

## 不同产地和规格等级天麻矿质元素分析与评价

颜鸿远<sup>1</sup>, 龚文玲<sup>1</sup>, 刘引<sup>1</sup>, 周涛<sup>2</sup>, 郭兰萍<sup>3</sup>, 彭华胜<sup>4</sup>, 桂双英<sup>4</sup>, 刘大会<sup>1\*</sup>  
(1. 湖北中医药大学 中药资源中心, 武汉 430065; 2. 贵州中医药大学, 贵阳 550025;  
3. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700;  
4. 安徽中医药大学 药学院, 合肥 230012)

**[摘要]** 目的:研究不同产地和规格(变型)等级天麻中矿质元素的分布特征及分类鉴定依据。方法:采用原子吸收分光光度法、钼锑抗比色法和姜黄比色法对31批次不同产地和规格(变型)等级天麻样品中14种矿质元素进行测定,运用相关性分析、判别分析与主成分分析对测定结果进行系统分析与评价。结果:天麻中K,N,P元素含量高,为影响天麻生长的营养限制因子,K>N>P>Mg>Ca>Fe>B>Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd元素变化趋势可用于鉴别天麻药材;不同产地间比较发现,昭通天麻P,Fe,Cd元素含量最高,丽江天麻K元素含量最高,罗田天麻Zn,Cr元素含量最高,金寨天麻Cu,Pb元素含量最高;不同规格(变型)间比较发现,红天麻中Mg,B,Pb和Cr元素含量高于乌天麻;不同等级间比较发现,P,Cu,Cd元素含量随商品麻等级降低而逐渐升高,Mg,Fe,B,Ni元素含量随商品麻等级降低多呈下降趋势。相关性分析表明,Fe元素与Mg,Cr,B元素均呈正相关。判别分析可有效鉴定天麻不同产地,准确率达85.71%,其中Cd,Pb,Cr,Cu,B和Ni元素为判别函数的重要变量。通过矿质元素主成分分析发现,云南昭通乌天麻样品得分集中,前3个主成分显示,Fe,Cr,Mg,Cd,P,Mn,B,Pb和Cu元素对天麻影响较大。结论:以矿质元素为依据对天麻进行鉴别具有一定可行性,该法快速、准确、稳定性强,可为天麻药材真伪鉴别、产地溯源等提供参考依据。

**[关键词]** 天麻; 乌天麻; 红天麻; 规格; 等级; 矿质元素; 含量特征

**[中图分类号]** R284.2;R289;R22;R2-031;R33 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2021)12-0147-10

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20210719

**[网络出版地址]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20210413.1504.005.html>

**[网络出版日期]** 2021-4-13 15:20

### Analysis and Evaluation of Mineral Elements in *Gastrodia elata* with Different Specifications and Grades from Diverse Producing Areas

YAN Hong-yuan<sup>1</sup>, GONG Wen-ling<sup>1</sup>, LIU Yin<sup>1</sup>, ZHOU Tao<sup>2</sup>, GUO Lan-ping<sup>3</sup>,  
PENG Hua-sheng<sup>4</sup>, GUI Shuang-ying<sup>4</sup>, LIU Da-hui<sup>1\*</sup>

(1. Institute of China Academy of Chinese Material Science, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China; 2. Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China;  
3. State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Material Sciences, Beijing 100700, China;  
4. School of Pharmacy, Anhui University of Chinese Medicine, Hefei 230012, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the distribution characteristics of mineral elements in *Gastrodia elata* samples with different grades and specifications (variants) from diverse producing areas and their classification and identification evidences. **Method:** Fourteen mineral elements in 31 batches of *Gastrodia elata* samples of

**[收稿日期]** 20210314(011)

**[基金项目]** 国家重点研发计划项目(2017YFC1700704);中央本级重大增减支项目(2060302);安徽省中央引导地方科技发展专项(YDZX20183400004233)

**[第一作者]** 颜鸿远,在读硕士,从事中药资源与中药质量评价研究,E-mail:862316064@qq.com

**[通信作者]** \*刘大会,博士生导师,教授,从事中药资源和中药农业研究,Tel:027-68890106,E-mail:liudahui@hbtcm.edu.cn

different grades and specifications (variants) from diverse producing areas were determined by atomic absorption spectrophotometry, Mo-Sb colorimetry, and curcumin colorimetry, and then subjected to correlation analysis (CA), discriminant analysis (DA), and principal component analysis (PCA). **Result:** The content of K, N, and P in *G. elata* was the highest, enabling them to serve as the nutritional limiting factors affecting its growth. The *G. elata* samples could be identified by the variation trend of elements ( $K>N>P>Mg>Ca>Fe>B>Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd$ ). The comparison of *G. elata* samples from multiple producing areas showed that *G. elata* from Zhaotong has the highest P, Fe, and Cd content, that from Lijiang the highest K content, that from Luotian the highest Zn and Cr content, and that from Jinzhai the highest Cu and Pb content. The content of Mg, B, Pb, and Cr in *G. elata* f. *elata* was higher than that in *G. elata* f. *glauca*. It was found that the content of P, Cu, and Cd in commercially available *G. elata* products gradually increased with the decrease in the commercial grade, while that of Mg, Fe, B, and Ni mostly decreased. As revealed by CA, Fe was positively correlated with Mg, Cr, and B. The producing areas of *G. elata* samples could be effectively identified by DA with Cd, Pb, Cr, Cu, B, and Ni as the main variables, and the accuracy reached up to 85.71%. According to the PCA of mineral elements in *G. elata* f. *glauca* from Zhaotong, Yunnan Province, Fe, Cr, Mg, Cd, P, Mn, B, Pb, and Cu exerted a greater influence on *G. elata*. **Conclusion:** The determination of mineral elements in *G. elata* samples contributes to identifying their authenticity and origin due to the easy operation, accurate results, and good stability.

**[Key words]** *Gastrodia elata*; *Gastrodia elata* f. *glauca*; *Gastrodia elata* f. *elata*; specification; grade; mineral elements; content characteristics

天麻来源于兰科植物天麻的干燥块茎<sup>[1]</sup>,为我国常用名贵中药材。天麻是与真菌共生的多年生草本植物,无根、无叶片,不能通过光合作用制造营养,也没有根系吸收环境中矿质养分,为异养型的兰科植物。1980年代以前,天麻商品药材主要依赖野生资源供应,产地相对集中且规格单一<sup>[2]</sup>。由于长期不合理采挖,导致天麻野生资源逐步枯竭并于1996年被列入《中国植物红皮书(稀有濒危植物)》名录。随着天麻人工栽培技术的逐渐成熟,现市场流通的商品麻均为人工栽培天麻,并相继形成湖北、云南、安徽、陕西、贵州、四川等天麻主产区<sup>[3]</sup>。当前人工栽培天麻变型为乌天麻、红天麻两种,且乌天麻价格高于红天麻,因商品麻规格、等级日渐混乱,有必要对天麻产地、规格(变型)和等级进行系统地鉴定评价。研究表明,中药材中矿质元素种类、含量可对中药资源的产地、品种进行有效区分<sup>[4]</sup>。贺媛媛等<sup>[5]</sup>利用矿质元素指纹特征实现对野葛产地来源的有效判别。陈松树等<sup>[6]</sup>根据不同生长年限的贵州党参矿质元素含量指标,确定贵州党参最宜采收时期。前人仅对单一产地天麻的矿质元素进行相关研究<sup>[7-8]</sup>,而关于不同产地、规格(变型)和等级天麻的矿质元素系统研究未见相关报道。因此本研究收集全国8个产地共计31批次天麻样品,探究不同产地、规格(变型)和等级天麻中14种矿质元素的

