成分的差异, 采用红外光谱法对不同种质宁夏枸杞的红外光谱特征进行研究。结果表明: 不同种质宁夏枸杞分别在 3 380、2 930、1 640、1 400、1 260、1 060、917、869、784、779、629 cm⁻¹ 等处均有不同程度的较强红外吸收, 说明不同种质宁夏枸杞的化学成分相似, 但含量有所差异。聚类分析结果表明: 不同种质宁夏枸杞由于化学成分的差异被分成 3 大类, 14-16、14-17、14-107、16-23-7-8 为一类, Z-44、14-4-4-13、14-401、精杞 4 号、14-26-5、宁杞 1 号为一类, 14-87、宁杞 5 号、16-16-9-2、16-1-3-5、NM14-02 为一类。

关键词: 宁夏枸杞; 种质; 红外光谱; 表型性状; 相关性

Correlations between Infrared Spectrum and Phenotypic Traits of Different *Lycium barbarum* L. Germplasms

LI Yan-ping¹, LIU Bing¹, LIU Nan¹, YAN Ya-mei², QIN Ken², YU Jing², MI Jia^{2*}

(1. Chemical and Biological Engineering Institute, Yinchuan University of Energy, Yinchuan 750000, Ningxia, China; 2. Institute of Wolfberry Engineering Technology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750000, Ningxia, China)

Abstract: To quickly identify and evaluate the differences between chemical components of different *L. barbarum* L. germplasm, infrared spectroscopy was used to study the spectrum of chemical components of different *L. barbarum* L. germplasms. The results showed that different *L. barbarum* L. germplasms showed absorptions with different strength at 3 380, 2 930, 1 640, 1 400, 1 260, 1 060, 917, 869, 784, 779, 629 cm⁻¹, respectively, which meant that the chemical components of different *L. barbarum* L. germplasms was similar but the content was different. The result of cluster analysis showed that the different *L. barbarum* L. germplasms were divided into three categories due to the difference of chemical components. 14-16, 14-17, 14-107, and 16-23-7-8 were classified as a category, Z-44, 14-4-4-13, 14-401, Jingqi No.4, 14-26-5, and Ningqi No.1 as a category, and 14-87, Ningqi No.5, 16-16-9-2, 16-1-3-5, and NM14-02 as a category.

Key words: *Lycium barbarum* L.; germplasms; infrared spectrum; phenotypic traits; correlation

引文格式:

李艳萍, 刘冰, 刘楠, 等. 不同种质宁夏枸杞红外光谱特征及其与表型性状的相关性分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(9): 178-182.

LI Yanping, LIU Bing, LIU Nan, et al. Correlations between Infrared Spectrum and Phenotypic Traits of Different *Lycium barbarum* L. Germplasms[J]. Food Research and Development, 2023, 44(9): 178-182.

枸杞(*Lycium*)是茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium* L.)植物的成熟果实, 具有良好的保健功能和较高的医药价值。枸杞的果实、根皮、茎叶等皆可入药, 在我国

西北地区多有种植, 由于其具有耐干旱、盐碱等生长习性, 多生长在盐碱土荒漠、盐化沙地等地带^[1-2]。宁夏、甘肃、内蒙古、新疆种植较多, 全国各地品种多样,

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划(2020BBF02006); 国家重点研发计划(2019YFD1001605)

