

基于矿质元素指纹分析技术的烟叶产区判别

Producing area discrimination of tobacco leaves based on mineral element fingerprinting technology

孙九喆¹ 童治军² 李萌³ 杨宗灿¹ 徐永明¹
SUN Jiu-zhe¹ TONG Zhi-jun² LI Meng³ YANG Zong-can¹ XU Yong-ming¹
陈丹⁴ 王旭东³ 杨金初¹ 张轲⁴
CHEN Dan⁴ WANG Xu-dong³ YANG Jin-chu¹ ZHANG Ke⁴

(1. 河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南 郑州 450000; 2. 云南省烟草农业科学研究所烟草行业烟草生物技术育种重点实验室, 云南 昆明 650021; 3. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 河南 郑州 450000; 4. 云南省烟草质量监督检测站, 云南 昆明 650106)

(1. *Technology Center, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China*; 2. *Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Key Laboratory of Tobacco Biotechnological Breeding, Kunming, Yunnan 650021, China*; 3. *School of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450000, China*; 4. *Yunnan Tobacco Quality Inspection & Supervision Station, Kunming, Yunnan 650106, China*)

摘要:目的:探讨应用矿质元素指纹分析技术进行烟叶产区判别的可行性,筛选出可判别烟叶产区的有效指标,构建烟叶产区判别模型。方法:利用电感耦合等离子体—质谱法(ICP-MS)同时测定 11 个产地烟叶 20 种矿质元素含量,并对数据进行方差分析、聚类分析、主成分分析及判别分析。结果:16 种元素含量在产地间差异显著,主成分分析得到 6 个主成分,其累计方差贡献率超过 89%;应用逐步判别筛选出 K、Mn、Se 及 Ba 4 种元素指标,建立了西南烟区和长江中上游烟区的烟叶产区判别模型,该模型可对烟叶产区进行准确判别。结论:不同产地烟叶矿质元素含量差异显著,K、Mn、Se 及 Ba 4 种元素是烟叶产区判别的重要指标,矿质元素指纹分析技术可用于烟叶产区判别。

关键词:矿质元素;烟草;指纹分析;产区判别

Abstract: Objective: This paper discusses the feasibility of using mineral element fingerprinting technology of to identify tobacco producing areas, screens out the effective indicators, and constructs the discrimination model of tobacco producing areas.

Methods: The contents of 20 mineral elements in tobacco leaves from 11 producing areas were simultaneously determined by ICP-MS, and the data were analyzed by variance analysis, cluster analysis, principal component analysis and discriminant analysis.

Results: The contents of 16 elements were significantly different among producing areas, and principal component analysis resulted in 6 principal components, with the cumulative variance contribution of 89.253%. Using linear discriminant analysis, four elements mineral, K, Mn, Se and Ba, were screened as the effective indicators to discriminate the geographical origin of tobacco leaves. The established discriminant model could accurately distinguish tobacco leaf samples from different tobacco producing areas. **Conclusion:** Significant differences were showed in the contents of mineral elements in tobacco leaves from 11 producing areas. Four elements, K, Mn, Se and Ba, are important indicators for distinguishing tobacco producing areas. Mineral element fingerprinting technology can be used for distinguishing tobacco producing areas.

Keywords: mineral element; tobacco; fingerprinting; origin discriminant

基金项目:云南省烟草专卖局(公司)重点项目(编号:2020530000241034);河南中烟工业有限责任公司科技计划项目(编号:ZW2015012)