分布规律,并通过矿质元素判别分析、主成分分析对天麻产地、规格(变型)和等级进行判别与鉴定,从而为天麻药材的产地溯源和商品流通过程中规格(变型)和等级鉴别提供科学支撑。

## 1 材料

A3系列原子吸收分光光度计(火焰、石墨炉)(北京普析通用有限公司);A580型紫外分光光度计(北京铭成基业科技有限公司);K9860型全自动凯氏定氮仪(山东海能科技仪器有限公司);SH220N型石墨消解仪(山东海能科技仪器有限公司);TANK型微波消解仪(山东海能科技仪器有限公司);TK12型赶酸器(上海新仪微波化学科技有限公司);EX125DZH型1/10万电子天平[奥豪斯仪器(上海)有限公司];DHG-9070A型电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司);Water Purifier系列超纯水机(四川沃特尔);MM4型球磨仪[弗尔德(上海)仪器设备有限公司]。

钾(K)单元素、钙(Ca)单元素对照溶液[中国计量科学研究院,批号GBW(E)080125,GBW(E)080118];镁(Mg)单元素、铁(Fe)单元素、锰(Mn)单元素、锌(Zn)单元素、铬(Cr)单元素、镍(Ni)单元素、铜(Cu)单元素、镉(Cd)单元素、铅(Pb)单元素对照溶液[国家有色金属及电子材料分析测试中心,批号分别为GSB04-1735-2004,GSB04-1726-2004,

GSB04-1736-2004, GSB04-1761-2004, GSB04-1723-2004, GSB04-1740-2004, GSB04-1725-2004, GSB04-1721-2004, GSB04-1742-2004]。钼酸铵(AR, 国药集团化学试剂有限公司, 批号 10002316-20200522); 酒石酸锑钾, 姜黄素, L(+)-抗坏血酸, 溴甲酚绿, 甲基红(国药集团化学试剂有限公司, 批号分别为 10003528-20190411, 71012660-20140801, 10004014-20190705, 71007860-20150202, 71025214-20171108), 其他试剂均为分析纯, 购买于国药集团化学试剂有限公司。

试验用天麻样品于2016至2017年分别采集或购买自云南昭通、云南丽江、贵州大方、湖北罗田、湖北宜昌、安徽金寨、陕西汉中和四川广元基地或市场, 共计126份, 经湖北中医药大学刘大会教授鉴定为兰科植物天麻 *Gastrodia elata* 的干燥块茎。根据中药材商品规格等级标准-天麻(T/CACM1021.9-2018)对天麻样品进行规格、等级分类。按不同基原, 将天麻药材分为“乌天麻”“红天麻”两大类规格(变型); 根据不同采收时期, 将“乌天麻”“红天麻”各项下又细分为“冬麻”和“春麻”2种规格, 在立冬后至次年清明前, 天麻花茎未抽薹出土, 进行采收加工的天麻为“冬麻”, 清明过后, 天麻花茎已抽薹出土, 进行采收加工的天麻为“春麻”; 根据单个重量和每公斤所含个数, 将“冬麻”规格分为“一级”“二等”“三级”“四级”4个等级, 将“春麻”规格分为“统货”一个等级。样品具体信息见表1。将样品打粉过1号筛备用。

## 2 方法

**2.1 氮(N)、磷(P)和硼(B)元素测定** 参照刘引等<sup>[9]</sup>方法, 采用五水合硫酸铜-硫酸钾-硫酸法对天麻样品消解, 石墨消解仪消解程序为180℃消解30 min, 280℃消解30 min, 420℃消解60 min, 消解液用K9860全自动凯氏定氮仪测定。以浓硝酸-过氧化氢法对天麻样品进行微波消解, 微波消解程序为130℃保温5 min, 150℃保温3 min, 170℃保温5 min, 消解完毕, 对微波消解液进行挥酸、定容, 采用钼锑抗比色法测定P含量、姜黄比色法测定B素含量。

## 2.2 金属元素测定

**2.2.1 对照品及供试品溶液制备** 分别吸取多元素对照溶液, 制成多元素混标母液。取不同体积母液稀释, 即为不同质量浓度对照品溶液。取2.1项下所得微波消解液, 以去离子水稀释至相应倍数, 即得供试品溶液。

表1 天麻样品信息

Table 1 Sample information of *Gastrodia elata*

No.	产地	变型	等级	样品数/份	来源信息
1	云南昭通	乌天麻	一级	4	产地采集
2	云南昭通	乌天麻	二级	5	产地采集
3	云南昭通	乌天麻	三级	6	产地采集
4	云南昭通	乌天麻	四级	6	产地采集
5	云南丽江	红天麻	一级	2	产地采集
6	云南丽江	红天麻	二级	3	产地采集
7	云南丽江	红天麻	三级	6	产地采集
8	云南丽江	红天麻	四级	5	产地采集
9	贵州大方	红天麻	一级	4	产地采集
10	贵州大方	红天麻	二级	1	产地采集
11	贵州大方	红天麻	三级	4	产地采集
12	贵州大方	红天麻	四级	5	产地采集
13	湖北罗田	红天麻	一级	4	产地采集
14	湖北罗田	红天麻	二级	3	产地采集
15	湖北罗田	红天麻	三级	3	产地采集
16	湖北罗田	红天麻	四级	3	产地采集
17	湖北宜昌	红天麻	一级	3	产地采集
18	湖北宜昌	红天麻	二级	5	产地采集
19	湖北宜昌	红天麻	三级	3	产地采集
20	湖北宜昌	红天麻	四级	4	产地采集
21	安徽金寨	红天麻	一级	6	产地采集
22	安徽金寨	红天麻	二级	4	产地采集
23	安徽金寨	红天麻	三级	4	产地采集
24	安徽金寨	红天麻	四级	7	产地采集
25	陕西汉中	红天麻	一级	2	产地采集
26	陕西汉中	红天麻	二级	3	产地采集
27	陕西汉中	红天麻	三级	7	产地采集
28	陕西汉中	红天麻	四级	4	产地采集
29	四川广元	红天麻	三级	4	荷花池市场购买
30	四川广元	红天麻	四级	5	荷花池市场购买
31	四川广元	乌天麻	四级	1	荷花池市场购买

注: 规格均为冬麻。

**2.2.2 仪器工作条件** 天麻样品中K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn元素采用火焰法-原子吸收分光光度法测定, 仪器工作条件: 工作灯电流4.0 mA, 预热灯电流2.0 mA, 光谱宽度0.2 nm, 负高压300 V, 乙炔流速1.0 L·min<sup>-1</sup>, 空气流速4.0 L·min<sup>-1</sup>。

天麻样品Ni, Cu, Cd, Cr, Pb元素采用石墨炉法-原子吸收分光光度法测定, 仪器工作条件: 工作灯电流4.0 mA, 干燥温度110℃, 灰化温度700℃, 原子化温度1800℃, 前两阶段持续时间均为20 s,