作者简介: 李艳萍(1985—), 女(汉), 讲师, 硕士, 研究方向: 食品化学。

* 通信作者: 米佳(1989—), 女(汉), 助理研究员, 硕士, 研究方向: 枸杞功效物质与精深加工。

其中宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)是《中国药典》记载的唯一可以入药的枸杞种质。

宁夏枸杞是枸杞主要的种质之一,以宁夏为原产地,栽培历史悠久,种植面积广阔,其色泽鲜艳、粒大籽少、皮薄肉厚、甘甜可口,品质优越。在长期的栽培过程中,学者们不断探索,陆续发现和培育了多个品种,其中种植较广泛的有宁杞1号、宁杞7号、宁杞5号等。宁夏枸杞中含有多种功效成分,其中主要化学成分有枸杞多糖、黄酮、生物碱、类胡萝卜素等^[3],具有降血糖^[4]、抗癌^[5]、保肝^[6]、提高免疫力^[7]等作用,在医药行业和食品行业等领域都有广泛的用途。近年来,随着人们对宁夏枸杞认可度的不断提升,关于它的研究也越来越多,但是采用红外光谱技术分析宁夏枸杞化学成分的研究较少,关于不同种质宁夏枸杞化学成分的研究也鲜有报道^[8-9]。迄今为止,宁夏枸杞的引种栽培工作仍在继续,推进宁夏枸杞良种选育和引种栽培工作势在必行,采用有效的方法鉴别不同种质宁夏枸杞的品质尤为重要。枸杞化学成分的测定方法主要有超临界流体萃取技术^[10-11]、高效液质联用技术(ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry, U-PLC-MS)^[12]、紫外分光光度法^[13]等,这些方法虽然在枸杞成分分析方面较为常用,但是提取步骤复杂、测定流程较繁琐,不仅会花费大量时间,而且分离提纯等预处理手段对枸杞化学成分也会造成一定的损失,因此采用更高效的方法来分析研究枸杞中的化学成分极为重要。红外光谱技术凭借分析效率高、不破坏试样、操作简便、绿色环保等优点,逐渐被应用到各个领域,目前主要应用在化工领域^[14-15]、食品加工领域^[16-18]和制药领域^[19]。在中药炮制研究中的应用主要是阐释中药炮制原理,对炮制品进行定性、定量分析,同时也应用在炮制品生产和质量控制中^[20-23]。

本文采用红外光谱法对不同种质宁夏枸杞的光谱特征进行分析,以期对枸杞品质评价提供简单、快速、直观、可行的新方法,为其引种栽培和良种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

宁夏枸杞种质14-16、14-87、14-107、Z-44、14-4-4-13、16-16-9-2、16-1-3-5、16-23-7-8、NM14-02、14-26-5、14-17、14-401和宁杞1号、精杞4号、宁杞5号,于2020年7月10日~7月12日统一采自宁夏芦花台园林场国家枸杞种质资源圃,果实采后统一用50℃热风烘干后待测。溴化钾(分析纯);赛默飞世尔科技有限公司。

1.2 仪器与设备

傅里叶变换红外光谱仪(Nicolet IS50);赛默飞世

尔科技有限公司;电热鼓风干燥箱(DHG-9030A):上海一恒科学仪器有限公司;MICROTEK扫描仪(MRS-3200A3L):上海中晶科技有限公司;分析天平(BS224S):德国赛多利斯公司。

1.3 试验方法

1.3.1 表型性状的测定

利用MICROTEK扫描仪测量枸杞的表型性状:长、宽、色泽(L^* 、 a^* 、 b^*),每个种质随机取16个果实进行测定,平行测定3次。 L^* 值表示亮度, L^* 值越大则亮度越高; a^* 值为红色到绿色之间的色彩指数,红色为正值,绿色为负值; b^* 值为蓝色到黄色之间的色彩指数,黄色为正值,蓝色为负值; c 值和 h 值根据下列公式计算得出。 c 值越大则果实颜色越鲜艳,色度角(h 值)在 $0^\circ\sim 90^\circ$ 为红色、橙色和黄色,成熟枸杞果实的 h 值多在此范围之内^[24]。

$$c = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

式中: c 为色彩饱和度; h 为色度角。

1.3.2 红外光谱分析

样品前处理:称取枸杞样品5 g~10 g,经液氮冷冻后研磨成粉末,装袋密封,贴标签后置于干燥器中待测。将溴化钾置于100℃的电热鼓风干燥箱干燥4 h左右,置于干燥器中备用。