作者简介:孙九喆,男,河南中烟工业有限责任公司高级工程师,硕士。

通信作者:杨金初(1987—),男,河南中烟工业有限责任公司高级工程师,硕士。E-mail: yjinchu@163.com

张轲(1982—),男,云南省烟草质量监督检测站农艺师,博士。E-mail: swukirk@126.com

收稿日期:2022-11-09 **改回日期:**2023-02-26

中国烤烟栽培范围广泛,受地形地貌、气候与土壤的影响,不同产区相同烟草品种在香型风格、化学成分及感官质量方面存在较大差异,在卷烟配方中的应用也不同^[1]。目前,烟草产区鉴别主要依赖外观形态和感官评吸,具有较大的主观性和不确定性^[2]。魏春阳等^[3]将分形维数作为参数对不同产地烟叶样品进行颜色相似性分类,发现不同产地的烟叶颜色具有明显差异;段焰青等^[4-5]以近红外光谱技术为基础构建了烟叶产地分类判别模型,可对不同产地烟叶进行高效鉴别;刘雷等^[6]对凉山和宜宾 11 个县的烤烟烟叶中挥发性物质进行了聚类分析,发现烟碱、法尼基丙酮、棕榈酸等相对含量较高且较稳定的特征挥发性物质可用于烟叶的产地识别;Gajek 等^[7]利用常规化学成分与朴素贝叶斯分类算法相结合建立了烟叶产地判别模型,该模型可较好地反映烟叶化学成分源于不同产地的差异性。然而,烟叶加工流程较多,多数可用于产地判别的特征指标容易在烟叶加工过程中发生变化,可能造成烟叶产地判别时有效信息丢失和效果不佳等问题^[8-9]。

烟草作为一种植物,其生长所需的矿质元素主要是从其产地土壤中吸取。研究表明,植物中的矿质元素含量与其产地土壤的矿质元素含量存在极强的相关性^[10-11],而不同地区土壤中所含的矿质元素差异显著且相对恒定^[12-13],植物中的矿质元素在加工、贮藏过程中也相对稳定^[14-15],因此矿质元素被广泛应用于植源性农产品产地溯源和品质鉴定。在食品、畜牧、中药等领域的研究^[16-21]显示,基于矿质元素指纹分析技术可对不同产地的样品进行准确区分。目前关于烟叶中矿质元素的研究主要集中于烟草生长及烟叶品质方面^[22-23],尚未见利用不同烟叶矿质元素差异性分析判别烟叶产地的报道。

西南烟区及长江中上游烟区是中国重要的优质烤烟产区,其烟草栽培面积占中国烟草栽培面积的 60% 以上^[24]。西南烟区及长江中上游烟区部分产地烟叶香型均以清甜香为主^[25],依据感官评吸很难进行准确判别。研究拟应用电感耦合等离子体一质谱法(ICP-MS)测定西南烟区及长江中上游烟区共 11 个产地的代表性烟叶中 20 种元素含量,尝试通过主成分分析和逐步判别模型建立烟叶产区判别模型,以期对烟叶产区的判别提供新的技术手段。

1 材料与方 法

1.1 材 料

烟叶样品:河南中烟有限责任公司提供的西南烟区(云南、贵州)及长江中上游烟区(重庆、四川)11 个产地的 2021 年云烟 87 C3F 初烤烟叶,详细信息见表 1。

表 1 样品信息

Table 1 Sample information

样品编号	产地	样品编号	产地
1	云南曲靖马龙	7	贵州毕节大方
2	云南大理祥云周家	8	重庆黔江
3	云南红河泸西	9	重庆巫山
4	云南文山马关	10	四川凉山会理
5	云南临沧沧源	11	四川攀枝花米易
6	贵州遵义正安		

1.2 仪器与设备

ICP-MS:NexION 1000 型,美国 PerkinElmer 公司;微波消解仪:MarsX 型,美国 CEM 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 烟草中多种矿质元素测试条件 参照 GB 5009.268—2016 的第一法。

1.3.2 数据处理 对数据进行方差分析、相关性分析、聚类分析、主成分分析和逐步判别分析。

2 结果与分析

2.1 不同产地烟叶矿质元素含量组成差异

由表 2 可知,除 Be、Na、Cu 及 Ag 元素外,剩余 16 种元素含量在不同产地间均存在显著差异($P < 0.05$)。这可能与当地土壤矿质元素含量有关,这些含量差异显著的元素可用作产地判别模型的构建。

2.2 矿质元素相关性分析

由表 3 可知,20 种矿物元素的相关系数绝对值与相关性成正比。烟叶中部分元素含量呈显著正相关,如 K 与 Be、Mn、Fe 与 V、Sr 与 Co 等,烟草对这些元素的吸收具有协同促进作用。矿质元素含量存在不同程度的相关性,可以通过降维的方式简化鉴别指标,从而提高鉴别效率。