后一阶段持续时间为3 s。

**2.3 数据统计分析** 试验数据采用 Excel 2016, SPSS 24.0 进行统计分析。以  $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

### 3 结果与分析

**3.1 天麻矿质元素分布图谱建立** 根据测定结果发现天麻样品中矿质元素质量分数在  $0.01 \sim 11\,263.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 见表2。参照2020年版《中华人

民共和国药典》(简称《中国药典》)与部分国家、地区植物药重金属及有害元素残留限量标准<sup>[10]</sup>, 仅有云南昭通天麻中 Cd 含量超出世界卫生组织、美国、德国、马来西亚和韩国对 Cd 的限量标准, 其他产地样品中重金属及有害元素含量均达标。绘制矿质元素分布图谱, 可知天麻中矿质元素整体分布趋势为  $\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cd}$ , 见图1。

表2 不同产地、等级天麻矿质元素含量 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Table 2 Contents of mineral elements in *Gastrodia elata* from different origins and grades ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$

No.	常量元素					微量元素	
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu
1	5 765.38±1 039.90	1 514.41±305.37	8 213.44±956.04	628.48±25.39	404.56±5.52	207.79±3.81	2.26±0.42
2	6 423.30±799.85	1 412.32±315.15	9 711.64±1 039.18	175.53±30.76	383.30±43.90	197.83±24.90	1.76±0.30
3	7 952.33±887.08	1 712.35±462.74	9 441.66±1 036.55	234.22±24.28	468.11±49.19	197.15±28.46	1.81±0.30
4	8 725.67±364.05	1 814.74±295.11	11 263.16±904.36	193.98±28.30	515.47±64.25	218.82±28.24	2.37±0.30
5	6 417.75±615.75	1 150.63±17.32	9 352.46±77.98	396.67±16.25	825.76±4.28	196.39±0.74	0.94±0.25
6	6 306.67±220.77	1 362.09±165.63	9 793.44±885.18	230.13±33.29	465.06±27.40	173.04±4.82	1.60±0.25
7	6 898.92±1 307.13	1 633.68±182.64	9 722.36±462.32	141.93±28.31	457.10±30.60	131.17±9.65	2.68±0.47
8	7 148.50±1 206.45	1 775.90±116.07	10 120.71±291.28	231.06±20.31	446.92±48.07	146.74±11.88	2.87±0.54
9	7 055.00±755.51	1 270.54±266.26	7 854.11±1 489.66	252.93±42.69	532.32±31.73	205.39±8.73	1.47±0.43
10	5 722.41±28.41	1 127.42±72.58	9 303.37±148.28	354.56±9.77	379.41±10.21	103.37±2.28	1.69±0.07
11	6 488.88±520.31	1 542.25±93.14	8 424.57±460.81	327.16±13.62	558.83±32.31	133.14±24.32	1.73±0.44
12	7 727.30±285.81	1 426.60±298.73	8 051.40±340.07	581.02±127.05	395.79±29.30	135.17±23.20	2.44±0.27
13	7 382.14±705.22	1 537.10±47.59	8 170.64±1 530.09	248.28±35.61	698.10±70.47	221.35±10.11	2.10±0.21
14	9 059.67±902.17	955.30±88.75	7 653.46±227.66	196.45±24.69	517.03±17.21	176.95±3.88	1.66±0.29
15	8 478.50±339.47	1 757.85±65.00	8 249.82±365.38	262.47±27.95	657.31±52.77	248.81±5.86	2.05±0.17
16	7 211.00±140.02	1 436.49±138.97	7 523.90±732.00	128.26±15.24	355.79±79.88	101.09±6.55	2.44±0.29
17	8 227.67±817.71	800.72±168.41	8 683.06±581.70	470.27±3.06	583.82±37.79	159.88±9.18	2.45±1.02
18	9 029.60±557.71	1 307.40±226.44	9 773.40±1 326.85	264.30±64.99	360.41±34.71	174.42±30.31	2.75±0.57
19	7 265.33±417.09	1 322.92±58.53	9 809.71±556.44	195.01±10.83	375.15±1.88	138.43±13.89	1.82±0.27
20	8 105.25±846.26	1 579.22±57.58	9 340.25±940.86	189.78±21.61	428.39±27.42	194.90±8.76	2.52±0.25
21	7 167.33±412.81	1 054.83±73.71	8 274.98±240.67	330.60±110.66	313.49±30.99	148.49±18.03	2.32±0.39
22	6 950.13±647.07	1 483.43±110.17	8 452.73±743.12	258.68±35.38	499.04±16.85	197.53±8.37	2.45±0.47
23	6 834.88±436.34	1 406.14±82.91	8 663.09±314.01	261.16±26.24	346.90±27.92	160.53±11.54	2.66±0.15
24	7 831.00±575.87	1 604.95±142.80	9 720.87±555.36	307.03±44.53	439.43±21.14	207.39±52.52	2.57±0.63
25	7 490.50±1 101.00	942.32±199.27	9 076.18±171.97	330.93±18.47	780.15±43.38	225.54±6.82	1.18±0.29
26	6 874.50±612.98	1 146.49±14.43	8 309.28±876.61	328.22±43.45	859.93±95.65	207.00±2.93	1.30±0.13
27	7 177.50±1 173.45	1 540.60±211.49	8 919.73±871.88	277.22±61.35	573.66±96.18	177.75±8.77	2.24±0.27
28	7 406.88±726.99	1 450.20±193.18	9 331.51±174.30	408.38±107.15	642.01±74.90	189.44±8.90	1.98±0.10
29	6 685.13±662.84	1 219.97±273.95	8 824.01±419.67	321.12±56.34	525.71±108.80	133.19±12.94	1.93±0.48
30	6 381.08±945.83	1 205.80±152.73	8 981.73±429.66	205.14±61.03	502.81±48.24	172.87±5.66	1.95±0.29

