

基于微量元素分析技术的 中药板蓝根和大青叶营养转运模式研究

闫峻¹, 祝溪明², 谢胜凯¹, 刘瑞萍¹, 曾远¹,
冯硕¹, 崔建勇¹, 郭冬发¹, 李晓光³

(1. 核工业北京地质研究院, 北京 100029; 2. 沈阳职业技术学院, 辽宁 沈阳 110045;
3. 湖南中核勘探有限责任公司, 湖南 长沙 410001)

摘要:采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)和电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)技术,测定不同生长时间的板蓝根和大青叶中的微量元素含量。其中,采用 ICP-MS 法测量 Cr、Co、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Dy、Li、Be、V、Ga、U、Nb、Zr、Bi、Th、Er、Yb、Y、Sc 元素,采用 ICP-OES 法测量 Fe、Al 元素。结果表明,不同生长时间的板蓝根和大青叶中,24 种微量元素含量的变化趋势存在一定的相似性。板蓝根中,24 种微量元素的含量在 7~9 月达到最低值,之后逐渐增加,11 月达到最高值;大青叶中,24 种微量元素的含量均在 8 月和 11 月达到最高值。根据微量元素含量的变化结果,初步推断大青叶的最佳采收时期为 8 月和 11 月,板蓝根为 11 月,可与大青叶同时采摘。本方法简单、快速、精密度和准确性好,为板蓝根和大青叶营养转运模式的研究奠定基础。

关键词:板蓝根;大青叶;微量元素;营养转运;电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS);电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)

中图分类号:O657.63

文献标志码:A

文章编号:1004-2997(2021)02-0181-08

doi:10.7538/zpxb.2020.0032

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Studies on Nutrient Transport Model of *Isatidis Radix* and *Isatidis Folium* Based on Trace Elements Analysis Technology

YAN Jun¹, ZHU Xi-ming², XIE Sheng-kai¹, LIU Rui-ping¹, ZENG Yuan¹,
FENG Shuo¹, CUI Jian-yong¹, GUO Dong-fa¹, LI Xiao-guang³

(1. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China;

2. Shenyang Polytechnic College, Shenyang 110045, China

3. Hunan China Nuclear Exploration Co., Ltd, Changsha 410001, China)

Abstract: Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) technologies were used to determine the contents of trace elements in *Isatidis Radix* and *Isatidis Folium* at different growth times. Among them, the contents of trace elements including Cr, Co, La, Ce,

收稿日期:2020-03-22;修回日期:2020-07-22

基金项目:国家自然科学基金项目(81703640)资助

作者简介:闫峻(1982—),男(汉族),吉林通化人,高级工程师,从事中药及天然产物来源和质量控制研究。

E-mail: cnncyanjun@163.com

通信作者:李晓光(1983—),男(汉族),河南项城人,高级工程师,从事地质学分析研究。E-mail: lixiaoguangwang@163.com

Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Li, Be, V, Ga, U, Nb, Zr, Bi, Th, Er, Yb, Y, and Sc were measured by ICP-MS, while the elements Fe and Al were measured by ICP-OES. According to the test results, the trend of the contents of 24 trace elements in *Isatidis Radix* and *Isatidis Folium* at different growth times indicated certain similarity. The contents of 24 trace elements in *Isatidis Radix* reached the lowest value between July and September, then gradually increased and reached the highest value in November. The contents of those elements in *Isatidis Folium* all reached the highest point in August and November. Based on the results of trace element content changes, the preliminary inference was made that the optimal harvest time for *Isatidis Folium* is August and November, and the optimal harvest time for *Isatidis Radix* is November, which means that *Isatidis Folium* and *Isatidis Radix* can be plucked at the same time. The method is easy and fast, has good precision and accuracy which to some extent lays a foundation for the study of nutrient transport patterns of *Isatidis Radix* and *Isatidis Folium*.