2.3 不同产地矿质元素聚类分析

由图 1 可知,11 个产地的烟叶聚为两个分支:重庆(黔江、巫山)与四川(凉山、攀枝花)烟叶为一支,云南(曲靖、大理、红河、文山、临沧)与贵州(遵义、毕节)烟叶聚为另一支。两个分支分别对应了长江中上游烟区和西南烟区,表明应用矿质元素指纹分析判别烟叶产地具有较好的可行性。

2.4 不同产地烟叶矿质元素含量主成分分析

由表 4 可知,89.253% 总方差来源于前 6 个主成分。第 1 主成分与 V、Fe 的含量高度正相关,第 2 主成分与 Se、K、V、Fe 及 Tl 的含量高度正相关,第 3 主成分与 Ca、Zn 和 Mo 的含量高度正相关,第 5 主成分与 Li、Mn 的含量高度正相关。

2.5 不同产区烟叶矿质元素含量判别分析

由不同产地烟叶矿质元素含量的聚类分析和主成分

表 2 不同产地烟叶 20 种矿质元素组成差异

Table 2 Descriptive statistics of 20 mineral elements in tobacco leaves

元素	单位	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度	P 值
Li	mg/kg	0.56	7.14	2.441	2.244	91.896	1.553	1.246	<0.010
Be	mg/kg	0.01	0.04	0.018	0.010	57.405	1.597	2.145	0.395
Na	mg/kg	14.54	28.17	21.894	4.726	21.585	-0.078	-1.158	0.235
Mg	g/100 g	0.14	0.31	0.226	0.055	24.204	-0.196	-1.110	<0.010
Al	mg/kg	64.26	290.39	116.636	69.642	59.709	1.861	3.349	0.050
K	g/100 g	1.39	2.33	1.903	0.252	13.225	-0.526	1.056	0.039
Ca	g/100 g	1.13	2.35	1.779	0.432	24.265	-0.102	-1.716	<0.010
V	mg/kg	0.12	0.55	0.251	0.137	54.450	1.232	0.882	<0.010
Mn	mg/kg	108.87	521.51	266.235	138.318	51.953	0.709	-0.932	<0.010
Fe	mg/kg	81.72	257.33	131.621	56.417	42.863	1.406	1.080	<0.010
Co	mg/kg	0.21	1.79	0.574	0.440	76.578	2.493	6.837	<0.010
Cu	mg/kg	1.88	18.16	8.134	5.375	66.081	0.602	-0.910	0.241
Zn	mg/kg	15.27	66.80	34.858	15.067	43.224	0.982	0.849	0.001
Se	mg/kg	0.06	0.54	0.206	0.152	73.753	1.533	1.357	0.041
Sr	mg/kg	16.59	101.41	39.969	23.385	58.508	1.930	4.985	<0.010
Mo	mg/kg	0.02	0.35	0.169	0.117	69.157	0.555	-1.246	<0.010
Ag	mg/kg	0.01	0.07	0.018	0.018	101.528	3.089	9.929	0.200
Sb	mg/kg	0.01	0.03	0.020	0.008	41.857	0.263	-1.409	<0.010
Ba	mg/kg	9.10	35.13	20.569	9.890	48.080	0.093	-1.898	<0.010
Tl	mg/kg	0.02	0.08	0.045	0.020	43.974	0.279	-0.280	0.049

表 3 矿物质元素相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis of mineral elements