续表 2

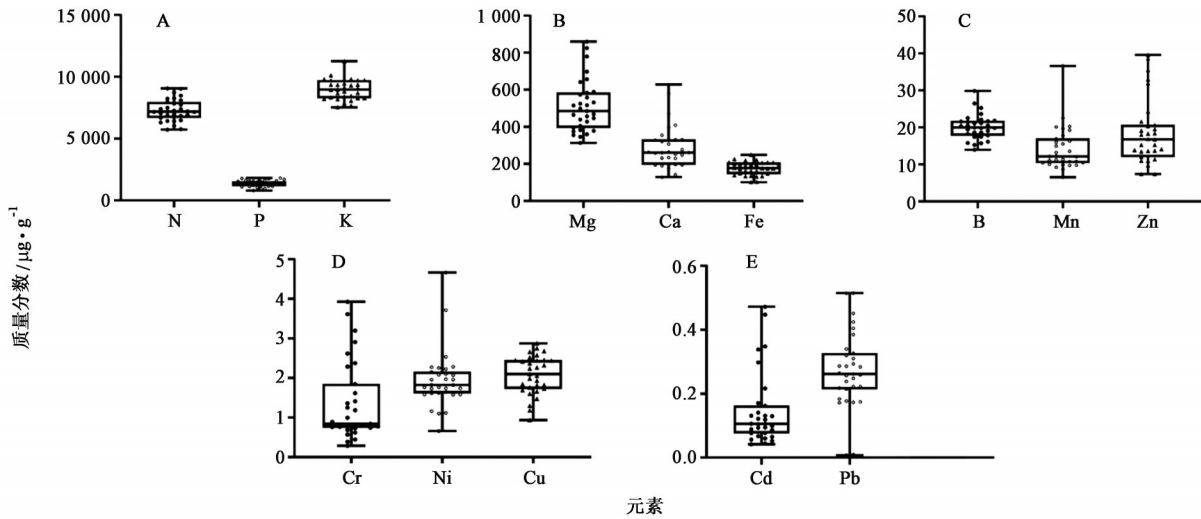
No.	微量元素				重金属元素		
	Mn	Zn	B	Ni	Cd	Pb	Cr
1	9.75±1.87	15.30±2.54	19.46±0.57	2.26±0.26	0.35±0.05	0.01±0.01	1.26±0.15
2	11.25±5.01	18.00±2.05	18.67±1.52	1.83±0.37	0.34±0.08	0.17±0.17	0.69±0.27
3	22.55±4.99	24.29±1.43	21.20±2.52	1.62±0.28	0.45±0.16	0.33±0.27	0.81±0.26
4	20.14±4.16	19.49±2.23	19.09±1.58	1.77±0.14	0.47±0.08	0.40±0.23	1.42±0.28
5	9.90±0.19	7.41±0.51	23.64±1.26	1.59±0.26	0.07±0.00	0.01±0.01	2.29±0.60
6	9.27±0.80	11.34±0.80	20.36±2.26	0.66±0.27	0.08±0.02	0.18±0.02	0.45±0.08
7	10.44±1.33	13.86±1.77	21.82±4.10	1.12±0.25	0.10±0.02	0.32±0.11	0.83±0.27
8	10.85±0.82	16.76±1.40	21.50±4.33	1.10±0.17	0.16±0.00	0.31±0.07	0.73±0.17
9	13.22±2.98	35.51±6.21	25.27±0.79	1.58±0.12	0.06±0.01	0.17±0.03	1.85±0.09
10	11.33±0.35	16.83±0.46	13.94±0.55	1.16±0.02	0.17±0.01	0.17±0.03	0.29±0.02
11	19.26±0.74	18.33±2.63	15.73±0.51	1.65±0.24	0.22±0.03	0.22±0.02	1.00±0.04
12	36.61±9.59	31.90±8.57	16.16±1.23	1.62±0.12	0.30±0.06	0.51±0.24	0.84±0.26
13	9.85±1.58	33.02±2.44	17.85±0.54	3.72±0.59	0.06±0.00	0.29±0.06	3.62±0.11
14	6.54±0.40	15.27±2.20	26.49±0.63	2.08±0.12	0.11±0.01	0.45±0.05	1.62±0.56
15	10.79±2.13	39.56±4.05	21.61±1.59	2.54±0.26	0.07±0.00	0.22±0.04	3.20±0.21
16	13.57±2.63	38.61±2.34	20.49±0.85	2.07±0.06	0.12±0.01	0.39±0.02	0.62±0.36
17	12.08±1.17	9.81±1.57	19.87±1.62	1.74±0.09	0.04±0.00	0.18±0.05	2.38±0.05
18	12.19±1.30	13.61±2.30	18.27±1.17	1.77±0.13	0.13±0.02	0.26±0.15	0.39±0.12
19	12.30±2.16	11.02±1.14	21.71±1.67	4.66±0.23	0.13±0.01	0.26±0.07	0.81±0.10
20	19.73±1.90	14.12±1.18	18.66±2.39	2.28±0.11	0.12±0.04	0.26±0.05	2.91±0.13
21	11.10±1.50	20.29±2.35	17.49±1.30	1.96±0.31	0.09±0.02	0.24±0.06	0.77±0.32
22	10.51±1.54	18.40±3.72	21.16±2.76	1.97±0.49	0.10±0.01	0.51±0.11	0.75±0.18
23	15.59±0.58	20.64±3.56	20.55±0.67	2.23±0.38	0.09±0.01	0.42±0.12	0.78±0.08
24	16.35±4.25	21.55±1.94	22.13±2.26	2.10±0.66	0.11±0.01	0.29±0.08	1.19±0.47
25	8.71±0.80	7.86±1.36	22.55±0.18	2.15±0.10	0.05±0.01	0.21±0.01	3.93±0.14
26	10.07±0.81	7.39±2.32	29.88±0.29	1.74±0.08	0.04±0.01	0.26±0.09	2.62±0.04
27	16.01±1.83	13.45±1.51	19.86±2.24	1.96±0.27	0.08±0.00	0.25±0.06	0.57±0.18
28	17.82±3.36	13.69±0.93	19.96±3.97	1.73±0.22	0.09±0.01	0.22±0.05	0.83±0.25
29	14.99±3.62	12.07±1.80	15.30±0.65	1.58±0.24	0.14±0.04	0.29±0.06	0.89±0.43
30	17.57±2.90	12.23±3.87	16.07±1.35	1.90±0.33	0.10±0.02	0.29±0.04	0.88±0.30

注:以不同产地、等级分类时,四川广元地区四级红天麻(No.30)与四川广元地区四级乌天麻(No.31)数据合并处理。

**3.2 不同产地天麻矿质元素含量比较** 不同产地天麻矿质元素含量比较发现,云南昭通天麻 P, Fe, Cd 元素平均含量最高;云南丽江天麻 K 元素平均含量最高, Mn, Ni 和 Pb 元素平均含量最低;湖北罗田天麻 Zn, Cr 元素平均含量最高, K, Ca 元素平均含量最低;安徽金寨天麻 Cu, Pb 元素平均含量最高, Mg, Cr 元素平均含量最低;陕西汉中天麻 Mg, B 元素平均含量最高, Cu, Zn, Cd 元素平均含量最低;贵州大方天麻 Ca 元素平均含量最高。不同产地天麻 P, Ca, Pb 及 Cr 元素平均含量差异无统计学意义;云南昭通天麻 Cd 元素平均含量与其他各产地天麻均存在差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 陕西汉中与安徽金

寨天麻 Cu 元素平均含量存在差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 湖北罗田天麻 Ni, Zn 和 K 元素平均含量分别与云南丽江天麻存在差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 云南昭通与贵州大方天麻 Fe 和 K 元素平均含量存在差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); Mn 和 K 元素平均含量在云南丽江与贵州大方天麻中存在差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 3。

**3.3 不同规格(变型)和等级天麻矿质元素含量比较** 不同规格(变型)天麻矿质元素含量比较发现, N, P, K, Ca, Fe, Cu, Mn, Zn, Ni 和 Cd 元素在乌天麻中富集度高, 而 Mg, B, Pb 和 Cr 元素在红天麻中富集度高。不同等级天麻矿质元素含量比较发现, N,