样品红外光谱信息采集:采用KBr压片法,每个样品称取1 mg,以1:150(质量比)与溴化钾混合均匀并再次研磨,放到压片机中制成透明或半透明的锭片后,放入样品池中检测,在 $4\,000\text{ cm}^{-1}\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 累计扫描32次,扫描过程中扣除水和二氧化碳的影响。

1.4 数据处理

利用OMNIC 7.3智能软件采集样品信息获得原始数据,导入Origin 2018进行聚类分析,并用SPSS 24.0对不同种质宁夏枸杞的表型特征和红外光谱特征进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种质宁夏枸杞的红外光谱特征分析

不同种质宁夏枸杞红外光谱见图1。

从图1可以看出,不同种质宁夏枸杞分别在 $3\,380$ 、 $2\,930$ 、 $1\,640$ 、 $1\,400$ 、 $1\,260$ 、 $1\,060$ 、 917 、 869 、 784 、 779 、 629 cm^{-1} 等处均有较强的不同程度的红外吸收,说明宁夏枸杞中化学成分组成相似,但其含量可能存在差异,因为同一波数处其吸光度不同,吸光度大,含量高,吸光度值小,含量少,其中在 $3\,380\text{ cm}^{-1}$ 左右是-OH的伸缩振动, $2\,930\text{ cm}^{-1}$ 附近是 NH_3^+ 的伸缩振动^[25], $1\,640\text{ cm}^{-1}$ 是C=O的伸缩振动, $1\,400\text{ cm}^{-1}$ 是醇羟基面

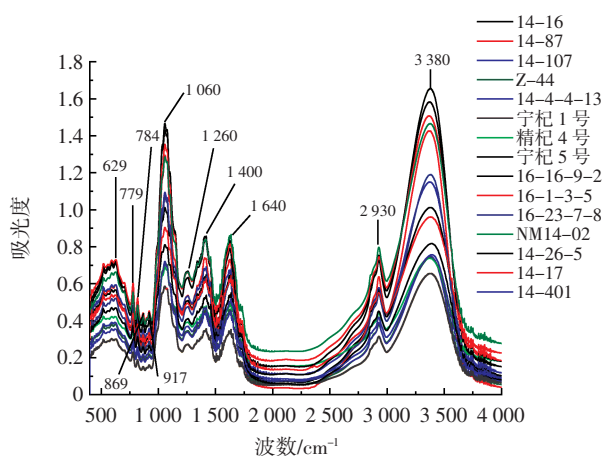


图1 不同种质宁夏枸杞红外光谱图

Fig.1 IR spectral map of Ningxia *Lycium barbarum* L. in different germplasm

内弯曲振动, $1\ 060\ \text{cm}^{-1}$ 为脂肪族 CF 的伸缩振动, $1\ 260\ \text{cm}^{-1}$ 是 C-N 的伸缩振动, $869, 784, 779\ \text{cm}^{-1}$ 可能是 P-C 伸缩振动, 在 $629\ \text{cm}^{-1}$ 处是醇羟基的面外弯曲振动, 其中 -OH 和 NH_3^+ 的振动特征与宁夏枸杞中多糖、氨基酸等化学成分比较相似, 依据其光谱特征推测宁夏枸杞中可能含有多糖、多酚类物质和类胡萝卜素等化学成分, 并且不同种质宁夏枸杞在多糖、多酚类物质、类胡萝卜素等化学成分上存在差异。宁夏枸杞所含化学成分复杂多样, 难以同时对多个种质做出评价, 因此选用较强的特征吸收峰, 采用聚类分析法对不同种质宁夏枸杞的红外光谱特征进行分析。