元素	Li	Be	Na	Mg	Al	K	Ca	V	Mn	Fe
Li	1.000									
Be	-0.097	1.000								
Na	-0.068	-0.294	1.000							
Mg	0.300	-0.137	0.225	1.000						
Al	-0.166	0.162	0.419	-0.116	1.000					
K	0.096	0.629 *	-0.569	-0.370	0.167	1.000				
Ca	0.371	-0.012	-0.220	-0.246	-0.340	0.180	1.000			
V	0.278	-0.004	-0.143	0.254	0.520	0.159	-0.320	1.000		
Mn	0.180	0.532	-0.061	0.218	-0.060	0.608 *	-0.041	-0.065	1.000	
Fe	0.357	-0.033	-0.121	0.246	0.549	0.166	-0.080	0.936 * *	-0.152	1.000
Co	-0.174	0.744 * *	-0.253	-0.332	-0.112	0.229	0.187	-0.235	0.089	-0.262
Cu	-0.259	-0.266	0.426	0.178	0.425	-0.108	-0.041	-0.029	-0.052	0.116
Zn	0.280	-0.060	0.168	0.165	0.385	0.216	0.556	0.259	0.118	0.493
Se	0.354	0.589	-0.501	0.205	0.235	0.615 *	-0.134	0.625 *	0.361	0.637 *
Sr	-0.107	0.500	-0.194	-0.261	-0.466	0.032	0.416	-0.636 *	0.049	-0.607 *
Mo	0.394	-0.133	-0.131	-0.420	-0.516	0.196	0.760 * *	-0.588	0.142	-0.472
Ag	-0.200	-0.231	0.192	0.074	0.388	-0.061	0.357	0.229	-0.211	0.403
Sb	0.164	-0.234	0.154	-0.014	0.139	-0.338	0.159	0.370	-0.475	0.486
Ba	-0.199	0.603 *	-0.144	0.153	-0.299	0.322	0.060	-0.463	0.647 *	-0.519
Tl	-0.021	0.586	-0.264	-0.570	0.387	0.483	0.215	0.152	-0.097	0.241

续表 3

元素	Co	Cu	Zn	Se	Sr	Mo	Ag	Sb	Ba	Tl
Li										
Be										
Na										
Mg										
Al										
K										
Ca										
V										
Mn										
Fe										
Co	1.000									
Cu	-0.285	1.000								
Zn	-0.236	0.515	1.000							
Se	0.187	-0.172	0.127	1.000						
Sr	0.859**	-0.259	-0.255	-0.145	1.000					
Mo	0.057	-0.191	0.124	-0.341	0.389	1.000				
Ag	-0.303	0.457	0.800**	-0.158	-0.331	-0.137	1.000			
Sb	-0.118	-0.200	0.182	0.066	-0.248	-0.118	0.342	1.000		
Ba	0.556	0.106	-0.082	0.084	0.633*	0.099	-0.261	-0.705*	1.000	
Tl	0.690*	0.024	0.116	0.432	0.395	0.021	-0.069	0.075	0.093	1.000

† * 为在 0.05 级别(双尾)相关性显著; ** 为在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

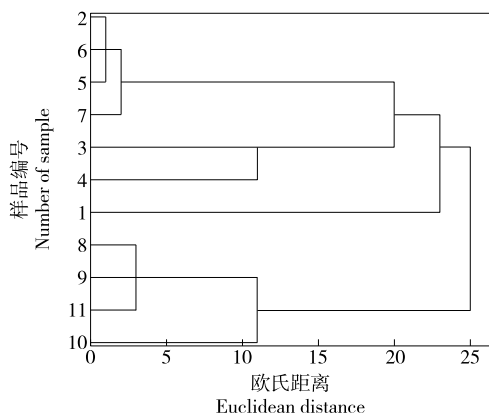


图 1 不同产地烟叶矿物元素聚类

Figure 1 Cluster analysis of mineral elements

分析结果可知,利用矿质元素指纹分析鉴别烟叶产地具有较高的可行性。应用逐步判别分析,从含量差异显著的元素中进一步筛选出 K、Mn、Se 及 Ba 4 种判别能力较高的矿质元素,建立 Fisher 线性判别模型:

$$Y_{\text{西南烟区}} = 140.33w_K + 0.917w_{Mn} - 338.38w_{Se} - 1.556w_{Ba} - 155.266, \tag{1}$$

$$Y_{\text{长江中上游烟区}} = 238.472w_K + 1.935w_{Mn} - 771w_{Se} - 3.393w_{Ba} - 531.567. \tag{2}$$

为验证该模型的准确性,随机挑选 6 个产地的烟叶进行产地判断。由表 5 可知,云南大理、文山和贵州遵义样品被判为西南烟区,四川攀枝花样品被判为长江中上

表 4 前 6 个主成分中各变量的特征向量及累计方差贡献率

Table 4 Component matrix and the cumulative variance contribution rate of each variable in the first 6 principal components