图中散点为不同产地、等级天麻相应矿质元素含量标记

图1 天麻矿质元素分布

Fig. 1 Distribution map of mineral elements in *Gastrodia elata*

表3 不同产地天麻矿质元素含量比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

产地	常量元素					微量元素	
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu
云南昭通	7 216.67±1 360.63 <sup>ab</sup>	1 613.46±183.09 <sup>a</sup>	9 657.48±1253.39 <sup>a</sup>	308.05±215.02 <sup>a</sup>	442.86±60.34 <sup>b</sup>	205.40±10.18 <sup>a</sup>	2.05±0.31 <sup>ab</sup>
云南丽江	6 692.96±397.87 <sup>b</sup>	1 480.58±279.02 <sup>a</sup>	9 747.24±315.22 <sup>a</sup>	249.95±106.37 <sup>a</sup>	548.71±184.85 <sup>ab</sup>	161.84±28.80 <sup>ab</sup>	2.02±0.91 <sup>ab</sup>
贵州大方	6 748.30±850.39 <sup>b</sup>	1 341.70±181.11 <sup>a</sup>	8 408.36±641.85 <sup>bc</sup>	378.92±141.41 <sup>a</sup>	466.59±92.09 <sup>b</sup>	144.27±43.26 <sup>b</sup>	1.83±0.42 <sup>ab</sup>
湖北罗田	8 032.83±885.40 <sup>ab</sup>	1 421.69±338.66 <sup>a</sup>	7 899.46±364.17 <sup>c</sup>	208.87±60.77 <sup>a</sup>	557.06±154.98 <sup>ab</sup>	187.05±64.50 <sup>ab</sup>	2.06±0.32 <sup>ab</sup>
湖北宜昌	8 156.96±722.08 <sup>a</sup>	1 252.57±326.00 <sup>a</sup>	9 401.61±524.36 <sup>ab</sup>	279.84±131.42 <sup>a</sup>	436.94±102.18 <sup>b</sup>	166.91±23.81 <sup>ab</sup>	2.39±0.40 <sup>ab</sup>
安徽金寨	7 195.84±445.31 <sup>ab</sup>	1 387.34±236.29 <sup>a</sup>	8 777.92±648.34 <sup>abc</sup>	289.37±35.35 <sup>a</sup>	399.72±84.98 <sup>b</sup>	178.49±28.40 <sup>ab</sup>	2.50±0.15 <sup>a</sup>
陕西汉中	7 237.35±275.72 <sup>ab</sup>	1 269.90±275.88 <sup>a</sup>	8 909.18±434.45 <sup>abc</sup>	336.19±54.10 <sup>a</sup>	713.94±129.81 <sup>a</sup>	199.93±20.88 <sup>ab</sup>	1.68±0.52 <sup>b</sup>
四川广元	6 995.56±1 146.54 <sup>ab</sup>	1 186.09±71.84 <sup>a</sup>	8 971.45±152.55 <sup>ab</sup>	258.57±63.37 <sup>a</sup>	533.35±52.42 <sup>ab</sup>	156.56±21.35 <sup>ab</sup>	2.06±0.31 <sup>ab</sup>
产地	微量元素				重金属元素		
	Mn	Zn	B	Ni	Cd	Pb	Cr
云南昭通	15.92±6.37 <sup>ab</sup>	19.27±3.77 <sup>bc</sup>	19.61±1.11 <sup>abc</sup>	1.87±0.27 <sup>ab</sup>	0.40±0.07 <sup>a</sup>	0.23±0.17 <sup>a</sup>	1.05±0.35 <sup>a</sup>
云南丽江	10.12±0.68 <sup>b</sup>	12.34±3.96 <sup>c</sup>	21.83±1.36 <sup>ab</sup>	1.12±0.38 <sup>b</sup>	0.10±0.04 <sup>c</sup>	0.21±0.14 <sup>a</sup>	1.08±0.83 <sup>a</sup>
贵州大方	20.11±11.51 <sup>a</sup>	25.64±9.45 <sup>ab</sup>	17.77±5.09 <sup>bc</sup>	1.50±0.23 <sup>b</sup>	0.19±0.10 <sup>b</sup>	0.27±0.16 <sup>a</sup>	0.99±0.65 <sup>a</sup>
湖北罗田	10.19±2.90 <sup>b</sup>	31.62±11.27 <sup>a</sup>	21.61±3.62 <sup>ab</sup>	2.60±0.78 <sup>a</sup>	0.09±0.03 <sup>c</sup>	0.34±0.10 <sup>a</sup>	2.27±1.39 <sup>a</sup>
湖北宜昌	14.08±3.77 <sup>ab</sup>	12.14±2.06 <sup>c</sup>	19.63±1.55 <sup>abc</sup>	2.61±1.39 <sup>a</sup>	0.11±0.04 <sup>bc</sup>	0.24±0.04 <sup>a</sup>	1.62±1.21 <sup>a</sup>
安徽金寨	13.39±3.01 <sup>ab</sup>	20.22±1.32 <sup>bc</sup>	20.33±2.00 <sup>abc</sup>	2.07±0.13 <sup>ab</sup>	0.10±0.01 <sup>c</sup>	0.37±0.12 <sup>a</sup>	0.87±0.21 <sup>a</sup>
陕西汉中	13.15±4.44 <sup>ab</sup>	10.60±3.44 <sup>c</sup>	23.06±4.71 <sup>a</sup>	1.90±0.20 <sup>ab</sup>	0.07±0.02 <sup>c</sup>	0.24±0.02 <sup>a</sup>	1.99±1.58 <sup>a</sup>
四川广元	17.40±2.67 <sup>ab</sup>	14.05±4.42 <sup>c</sup>	16.20±1.16 <sup>c</sup>	1.90±0.36 <sup>ab</sup>	0.12±0.03 <sup>bc</sup>	0.30±0.03 <sup>a</sup>	1.00±0.31 <sup>a</sup>

注:差异显著性检验为最小显著性差异法,同列不同小写字母表示差异有统计学意义( $P < 0.05$ )(表4,5同)。

K, Mg, Fe, Zn, B, Ni和Cd元素含量在各等级间均差异无统计学意义; Pb和Cr元素含量在一级品与其他等级样品间存在差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); 一级品、二级品中P元素含量差异无统计学意义, 均与三级品、四级品存在差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); 二

级、三级天麻中Ca元素含量与一级品存在差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); Cu, Mn元素含量在一级与四级品中存在差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 见表4, 5。

3.4 天麻矿质元素相关性分析 采用Person相关系数法分析各矿质元素间关系, 分析结果以热力图

表 4 不同规格(变型)天麻矿质元素含量比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

**Table 4 Comparison of mineral elements in *Gastrodia elata* of different specifications (variation) ( $\bar{x}\pm s$ )** mg·kg<sup>-1</sup>

规格	常量元素					微量元素	
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu
乌天麻	7 426.41±1 268.24	1 511.48±277.73	9 551.71±1 110.93	298.47±187.44	472.12±83.74	196.60±21.56	2.12±0.31
红天麻	7 268.41±828.76	1 348.84±251.32	8 860.03±733.78	288.00±100.53	519.33±149.79	171.62±37.58	2.07±0.52

规格	微量元素				重金属元素		
	Mn	Zn	B	Ni	Cd	Pb	Cr
乌天麻	16.79±5.85	19.24±3.26	19.19±1.34	1.95±0.30	0.35±0.13	0.25±0.16	1.11±0.33
红天麻	13.69±5.77	18.20±9.62	20.31±3.62	1.94±0.79	0.11±0.06	0.28±0.11	1.42±1.07