Key words: *Isatidis Radix*; *Isatidis Folium*; trace element; nutrient transport; inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-OES)

板蓝根(*Isatidis Radix*)为十字花科植物菘蓝(*Isatis indigotica* Fort.)的干燥根,具有清热解毒、凉血利咽之功效,用于治疗温毒发斑、舌绛紫暗、疔腮、喉痹、烂喉丹痧、大头瘟疫、丹毒和痈肿等症^[1-2];大青叶(*Isatidis Folium*)是十字花科植物菘蓝的干燥叶,具有清热解毒、凉血消斑之功效,用于治疗温邪入营、高热神昏、发斑发疹、黄疸热痢、疔腮、喉痹、丹毒和痈肿等症^[1,3]。

目前,对板蓝根和大青叶的研究主要集中在有机化学成分和药理学活性,以及基于指纹图谱、谱效关系等相关研究^[4-6],而对微量元素的研究则较少。虽然微量元素在人体内的含量较低,但却是生命活动中不可缺少的一部分^[7]。研究表明,中药中的部分金属元素可以直接进入机体发挥药效作用,如铁、锌等元素是影响免疫功能的重要因素;铁、锰、锌、铜等元素与中药的抗病毒作用有关^[8]。也有研究表明,部分金属元素可与中药中的有机成分络合为配位络合物,从而增强药效。如,锰可与中药中的黄酮类成分配位形成络合物,增强中药的抑菌活性^[9]。随着中药质量控制标准的不断改进,中药中的微量元素逐渐成为质量控制的指标之一^[10]。因此,中药的多元素分析对于研究药效物质基础和质控起到重要作用。

测定微量元素常用的方法有原子吸收光谱

法、原子荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)和电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)等^[11-13]。其中,ICP-MS法和ICP-OES法具有操作简单、检出限低、测定范围宽、灵敏度高,以及可完成多元素同时分析等优点^[14-15]。

本研究拟采用ICP-MS法和ICP-OES法分析不同生长时间的板蓝根和大青叶的微量元素,探讨微量元素在植物不同部位的分布情况,并确定板蓝根和大青叶的最佳采收时间。

1 实验部分

1.1 主要仪器与装置

NexION 300D 电感耦合等离子体质谱仪; 5300DV 电感耦合等离子体发射光谱仪; 美国铂金埃尔默公司产品。

1.2 主要药材与试剂

不同生长时间的板蓝根和大青叶药材: 种植地为河北省辛集市, 2018年4月开始种植, 分别于2018年5月、6月、7月、8月、9月、10月、11月采样, 样品经北京中医药大学刘永刚教授鉴定为十字花科植物菘蓝的根和叶; 硝酸、盐酸、氢氟酸: MOS级, 天津市风船化学试剂科技有限公司产品; 多元素溶液标准溶液: 美国Inorganic Ventures公司产品; ICP分析用标准物质: 国家有色金属及电子材料分析测试中心产品; 国家一级标准物质: 地矿部物化探所、测

试所产品;水为 18.2 M Ω ·cm 超纯水;其他试剂均为分析纯。

1.3 实验条件

1.3.1 ICP-MS 条件 板蓝根和大青叶中 Cr、Co、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Dy、Li、Be、V、Ga、U、Nb、Zr、Bi、Th、Er、Yb、Y、Sc 元素采用 ICP-MS 法测量,冷却气流速 17 L/min,辅助气流速 1.2 L/min,样品气流速 0.92 L/min,驻留时间 30 ms,泵转速 20 r/min,测量时间 16 s,检测室为双模模式。

1.3.2 ICP-OES 条件 板蓝根和大青叶中 Fe、Al 元素采用 ICP-OES 法测量,射频功率 1 300 W,等离子体气流量 15 L/min,辅助气流量 0.2 L/min,雾化气流量 0.8 L/min。

1.4 样品及标准溶液的制备

1.4.1 多元素分析标准溶液的制备 采用多元素混合标准物质,母液浓度均为 10.0 mg/L,将标准溶液稀释至 5、10、50、100 μ g/L。以 10 μ g/L Rh 溶液作为在线内标对样品进行测试,在线内标溶液与样品溶液通过 1 个三通混合后进入雾化器。将 ICP 分析所用标准物质的标准溶液分别配制成 1、5、10、20 mg/L 的系列标准溶液,同时用去离子水作为空白溶液,待测。