元素	主成分					
	1	2	3	4	5	6
Li	0.119	0.203	0.368	-0.397	0.606	0.214
Mg	0.353	-0.062	-0.387	0.081	0.596	0.575
Al	0.541	0.442	-0.103	0.418	-0.397	-0.132
K	-0.336	0.749	0.151	0.140	0.202	-0.481
Ca	-0.262	-0.031	0.930	0.063	0.167	0.146
V	0.680	0.620	-0.126	-0.241	0.027	0.032
Mn	-0.368	0.362	-0.226	0.325	0.630	-0.103
Fe	0.733	0.628	0.126	-0.147	0.026	0.106
Co	-0.717	0.352	0.032	0.010	-0.432	0.390
Zn	0.418	0.266	0.616	0.539	0.250	0.133
Se	0.056	0.909	-0.141	-0.202	0.214	0.090
Sr	-0.864	-0.058	0.173	0.032	-0.226	0.398
Mo	-0.487	-0.296	0.689	-0.089	0.288	-0.230
Sb	0.521	0.022	0.364	-0.418	-0.304	0.328
Ba	-0.739	0.129	-0.261	0.483	0.253	0.208
Tl	-0.275	0.654	0.293	0.054	-0.554	0.025
方差贡献率/%	25.973	19.891	13.589	11.824	11.382	6.595
累计贡献率/%	25.973	45.864	59.452	71.276	82.658	89.253

表 5 矿质元素指纹分析判别模型验证

Table 5 Verification of discriminant model based on mineral element fingerprinting

测试样品	产地	产区判别结果
S1	云南大理祥云东山	西南烟区
S2	云南文山泸西	西南烟区
S3	贵州遵义正安	西南烟区
S4	四川攀枝花米易	长江中上游烟区
S5	广西百色	非西南烟区、非长江中上游烟区
S6	河南洛阳洛宁	非西南烟区、非长江中上游烟区

游烟区,而广西百色和河南洛阳被判为非西南和非长江中上游烟区,判断均正确。

依据生态、感官及化学等综合分析结果,中国目前烟叶可分为 8 种香型,其中香型 I 为“清甜香突出,青香明显”的云南和四川(凉山、攀枝花)烟叶^[25]。目前生产上很难通过烟叶形态和感官评吸将同一品种、同一等级的烟叶进行准确区分。研究发现聚类分析可将云南和四川、重庆烟叶显著区分,应用 K、Mn、Se 及 Ba 4 个元素构建的烟叶判别模型可对云南、四川烟叶进行准确判定,从而为香型类风格相似的烟叶区分提供了新的技术手段。

3 结论

应用电感耦合等离子体—质谱法测定了 11 个产地烟叶的 20 种矿质元素含量。结果表明,11 个产地烟叶中有 16 种矿质元素含量在不同产地间存在显著差异;11 个产地的烟叶分别聚为西南烟区和长江中上游烟区两个分支,表明烟叶元素含量构成与其地理范围存在较好的对应关系,可用于产区的初步判断分析;K、Mn、Se 及 Ba 4 种元素在样品分类中起关键作用,以其建立的判别模型准确鉴别了烟叶样品的产区是否为西南烟区或长江中上游烟区,表明应用矿质元素指纹分析判别烟叶产区是可行的。后续可进一步扩大产区和产地样本,构建覆盖面更广、更为精准的烟叶产区判别方法。

参考文献

- [1] 耿莹蕊,沈欢超,倪鸿飞,等. 近红外光谱结合灰狼算法优化支持向量机实现烟叶产地快速鉴别[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(9): 2 830-2 835.
- GENG Y H, SHEN H C, NI H F, et al. Support vector machine optimized by near-infrared spectroscopic technique combined with grey wolf optimizer algorithm to realize rapid identification of tobacco origin[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2022, 42(9): 2 830-2 835.
- [2] 过伟民,蔡宏杰,王信民,等. 烤烟中部烟叶外观区域特征分布及其与外观品质和物理特性的关系[J]. 烟草科技, 2016, 49(12): 21-27.