表 5 不同等级天麻矿质元素含量比较( $\bar{x}\pm s$ )

**Table 5 Comparison of mineral elements in *Gastrodia elata* of different grades ( $\bar{x}\pm s$ )** mg·kg<sup>-1</sup>

等级	常量元素					微量元素	
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu
一级	7 052.54±1 044.65 <sup>a</sup>	1 208.21±314.57 <sup>b</sup>	8 380.36±1 056.90 <sup>a</sup>	374.73±143.44 <sup>a</sup>	535.36±179.24 <sup>a</sup>	190.10±31.55 <sup>a</sup>	1.82±0.61 <sup>b</sup>
二级	7 329.29±1 255.38 <sup>a</sup>	1 287.15±238.92 <sup>b</sup>	9 084.46±1 244.22 <sup>a</sup>	248.29±63.11 <sup>b</sup>	479.98±184.42 <sup>a</sup>	181.16±31.73 <sup>a</sup>	1.98±0.73 <sup>ab</sup>
三级	7 205.86±1 059.79 <sup>a</sup>	1 534.49±293.08 <sup>a</sup>	9 060.74±839.81 <sup>a</sup>	248.85±70.59 <sup>b</sup>	497.03±108.30 <sup>a</sup>	164.41±38.83 <sup>a</sup>	2.15±0.50 <sup>ab</sup>
四级	7 587.95±1 010.16 <sup>a</sup>	1 544.94±278.57 <sup>a</sup>	9 440.87±1 217.18 <sup>a</sup>	284.54±148.93 <sup>ab</sup>	468.71±89.76 <sup>a</sup>	176.30±44.16 <sup>a</sup>	2.39±0.49 <sup>a</sup>

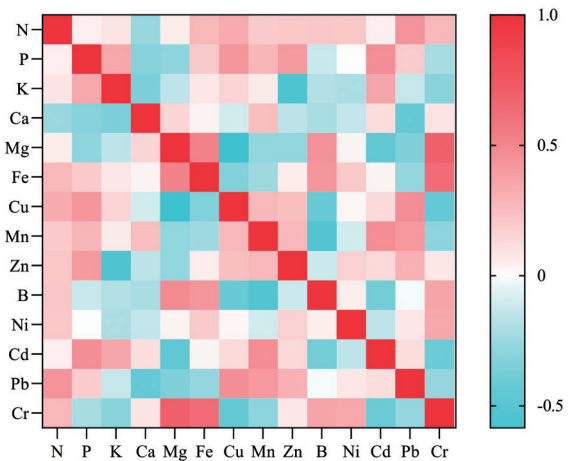
等级	微量元素				重金属元素		
	Mn	Zn	B	Ni	Cd	Pb	Cr
一级	10.85±2.24 <sup>b</sup>	20.68±10.75 <sup>a</sup>	20.29±3.05 <sup>a</sup>	2.19±0.77 <sup>a</sup>	0.11±0.11 <sup>a</sup>	0.17±0.11 <sup>b</sup>	2.04±1.12 <sup>a</sup>
二级	10.38±2.32 <sup>b</sup>	14.69±4.67 <sup>a</sup>	21.10±4.78 <sup>a</sup>	1.67±0.31 <sup>a</sup>	0.15±0.03 <sup>a</sup>	0.29±0.16 <sup>a</sup>	0.92±0.89 <sup>b</sup>
三级	15.64±4.86 <sup>ab</sup>	18.35±8.02 <sup>a</sup>	19.82±3.29 <sup>a</sup>	1.99±0.93 <sup>a</sup>	0.17±0.15 <sup>a</sup>	0.29±0.14 <sup>a</sup>	0.99±0.72 <sup>b</sup>
四级	19.22±8.47 <sup>a</sup>	20.29±8.69 <sup>a</sup>	19.25±3.36 <sup>a</sup>	1.82±0.47 <sup>a</sup>	0.19±0.14 <sup>a</sup>	0.33±0.16 <sup>a</sup>	1.17±0.70 <sup>b</sup>

形式做可视化展现。结果表明,天麻中 Fe-Mg, P-Cd, Mn-Cd, Cu-Pb, Fe-Cr 和 Mg-Cr 元素呈极显著正相关 ( $P<0.01$ ); P-Cu, P-Zn, N-Pb, K-Cd, B-Mg, B-Fe, Mn-Pb 和 B-Cr 元素呈明显正相关 ( $P<0.05$ ), 表明天麻中该类元素含量升高或降低时其他元素含量呈相应升高或降低趋势, 存在协同吸收作用。而 Mg-Cu 元素呈显著负相关 ( $P<0.01$ ), K-Zn 和 Mn-B 元素呈明显负相关 ( $P<0.05$ ), 反映 2 组元素之间具有相互拮抗抑制作用, 即某种元素含量升高或降低时其他元素含量呈降低或升高趋势, 见图 2。

### 3.5 基于 Fisher 线性函数的天麻产地判别分析

Fisher 判别可根据已知分类样本的测量指标构建正交判别函数, 通过对未知类别样品中心点计算, 将其归入距中心点最近的类别。且 Fisher 判别具有对变量重要性筛选的能力<sup>[11-12]</sup>。

采用 SPSS 24.0 软件对 8 个产地 126 份天麻样品进行 Fisher 判别分析, 分别建立 8 个产地的 Fisher 判别分类函数(判别模型)。 $Y_{1\text{云南昭通}} = -116.903 + 0.002X_N + 0.010X_P + 0.009X_K + 0.053X_{Ca} - 0.003X_{Mg} + 0.114$



相关性分析结果以热力图形式展现, 正负相关性强弱以背景颜色深浅(图右示例)表示

图 2 天麻矿质元素含量相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of mineral element content in *Gastrodia elata*

$$X_{Fe} + 2.076X_{Cu} - 0.898X_{Mn} + 0.507X_{Zn} + 1.840X_B + 2.952X_{Ni} + 89.265X_{Cd} - 1.813X_{Pb} - 2.083X_{Cr}; Y_{2\text{云南丽江}} = -103.762 + 0.002X_N + 0.012X_P + 0.010X_K + 0.054X_{Ca} + 0.010X_{Mg} + 0.019X_{Fe} +$$