1.4.2 板蓝根和大青叶样品的制备 将不同生长时间的板蓝根和大青叶药材干燥、粉碎、过 100 目筛,密封保存。测量前将植物样品粉末置于 80 $^{\circ}$ C 烘箱中干燥 4 h,准确称取 0.2 g 样品于聚四氟乙烯坩埚中,加入 3 mL HNO₃,盖上盖子,将坩埚放在 50 $^{\circ}$ C 电热板上加热 48 h,坩埚冷却后,打开盖子,放在 100 $^{\circ}$ C 电热板上加热,蒸至近干,再加入 0.5 mL 硝酸蒸至近干,然后加入 1 mL 硝酸和 1 mL 去离子水,盖上盖子后置于 130 $^{\circ}$ C 电热板上加热 3 h,将溶液转入聚四氟乙稀塑料瓶中,并用去离子水定容至 20 mL。

2 结果与讨论

2.1 线性关系

将 1.4.1 节制备的系列标准溶液按 1.3 节方法进行测试,得到各元素的线性回归方程,列于表 1。结果表明,各元素的线性关系良好,相关系数(r^2)在 0.999 0~1.000 0 之间。

2.2 精密度和准确性

采用国家一级标准物质(GBW07312)和

10 mg/L 的 ICP 分析用标准物质,按照 1.4.2 节方法制备标准样品溶液并进行测试,平行测定 6 次,结果列于表 2。可知,24 种金属元素的相对标准偏差在 0.82%~9.76% 之间,且测定值均在国家一级标准物质的标准值范围内,表明该方法的精密度和准确性良好。

表 1 各元素的线性回归方程

Table 1 Linear regression equations of each elements

元素名称 Element	线性回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient (r^2)
Cr	$y=0.0457x+0.0190$	0.9998
Co	$y=0.0562x-0.0095$	1.0000
La	$y=0.1521x-0.0286$	1.0000
Ce	$y=0.1474x-0.0271$	1.0000
Pr	$y=0.1896x-0.0293$	1.0000
Nd	$y=0.0508x-0.0155$	0.9999
Sm	$y=0.0273x-0.0146$	0.9996
Eu	$y=0.0821x-0.0309$	0.9999
Gd	$y=0.0286x-0.0142$	0.9997
Dy	$y=0.0489x-0.0305$	0.9995
Li	$y=0.0921x+0.0356$	0.9998
Be	$y=0.0154x-0.0010$	1.0000
V	$y=0.0536x-0.0015$	0.9998
Ga	$y=0.0259x-0.0124$	0.9996
U	$y=0.1038x-0.0506$	0.9997
Nb	$y=0.0805x-0.0150$	0.9999
Zr	$y=0.0519x-0.0035$	1.0000
Bi	$y=0.0965x-0.0675$	0.9993
Th	$y=0.0921x-0.0532$	0.9999
Er	$y=0.0567x-0.0235$	0.9996
Yb	$y=0.0541x-0.0393$	0.9990
Sc	$y=0.0637x-0.0048$	0.9998
Fe	$y=2123.4x+168.7$	0.9999
Al	$y=5334.9x+115.4$	1.0000

2.3 样品测量结果

按照 1.4.2 节方法制备板蓝根和大青叶样品溶液并进行测试,在测试中插入国家一级标准物质(GBW07104)和 10 mg/L 的 ICP 分析用标准物质作为质控样品,结果列于表 3。

由表 3 可知,板蓝根和大青叶中 24 种元素的测量结果准确性较好,质控样品测量值均在标准值的不确定度范围内。不同生长时间的板蓝根和大青叶中微量元素含量变化趋势示于图 1。可见,24 种微量元素的变化趋势具有一