- GUO W M, CAI X J, WANG X M, et al. Regional characteristic distribution of middle leaves and its relationship with appearance quality and physical properties of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(12): 21-27.
- [3] 魏春阳,张云鹤,宋瑜冰,等. 基于颜色分形的不同产地烟叶聚类分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 178-183.
- WEI C Y, ZHANG Y H, SONG Y B, et al. Hierarchical cluster analysis of tobacco leaves from different areas based on fractal color[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 178-183.
- [4] 段焰青,陶鹰,者为,等. 近红外光谱分析技术在烟叶产地鉴别中的应用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2011, 33(1): 77-82.
- DUAN Y Q, TAO Y, ZHE W, et al. Application of near infrared spectroscopy in determination of the producing areas of tobacco leaf[J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2011, 33(1): 77-82.
- [5] 施丰成,李东亮,冯广林,等. 基于近红外光谱的 PLS-DA 算法判别烤烟烟叶产地[J]. 烟草科技, 2013(4): 56-59.
- SHI F C, LI D L, FENG G L, et al. Discrimination of producing areas flue-cured tobacco leaves with near infrared spectroscopy-based PLS-DA algorithm[J]. Tobacco Science & Technology, 2013 (4): 56-59.
- [6] 刘雷,王俊,雷强,等. 凉山和宜宾烤烟烟叶中特征挥发性物质的聚类分析与产地识别[J]. 烟草科技, 2013(7): 58-62.
- LIU L, WANG J, LEI Q, et al. Cluster analysis of characteristic volatile component in flue-cured tobacco leaves from Liangshan and Yibin and producing area discrimination of the same [J]. Tobacco Science & Technology, 2013(7): 58-62.
- [7] GAJEK M, PAWLACZYK A, SZYNKOWSKA JOZWIK M I. Multi-elemental analysis of wine samples in relation to their type, origin, and grape variety[J]. Molecules, 2021, 26(1): 214.
- [8] 魏益民,郭波莉,魏帅,等. 食品产地溯源及确证技术研究和应用方法探析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(24): 5 073-5 081.
- WEI Y M, GUO B L, WEI S, et al. Study on the technology of tracing and confirming food origin and its application[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(24): 5 073-5 081.
- [9] 邓诗意,殷萍,张强,等. 食药同源产品产地溯源技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(14): 328-335.
- DENG S Y, YIN P, ZHANG Q, et al. Research progress of origin traceability technology for food and drug homologous products[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(14): 328-335.
- [10] 郑淑琳,石玉涛,王飞权,等. 不同茶树种质资源花器矿质元素含量分析与综合评价[J/OL]. 中国农业科技导报. (2022-12-27) [2023-01-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=NKDB20221223001&DbName=CAPJ2022>.
- ZHENG S L, SHI Y T, WANG F Q, et al. Analysis and comprehensive evaluation of the content of mineral elements in flowers of different tea germplasm resources [J/OL]. Journal of Agricultural Science and Technology. (2022-12-27) [2023-01-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=>