2.2 不同种质宁夏枸杞红外光谱特征的聚类分析

聚类分析是将物理或抽象对象的集合分组, 形成多个类似组的分析过程。采用系统聚类分析法对不同种质宁夏枸杞的红外光谱特征进行分析, 并绘制树状图, 如图 2 所示。

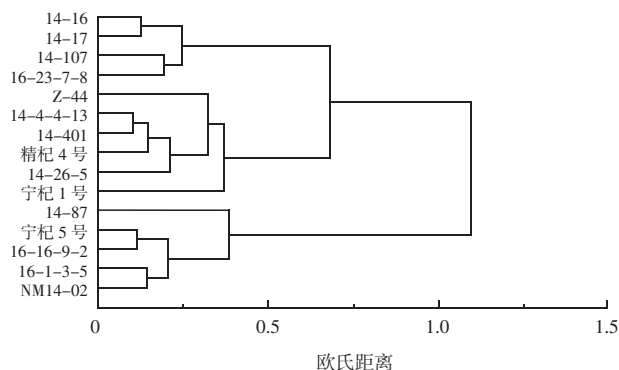


图2 不同种质宁夏枸杞红外光谱特征的聚类分析

Fig.2 Cluster analysis of infrared spectral characteristics of Ningxia *Lycium barbarum* L. in different germplasm

由图 2 可知, 当欧氏距离为 0.5 时, 可分为 3 大类, 14-16、14-17、14-107、16-23-7-8 为一类, Z-44、14-

4-4-13、14-401、精杞 4 号、14-26-5、宁杞 1 号为一类, 14-87、宁杞 5 号、16-16-9-2、16-1-3-5、NM14-02 为一类。虽然不同种质宁夏枸杞的环境条件和栽培措施一致, 但由于其自身差异以及对外界环境适应性的不同^[26], 因而造成了化学成分的差异。

2.3 不同种质宁夏枸杞表型性状与其红外光谱特征的相关性分析

不同种质宁夏枸杞表型性状指标值见表 1。

表 1 不同种质宁夏枸杞表型性状指标值

Table 1 Index values of phenotypic traits of Ningxia *Lycium barbarum* L. in different germplasm

项目	L^* 值	a^* 值	b^* 值	c 值	h 值	长/mm	宽/mm	长/宽
14-16	19.67	31.33	28.67	42.47	42.46	16.19	6.18	2.63
14-87	19.00	29.67	28.00	40.79	43.35	17.11	6.03	2.88
14-107	26.33	39.67	35.00	52.90	41.42	16.62	6.25	2.71
Z-44	24.00	37.00	31.67	48.70	40.56	15.64	5.82	2.71
14-4-4-13	24.33	34.33	31.00	46.26	42.08	16.39	5.77	2.88
宁杞 1 号	20.67	32.00	29.67	43.64	42.83	13.34	5.66	2.38
精杞 4 号	18.67	30.00	27.67	40.81	42.68	16.34	5.73	2.91
宁杞 5 号	19.67	29.33	27.67	40.32	43.33	14.36	6.39	2.27
16-16-9-2	21.00	32.00	31.00	44.55	44.09	16.21	6.83	2.38
16-1-3-5	30.33	39.67	35.33	53.12	41.69	17.60	6.04	2.94
16-23-7-8	27.67	39.00	36.00	53.08	42.71	16.40	6.17	2.67
NM14-02	26.67	39.67	35.33	53.12	41.69	16.89	5.99	2.84
14-26-5	19.33	29.67	28.67	41.25	44.02	12.76	6.40	2.02
14-17	19.00	29.67	26.67	39.89	41.95	13.80	6.03	2.28
14-401	26.67	36.33	34.67	50.22	43.66	17.70	5.99	2.98
最小值	18.67	29.33	26.67	39.89	40.56	12.76	5.66	2.02
最大值	30.33	39.67	36.00	53.12	44.09	17.70	6.83	2.98
平均值	22.87	33.96	31.13	46.07	42.57	15.82	6.09	2.63
标准差	3.89	4.18	3.32	5.28	1.02	1.54	0.30	0.30
变异系数/%	17.01	12.32	10.68	11.46	2.39	9.72	4.99	11.26