$$4.922X_{Cu}-0.752X_{Mn}+0.225X_{Zn}+2.086X_B+0.837X_{Ni}-11.077X_{Cd}+14.388X_{Pb}-1.796X_{Cr}; Y_3_{\text{贵州大方}} = -91.891+0.003X_N+0.005X_P+0.008X_K+0.058X_{Ca}+0.015X_{Mg}+0.037X_{Fe}+0.863X_{Cu}-0.373X_{Mn}+0.810X_{Zn}+1.669X_B+3.215X_{Ni}+5.656X_{Cd}+9.191X_{Pb}-2.903X_{Cr}; Y_4_{\text{湖北罗田}} = -106.978+0.004X_N+0.005X_P+0.007X_K+0.047X_{Ca}+0.020X_{Mg}+0.038X_{Fe}+3.171X_{Cu}-0.964X_{Mn}+1.055X_{Zn}+1.591X_B+6.838X_{Ni}-8.471X_{Cd}+20.251X_{Pb}-1.805X_{Cr}; Y_5_{\text{湖北宜昌}} = -102.887+0.004X_N+0.005X_P+0.009X_K+0.052X_{Ca}-0.007X_{Mg}+0.035X_{Fe}+4.450X_{Cu}-0.523X_{Mn}+0.118X_{Zn}+1.740X_B+6.258X_{Ni}-16.732X_{Cd}+12.814X_{Pb}-0.879X_{Cr}; Y_6_{\text{安徽金寨}} = -101.612+0.003X_N+0.006X_P+0.009X_K+0.058X_{Ca}-0.001X_{Mg}+0.070X_{Fe}+4.055X_{Cu}-0.708X_{Mn}+0.475X_{Zn}+1.819X_B+4.720X_{Ni}-20.509X_{Cd}+21.340X_{Pb}-2.841X_{Cr}; Y_7_{\text{陕西汉中}} = -102.264+0.003X_N+0.007X_P+0.009X_K+0.053X_{Ca}+0.032X_{Mg}+0.054X_{Fe}+3.641X_{Cu}-0.388X_{Mn}+0.199X_{Zn}+1.799X_B+4.112X_{Ni}-27.149X_{Cd}+16.167X_{Pb}-4.300X_{Cr}; Y_8_{\text{四川广元}} = -81.554+0.002X_N+0.004X_P+0.009X_K+0.044X_{Ca}+0.023X_{Mg}+0.053X_{Fe}+3.567X_{Cu}-0.291X_{Mn}+0.212X_{Zn}+1.283X_B+4.147X_{Ni}-20.539X_{Cd}+14.161X_{Pb}-3.840X_{Cr}。$$

由以上判别函数可知,14种矿质元素均入选,且Cd,Pb,Cr,Cu,B和Ni元素为Fisher判别函数的重要变量,在天麻产地判别中具有重要作用。

利用Fisher判别函数对126份天麻样品产地进行判别归类,回代检验中,126份样品有18份被错判,整体正确判别率为85.71%,见表6。将1份云南昭通样品产地错判为安徽金寨;2份云南丽江样品产地错判为陕西汉中;将5份贵州大方样品分别错判为湖北罗田、安徽金寨、四川广元;将3份湖北罗田样品产地错判为湖北宜昌和安徽金寨;将2份湖北宜昌样品错判为安徽金寨与陕西汉中;将1份安徽金寨样品错判为云南丽江;将4份陕西汉中样品产地错判为湖北宜昌、安徽金寨与四川广元。

**3.6 不同产地和规格(变型)等级天麻矿质元素主成分分析(PCA)** PCA作为数据简约技术,即无监督数据降维。通过数据标准化,消除变量间在数量级上的差异,计算标准化数据的相关矩阵并计算相关矩阵的特征向量、特征值和累计贡献率,确定主成分个数,计算各样品的综合函数得分,通过综合得分进行排序评价<sup>[13-17]</sup>。

根据不同产地天麻矿质元素含量比较结果与天麻矿质元素相关性分析结果,剔除无显著性差异及相关性较弱元素,将P,Mg,Fe,Cu,Mn,B,Cd,Pb和Cr元素数据进行标准化处理,采用SPSS 24.0软

表6 天麻矿质元素组合产地判别分析

Table 6 Discriminant analysis of combination of mineral elements in *Gastrodia elata* 份

产地	预测产地								合计
	云南昭通	云南丽江	贵州大方	湖北罗田	湖北宜昌	安徽金寨	陕西汉中	四川广元	
云南昭通	20	0	0	0	0	1	0	0	21
云南丽江	0	14	0	0	0	0	2	0	16
贵州大方	0	0	9	2	0	1	0	2	14
湖北罗田	0	0	0	10	1	2	0	0	13
湖北宜昌	0	0	0	0	13	1	1	0	15
安徽金寨	0	1	0	0	0	20	0	0	21
陕西汉中	0	0	0	0	1	1	12	2	16
四川广元	0	0	0	0	0	0	0	10	10

件进行主成分分析,其中抽样适合性检验(KMO)为0.642>0.600, $P<0.050$ ,满足主成分分析条件。主成分分析中前3个主成分特征值均大于1,累计贡献率达69.145%,可代表多数样品信息,故选取前3个主成分进行分析,见表7。

表7 天麻分析中旋转后主成分的特征值及贡献率

Table 7 Eigenvalues and contribution rates of the principal components after rotation in the analysis of *Gastrodia elata*

成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率高/%
$F_1$	3.470	38.556	38.556
$F_2$	1.619	17.994	56.549
$F_3$	1.134	12.596	69.145

每个主成分包含的各因子其载荷系数综合反映了所测成分对各主成分的影响,见表8。结果显示,Fe,Cr和Mg元素对主成分1有明显的正负荷;Cd,P和Mn元素是主成分2的主要决定因子,且B元素对主成分2有较强的逆负荷;Pb和Cu元素的载荷因子在主成分3中较大,是对主成分3影响较大的特征向量,说明以上元素对天麻的影响较大。

根据不同产地和规格(变型)等级天麻的主成分各因子总得分,利用权重系数计算样品综合得分,见表9。权重系数依据其方差贡献的大小计算,即各主成分的贡献率与3个主成分的总贡献率之比<sup>[18-19]</sup>。各主成分因子得分与其权重乘积之和相加,得出各天麻样品的综合得分 $F$ ,其表达式为 $F=0.5576F_1+0.2602F_2+0.1822F_3$ ,得分结果显示,道地产区云南昭通所产乌天麻样品得分集中;陕西汉中红天麻一级、二级样品得分最高;除安徽金寨外,其他产地一级品天麻得分均高于二级品。



表8 天麻中各成分旋转变换后的因子载荷矩阵

Table 8 Factor load matrix of each component in *Gastrodia elata* after rotation transformation

元素	成分		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$
Fe	0.855	0.239	-0.146
Cr	0.799	-0.161	-0.176
Mg	0.753	-0.226	-0.337
B	0.673	-0.365	0.109
Cd	-0.192	0.857	-0.079
P	0.141	0.727	0.355
Mn	-0.227	0.615	0.254
Pb	-0.068	0.079	0.852
Cu	-0.317	0.218	0.746

#### 4 讨论与结论

大量研究表明,中药材中含有丰富的矿质元素,矿质元素含量是决定中药寒凉温热四性的物质基础,与中药防病、治病、保健等功效密切相关。如K元素具有渗透调节作用,Fe, Mn, Zn和Cu等矿质元素为蛋白质和酶的重要组成部分,具有延缓衰老、抗氧化及免疫调节功能。中药材中矿质元素含量、累积量及比例已成为中药材质量评价的重要指标<sup>[20-22]</sup>。本研究测定了不同产地和规格(变型)等级天麻中14种矿质元素含量并绘制天麻矿质元素分布图谱,天麻中矿质元素含量变化趋势为K>N>P>Mg>Ca>Fe>B>Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd,可用于鉴别天麻药材。不同产地天麻样品仅P, Ca, Pb和Cr元素平均含量无显著性差异,表明天麻中P, Ca, Pb和Cr元素含量与产地关联性差。