- NKDB20221223001&DbName= CAPJ2022.
- [11] 童成英, 何守阳, 丁虎. 茶叶产地与品质的元素、同位素鉴别技术研究进展[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1 574-1 583.
- TONG C Y, HE S Y, DING H. Research progress of element and isotope identification technology for the origin and quality of tea [J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(5): 1 574-1 583.
- [12] 陈晨, 焦妍妍, 郑祖华, 等. 西瓜甜瓜矿质营养研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017(1): 19-26.
- CHEN C, JIAO Y Y, ZHENG Z H, et al. Research progress on mineral nutrition of watermelon and melon[J]. China Vegetables, 2017(1): 19-26.
- [13] 曾婷婷, 付婷婷, 黄永川, 等. 石柱黄连及根际土壤中矿质元素特征分析[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(6): 103-111.
- ZENG T T, FU T T, HUANG Y C, et al. Analysis on character of mineral elements in Shizhu coptis chinensis franch and rhizosphere soil[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytic Chemistry, 2022, 12(6): 103-111.
- [14] 贾丁丁, 尹海波, 王丹, 等. 不同生长期龙胆药材与土壤矿质元素动态变化及关联分析[J/OL]. 中华中医药学刊. (2023-02-25) [2023-02-28]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20230224.1520.008.html>.
- JIA D D, YIN H B, WANG D, et al. Dynamic changes and association analysis of mineral element of gentiana scabra bge. and rhizosphere soil in different growth periods [J/OL]. Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine. (2023-02-25) [2023-02-28]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20230224.1520.008.html>.
- [15] 鹿保鑫, 张东杰. 基于矿物元素指纹图谱的黑龙江黄豆产地溯源[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 216-221.
- LU B X, ZHANG D J. Origin traceability of Heilongjiang soybean using fingerprint of mineral elements [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(21): 216-221.
- [16] DAVIS R, BOYD C E, WAKEFIELD J, et al. Trace element concentrations in white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* from retail stores in the EU, UK, and USA and the ability to discern country of origin with classification models[J]. Current Research in Food Science, 2021, 4: 655-661.
- [17] 李建, 黄宇思, 赖慧, 等. ICP-MS 法用于不同产地大叶茜草中 9 种微量元素的含量测定及质量评价[J]. 西北药学杂志, 2022, 37(5): 8-14.
- LI J, HUANG Y S, LAI H, et al. Determination of 9 trace elements and quality evaluation of the root of *rubia schumanniana pritz.* from different origins by ICP-MS[J]. Northwest Pharmaceutical Journal, 2022, 37(5): 8-14.
- [18] 白扬. 内蒙古放牧和舍饲牛肉稳定同位素与矿物质元素溯源研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021: 19-27.
- BAI Y. Stable Isotopes and mineral elements traceability of pasturing and barn feeding cattle meat in inner mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021: 19-27.
- [19] 吴圣超, 刘太昂, 葛炯, 等. 化学成分—朴素贝叶斯分类算法的烟叶产地模式识别[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2018, 46(1): 77-83.
- WU S C, LIU T A, GE J, et al. Pattern recognition of the producing areas of flue-cured tobacco based on naive bayesian classifier algorithm base on the contents of chemical components [J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 2018, 46(1): 77-83.
- [20] 杨晓忱. 宁夏富硒大米的矿物元素判别及品质评价[J]. 食品与机械, 2022, 38(4): 89-94.
- YANG X C. Mineral element discrimination of selenium-enriched rice in Ningxia and its quality evaluation[J]. Food & Machinery, 2022, 38(4): 89-94.
- [21] 柯法钧, 杨武英, 王丹, 等. 江西名茶中 10 种金属元素含量的测定[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 72-77.
- KE F J, YANG W Y, WANG D, et al. Determination of ten kind of metal elements in different varieties of Jiangxi famous tea[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 72-77.
- [22] 管庆林, 朴晟源, 张思唯, 等. 中微量元素配施对雪茄烟叶光合特性、碳氮代谢及产质量的影响[J/OL]. 作物杂志. (2022-10-24) [2022-12-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName= ZWZZ20221021004&DbName= DKFX2022>.
- GUAN Q L, PIAO S Y, ZHANG S W, et al. Effects of medium and trace elements on photosynthetic characteristics, carbon and nitrogen metabolism and yield quality of cigar tobacco leaves[J/OL]. Crops. (2022-10-24) [2022-12-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName= ZWZZ20221021004&DbName= DKFX2022>.
- [23] 刘利平, 王剑, 施友志, 等. 来凤县雪茄烟叶矿质元素与感官质量的关系分析[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(18): 100-102, 158.
- LIU L P, WANG J, SHI Y Z, et al. Analysis on the relationship between mineral elements and sensory quality of cigar tobacco leaves in Laifeng County[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(18): 100-102, 158.
- [24] 孙计平, 吴照辉, 李雪君, 等. 21 世纪中国烤烟种植区域及主栽品种变化分析[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(3): 86-92.
- SUN J P, WU Z H, LI X J, et al. Analysis of regional variation and major varieties of flue-cured tobacco planted in China in the twenty-first century[J]. Chinese Tobacco Science, 2016, 37(3): 86-92.
- [25] 罗登山, 王兵, 乔学义. 《全国烤烟烟叶香型风格区划》解析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(4): 1-9.
- LUO D S, WANG B, QIAO X Y. Explanation of national regionalization of leaves style of flue-cured tobacco [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(4): 1-9.