由表 1 可知, 不同种质宁夏枸杞的颜色和大小等表型性状不同, 其中 h 值为 40.56~44.09, 变异系数最小, 为 2.39%, 说明不同种质枸杞的色度角差异较小; 其次为果实宽, 其变异系数为 4.99%; 而 L^* 值为 18.67~30.33, 变异系数最大, 为 17.01%, 说明不同种质枸杞的表型性状中, 亮度差异最大; 其他几个表型性状的变异系数约为 10%, 说明不同种质枸杞的该指标差异较小。

枸杞的色泽和大小等表型性状可能与枸杞化学成分的含量存在一定的关联性, 因此采用相关性分析进一步探究枸杞表型特征与其红外光谱特征的相关性关系, 具体结果见表 2。

表2 不同种质宁夏枸杞红外光谱特征与其表型性状的相关性分析
Table 2 Correlation analysis of infrared spectral characteristics of Ningxia *Lycium barbarum* L. and their phenotypic traits of different germplasm

指标	L*值	a*值	b*值	c值	h值	长	宽	长/宽
特征峰1	0.145	0.087	0.172	0.124	0.245	0.289	0.644*	-0.056
特征峰2	0.177	0.151	0.184	0.167	0.06	0.339	0.582*	0.015
特征峰3	0.195	0.171	0.202	0.186	0.046	0.361	0.603*	0.024
特征峰4	0.177	0.152	0.184	0.167	0.061	0.328	0.636*	-0.0107
特征峰5	0.178	0.15	0.177	0.163	0.043	0.318	0.619*	-0.019
特征峰6	0.148	0.112	0.169	0.137	0.152	0.291	0.679**	-0.071
特征峰7	0.193	0.167	0.174	0.172	-0.024	0.327	0.578*	0.012
特征峰8	0.191	0.168	0.175	0.173	-0.024	0.323	0.583*	0.006
特征峰9	0.154	0.127	0.146	0.136	0.031	0.286	0.642*	-0.054
特征峰10	0.151	0.124	0.145	0.134	0.042	0.282	0.651*	-0.061
特征峰11	0.137	0.105	0.137	0.12	0.082	0.28	0.679**	-0.077

注:*表示差异显著($p<0.05$);**表示差异极显著($p<0.01$)。

由表2 Pearson相关性分析结果可知,宁夏枸杞的红外光谱特征与其表型指标具有一定的相关性,宽度与其特征峰呈显著性正相关,说明宽度越宽,其特征峰的强度越强,所代表的化学成分含量越高,其中特征峰6和特征峰11与其宽度有着极显著的正相关性,这两个特征峰分别对应波数 $1\,060\text{ cm}^{-1}$ 和 629 cm^{-1} , $1\,060\text{ cm}^{-1}$ 是脂肪族 CF 的伸缩振动, 629 cm^{-1} 是醇羟基的面外弯曲振动,表明宁夏枸杞中含有的脂类和醇类等物质的红外光谱特征与其宽度有着极显著的正相关性,即说明枸杞的果实越宽,枸杞中的脂类和醇类物质的含量越高。其他表型性状与宁夏枸杞的红外光谱特征没有显著的相关性。

3 结论

对15个不同种质宁夏枸杞的红外光谱特征进行比较分析,并探讨其与枸杞果实表型性状的相关性。结果表明:不同种质宁夏枸杞的化学成分组成相似,但其含量存在差异;通过树状图可以直观看出15个种质的宁夏枸杞由于化学成分的不同被分成3大类,当欧氏距离 $d=0.5$ 时,14-16、14-17、14-107、16-23-7-8为一类,Z-44、14-4-4-13、14-401、精杞4号、14-26-5、宁杞1号为一类,14-87、宁杞5号、16-16-9-2、16-1-3-5、NM14-02为一类;枸杞的表型性状与其化学成分存在一定的关联性,其中枸杞宽度与其化学成分有着显著的正相关性,并与枸杞中脂类和醇类物质呈极显著的正相关性。本研究通过对枸杞化学成分进行系统的定量分析,并结合红外光谱特征,建立完善、系统的枸杞化学成分无损检测方法,可在一定程度上为宁夏枸杞种质鉴别、品质评价提供简单快速的新方法和新思路,为其引种栽培和良种选育提供参考。