通过相关性分析发现,天麻中不同矿质元素存在协同吸收或拮抗抑制作用。产地判别分析回代检验结果将不同产地共计126份天麻样品中的18份样品错判,明确Cd, Pb, Cr, Cu, B和Ni元素为鉴定天麻产地的代表性元素。主成分分析综合评价得分表显示,云南昭通乌天麻得分集中。因此不同规格(变型)天麻的鉴别除采用外观性状等方法外,亦可根据矿质元素含量结合主成分分析中前3个主成分进行区分,实现道地产区乌天麻的真伪鉴别。由于不同产地天麻种苗来源、种植方式和初加工方法不同,如湖北罗田地区种苗多为鄂西高海拔地区培育的红天麻,并以架棚形式种植商品麻,集中种植于海拔300 m左右的水稻田;而安徽金寨地区种苗多源于当地,种植方式为林下种植,集中分布于海拔500 m以上区域。云南昭通地区以林下仿

表9 不同产地和规格(变型)等级天麻矿质元素主成分及综合评价得分

Table 9 Main components of mineral elements and comprehensive evaluation score table of *Gastrodia elata* from different origins and specifications (variation)

No.	$F_1$ 得分	$F_2$ 得分	$F_3$ 得分	综合得分	排序
1	-0.107	0.747	-2.161	-0.200	15
2	-0.533	0.323	-1.839	-0.448	19
3	-1.507	2.400	-1.291	-0.326	16
4	-1.748	3.279	-0.605	-0.414	17
5	4.017	-0.458	-1.604	2.002	3
6	0.509	-1.100	-0.649	0.230	9
7	-1.089	-0.425	1.276	-0.522	22
8	-1.491	0.338	1.077	-0.756	25
9	2.101	-0.034	-0.066	0.841	6
10	-1.293	-2.641	-1.767	-1.684	30
11	-1.047	-0.129	-1.514	-0.594	23
12	-3.830	1.125	0.127	-1.748	31
13	1.939	1.328	0.523	1.736	5
14	1.590	-0.937	1.696	0.718	7
15	2.206	2.166	0.413	1.997	4
16	-1.904	-1.286	1.116	-1.328	29
17	1.275	-1.647	0.377	0.339	8
18	-1.360	-0.755	0.311	-0.956	28
19	-0.426	-1.163	-0.007	-0.481	21
20	-0.337	1.264	0.323	0.132	11
21	-0.917	-1.987	-0.052	-0.668	24
22	-0.624	0.494	1.980	0.074	12
23	-1.604	-0.335	1.615	-0.822	26
24	-0.459	1.008	0.876	-0.020	13
25	4.337	0.091	-0.143	2.624	1
26	4.207	0.424	0.998	2.486	2
27	-0.286	0.091	0.160	-0.190	14
28	0.343	0.297	-0.298	0.150	10
29	-0.833	-1.284	-0.648	-0.897	27
30	-0.511	-0.790	-0.541	-0.432	18
31	-0.617	-0.402	0.319	-0.449	20

野生种植乌天麻为主,采挖所得鲜天麻经蒸煮后,以低温慢火烘干;而云南丽江地区多种红天麻,种植过程中常采用松针、刨花等覆盖,鲜天麻经采收、清洗、分级后,同糯米共煮至熟透,并采用高温快速烘干。因此,不同产地天麻矿质元素含量除与遗传因素有关,同样受环境条件、种植方式及炮制方法的影响,需进一步研究。同时本研究可为不同

产地、规格(变型)和等级天麻中矿质元素与有效成分结合分析提供依据,为天麻亲缘关系及演变过程、综合品质评价、品种选育、优势品种推广等提供参考。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:59.

[2] 胡世林. 中国道地药材[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1989:260.

[3] 刘大会,龚文玲,詹志来,等. 天麻道地产区的形成与变迁[J]. 中国中药杂志,2017,42(18):3639-3644.

[4] ZHAO Y S, MA X F, FAN L L, et al. Origin of cultivated *Polygala tenuifolia* based on multi-element fingerprinting by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Sci Rep, 2017, 7(1):144-146.

[5] 贺媛媛,孙倩倩,郭波莉,等. 矿质元素指纹分析在野葛产地溯源中的应用[C]//中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十六届年会暨第十届中国食品业高层论坛论文摘要集:2019年卷. 北京:中国食品科学技术学会,2019:2.

[6] 陈松树,赵致,王华磊,等. 不同生长年限的贵州党参质量和矿质元素分析[J]. 时珍国医国药,2020,31(6):1461-1463.

[7] 李金玲,赵致,刘红昌,等. 基于主成分分析的天麻矿质元素含量研究[J]. 中国中药杂志,2015,40(6):1123-1128.

[8] 张公信,王家金,余显伦,等. 不同产区等级昭通天麻的矿质元素含量特征分析[J]. 西南农业学报,2016,29(6):1392-1397.

[9] 刘引,戴蒙,鲍五洲,等. 麻城不同产地菊花中矿质元素含量特征及其与土壤养分和有效成分的相关性研究[J]. 中国中药杂志,2021,46(2):281-289.

[10] 左甜甜,张磊,王莹,等. 中药材及饮片重金属及有害元素限量制定的探讨[J]. 药物分析杂志,2020,40(4):688-693.

[11] 唐启义,冯光明. DPS数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2007:625.

[12] 梁社往,何忠俊,熊俊芬,等. 基于稳定同位素指纹的春三七主根产地判别研究[J]. 中国中药杂志,2021,46(3):560-566.

[13] GAO F Y, XU Z H, WANG W Z, et al. A comprehensive strategy using chromatographic profiles combined with chemometric methods: application to quality control of *Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc [J]. J Chromatogr A, 2016, 1466:67-75.

[14] GRANATO D, SANTOS J S, ESCHER G B, et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: a critical perspective [J]. Trends Food Sci Technol, 2018, 72:83-90.

[15] 杨冰月,胡本祥,张琳,等. 野生与栽培太白米HPLC指纹图谱及化学模式识别[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(5):187-191.

[16] 申鸽,景大山,杨飞,等. 珍珠透骨草HPLC指纹图谱及抗炎活性的谱效关系[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(12):174-180.

[17] 陈昌婕,罗丹丹,苗玉焕,等. 不同艾种质资源叶片品质的分析与评价[J]. 中国实验方剂学杂志,2021,27(9):129-136.

[18] 梅余琪,魏丽芳,邹立思,等. 超快速液相色谱-三重四级杆/线性离子阱质谱法同时测定鸡血藤不同产地及商品药材中多元活性成分[J]. 中国药学杂志,2020,55(24):2012-2020.

[19] 刘松鑫,宫瑞泽,王泽帅,等. 基于主成分分析和判别分析对头茬茸和二茬茸化学成分的对比如研究[J]. 药物分析杂志,2021,41(2):236-243.

[20] 刘圣金,乔婷婷,马瑜璐,等. ICP-OES/ICP-MS技术研究桔矾及其伪品的差异特征元素及无机元素含量分布[J]. 中国实验方剂学杂志,2019,25(5):1-7.

[21] 金乾,李莹,肖芳,等. 不同产地、不同海拔地区的甘松地上部分无机元素的多维统计分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(13):54-61.

[22] 郑雷,郭玉海. 不同种质肉苁蓉矿质元素分析[J]. 光谱学与光谱分析,2019,39(12):3921-3924.

[责任编辑 顾雪竹]