参考文献:

- [1] 张潭. 柴达木地区几个主要树种的抗旱耐盐碱生理生化特征研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
ZHANG Tan. Studies on drought and salinity resistant physiology and biochemistry characteristics of main tree species in Qaidam Basin[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.
- [2] LUO J, HUANG C H, PENG F, et al. Effect of salt stress on photosynthesis and related physiological characteristics of *Lycium ruthenicum* Murr[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science, 2017, 67(8): 680-692.
- [3] MA RH, ZHANG X X, NI Z J, et al. *Lycium barbarum* (Goji) as functional food: A review of its nutrition, phytochemical structure, biological features, and food industry prospects[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 5(20): 1-15.
- [4] ZHAO R, GAO X, ZHANG T, et al. Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on type 2 diabetes mellitus rats by regulating biological rhythms[J]. Iranian Journal of Basic Medical Sciences, 2016, 19(9): 1024-1030.
- [5] WAWRUSZAK A, CZERWONKA A, OKŁA K, et al. Anticancer effect of ethanol *Lycium barbarum* (Goji berry) extract on human breast cancer T47D cell line[J]. Natural Product Research, 2016, 30(17): 1993-1996.
- [6] JIA L, LI W, LI J N, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide attenuates high-fat diet-induced hepatic steatosis by up-regulating SIRT1 expression and deacetylase activity[J]. Scientific Reports, 2016, 6 (1): 1-11.
- [7] TIAN J Y, CHEN W W, CUI J, et al. Effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on methylmercury-induced abnormal differentiation of hippocampal stem cells[J]. Experimental and Therapeutic Medicine, 2016, 12(2): 683-689.
- [8] 魏雪松, 王海洋, 孙智轩, 等. 宁夏枸杞化学成分及其药理活性研究进展[J]. 中成药, 2018, 40(11): 2513-2520.
WEI Xuesong, WANG Haiyang, SUN Zhixuan, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Lycium barbarum* in Ningxia[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2018, 40(11): 2513-2520.
- [9] 逯海龙, 刘仕丽, 苏亚伦, 等. 宁夏枸杞子化学成分的研究[J]. 解放军药学报, 2012, 28(6): 475-476, 498.
LU Hailong, LIU Shili, SU Yalun, et al. Chemical constituents of fruits of *Lycium barbarum* L[J]. Pharmaceutical Journal of Chinese PLA, 2012, 28(6): 475-476, 498.
- [10] 崔艳宏. 超临界流体提取宁夏枸杞籽中有效成分研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
CUI Yanhong. Study of supercritical fluid extraction of active ingredients in Ningxia *Lycium barbarum* seeds[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018.
- [11] 马晓燕. 枸杞籽油的超临界萃取及其微胶囊化技术的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014.
MA Xiaoyan. Study on supercritical fluid extraction and microcapsulation technology of *Lycium barbarum* L. seed oil[D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2014.
- [12] 甘小娜, 王辉俊, 李廷钊, 等. 黑果枸杞化学成分的 UPLC-Triple TOF/MS 分析及其总花色苷类含量测定[J]. 食品科学, 2021, 42(18): 185-190.
GAN Xiaona, WANG Huijun, LI Tingzhao, et al. *Lycium ruthenicum* Murray fruit: Chemical composition analysis by ultra-high performance liquid chromatography coupled to triple time of flight mass spectrometry and determination of total anthocyanins[J]. Food Science, 2021, 42(18): 185-190.

- [13] 许梦洁,倪健,陈杨,等.枸杞总黄酮测定方法的简化及水提取动力学模型的建立[J].中华中医药学刊,2015,33(2):330-333.
XU Mengjie, NI Jian, CHEN Yang, et al. Simplification of determination method for total flavonoids in *Lycium barbaru* L and establishing kinetic model for water extraction process[J]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine, 2015, 33(2): 330-333.
- [14] 褚小立,陈瀑,李敬岩,等.近红外光谱分析技术的最新进展与展望[J].分析测试学报,2020,39(10):1181-1188.
CHU Xiaoli, CHEN Pu, LI Jingyan, et al. Progresses and perspectives of near infrared spectroscopy analytical technology[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2020, 39(10): 1181-1188.
- [15] 谢伟.近红外光谱分析技术在化工分析中的应用[J].化学工程与装备,2021(5):217-218.
XIE Wei. Application of near infrared spectroscopy in chemical analysis[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2021(5): 217-218.
- [16] 张静,徐阳,姜彦武,等.近红外光谱技术在葡萄及其制品品质检测中的应用研究进展[J].光谱学与光谱分析,2021,41(12):3653-3659.
ZHANG Jing, XU Yang, JIANG Yanwu, et al. Recent advances in application of near-infrared spectroscopy for quality detections of grapes and grape products[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2021, 41(12): 3653-3659.
- [17] 戴莹,冯晓元,韩平,等.近红外光谱技术在果蔬农药残留检测中的应用研究进展[J].食品安全质量检测学报,2014,5(3):658-664.
DAI Ying, FENG Xiaoyuan, HAN Ping, et al. Application of near infrared spectrum analysis technique in pesticide residues detection of fruits and vegetables[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(3): 658-664.
- [18] 陈超,柳琦,李钊,等.红外光谱技术在食品安全检测中的研究与应用[J].食品研究与开发,2019,40(14):219-224.
CHEN Chao, LIU Qi, LI Fan, et al. Research and application of infrared spectroscopy technology in food safety testing[J]. Food Research and Development, 2019, 40(14): 219-224.
- [19] 叶陈奎,袁冲,王晓岗.近红外光谱技术在药物分析中的应用[J].化工设计通讯,2020,46(8):204,211.
YE Chenkui, YUAN Chong, WANG Xiaogang. Application of near infrared spectroscopy in drug analysis[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46(8): 204, 211.
- [20] 王丹,卜海博,李向日.红外光谱技术在中药炮制研究中的应用与展望[J].中国实验方剂学杂志,2011,17(7):269-271.
WANG Dan, BU Haibo, LI Xiangri. Application and prospect of infrared spectroscopy in Chinese medicine processing[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2011, 17(7): 269-271.
- [21] 赵静.红外光谱技术在中药炮制研究中的应用[J].北方药学,2017,14(8):194-195.
ZHAO Jing. Application of infrared spectroscopy technology in the processing of traditional Chinese medicine[J]. Journal of North Pharmacy, 2017, 14(8): 194-195.
- [22] 冯燕平.红外光谱技术在中药炮制研究中的应用研究[J].内蒙古中医药,2016,35(11):141-142.
FENG Yanping. Study on the application of infrared spectroscopy in the processing of traditional Chinese medicine[J]. Inner Mongolia Journal of Traditional Chinese Medicine, 2016, 35(11): 141-142.
- [23] 申云霞,赵艳丽,张霁,等.红外光谱在中药质量研究中的应用[J].世界科学技术-中医药现代化,2015,17(3):664-669.
SHEN Yunxia, ZHAO Yanli, ZHANG Ji, et al. Application of infrared spectroscopy in traditional Chinese medicine[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology, 2015, 17(3): 664-669.
- [24] LI X, LU M, TANG D Q, et al. Composition of carotenoids and flavonoids in Narcissus cultivars and their relationship with flower color[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0142074.
- [25] 胡春.有机化学[M].北京:高等教育出版社,2013.
HU Chun. Organic chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2013.
- [26] 王海波,王孝娣,韩晓,等.不同葡萄品种设施环境适应性评价方法研究[J].华北农学报,2019,34(S1):92-98.
WANG Haibo, WANG Xiaodi, HAN Xiao, et al. Evaluation of environmental adaptability of 22 grape cultivars with different evaluation methods[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2019, 34(S1): 92-98.

加工编辑:冯娜
收稿日期:2022-11-06