表2 精密度和准确性考察结果
Table 2 Data of precision and accuracy

元素名称 Element	标准值 Standard value	测量值 Measured value						平均值 Mean value	相对标准偏差 RSD/%
		1	2	3	4	5	6		
Cr	35±3	33.1	32.9	32.0	32.5	32.9	32.3	32.62	1.29
Co	8.8±0.7	8.45	8.47	7.99	8.30	8.47	8.41	8.35	2.24
La	32.7±1.4	32.3	31.5	33.9	31.3	31.5	30.7	31.87	3.52
Ce	61±4	60.9	59.2	65.1	59.0	59.2	57.1	60.08	4.56
Pr	6.9±1.1	7.17	6.96	7.71	6.82	6.96	6.73	7.06	4.99
Nd	26±3	24.9	24.8	27.8	24.6	24.8	24.2	25.18	5.19
Sm	5.0±0.4	4.91	4.77	5.49	4.88	4.77	4.62	4.91	6.19
Eu	0.61±0.03	0.608	0.622	0.667	0.603	0.622	0.551	0.61	6.13
Gd	4.4±0.4	4.77	4.61	5.15	4.66	4.61	4.39	4.70	5.40
Dy	4.8±0.2	4.38	4.88	4.54	4.00	4.88	4.89	4.60	7.86
Li	39.0±1.0	37.8	37.4	35.9	36.7	37.4	36.1	36.88	2.10
Be	8.2±0.7	9.10	9.39	8.39	9.42	9.39	9.39	9.18	4.41
V	47±4	45.9	46.0	42.8	44.9	46.0	44.5	45.02	2.79
Ga	14.1±0.5	13.7	14.0	13.4	13.4	14.0	13.5	13.67	2.05
U	7.8±0.7	7.78	7.19	7.30	7.38	7.19	6.90	7.29	3.98
Nb	15.4±1.1	16.0	16.3	15.6	16.2	16.3	16.4	16.13	1.82
Zr	234±16	235	230	234	230	230	233	232.00	0.98
Bi	10.9±0.9	9.89	10.3	11.5	9.90	10.3	10.1	10.33	5.81
Th	21.4±1.1	22.9	21.2	21.5	21.2	21.2	20.3	21.38	3.96
Er	3.1±0.3	2.91	2.69	2.94	2.63	2.69	2.49	2.73	6.30
Yb	3.7±0.4	3.32	3.88	3.74	3.02	3.88	3.76	3.60	9.76
Sc	5.1±0.4	4.97	4.94	4.77	4.82	4.94	4.71	4.86	2.20
Fe	10.0	9.98	9.93	10.21	9.79	10.15	10.14	10.03	1.60
Al	10.0	9.97	9.99	10.21	9.79	10.06	9.94	9.99	1.39

注:Fe、Al单位为 mg/g,其他元素单位均为 $\mu\text{g/g}$

表3 板蓝根和大青叶样品微量元素测量结果
Table 3 Data of trace elements in *Isatidis Radix* and *Folium Isatidis*

元素名称 Element	样品名称 Sample	测量值 Measured value							质控样品标准值 Standard value of quality control sample	质控样品测量值 Measured value of quality control sample
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月		
Cr	板蓝根	3.46	1.65	1.57	1.17	1.21	1.64	3.25	32±3	32.9
	大青叶	1.26	2.09	1.86	3.32	2.01	3.12	4.65		
Co	板蓝根	0.192	0.127	0.121	0.096	0.126	0.171	0.216	13.2±1.0	13.1
	大青叶	0.195	0.181	0.164	0.276	0.168	0.162	0.246		
La	板蓝根	0.150	0.107	0.158	0.117	0.116	0.198	0.255	22±2	22.0
	大青叶	0.052	0.107	0.129	0.319	0.146	0.157	0.331		
Ce	板蓝根	0.322	0.216	0.325	0.238	0.226	0.393	0.565	40±3	40.7
	大青叶	0.104	0.199	0.256	0.654	0.293	0.318	0.680		
Pr	板蓝根	0.036	0.025	0.037	0.029	0.026	0.047	0.061	4.9±0.4	4.78
	大青叶	0.012	0.025	0.031	0.079	0.037	0.037	0.080		

续表 3

元素名称 Element	样品名称 Sample	测量值 Measured value							质控样品标准值 Standard value of quality control sample	质控样品测量值 Measured value of quality control sample
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月		
Nd	板蓝根	0.129	0.104	0.139	0.108	0.100	0.179	0.197	19±2	19.3
	大青叶	0.049	0.103	0.121	0.288	0.139	0.158	0.296		
Sm	板蓝根	0.030	0.024	0.029	0.026	0.023	0.038	0.044	3.4±0.2	3.38
	大青叶	0.009	0.016	0.025	0.064	0.028	0.028	0.055		
Eu	板蓝根	0.012	0.007	0.008	0.007	0.009	0.011	0.013	1.02±0.05	1.03
	大青叶	0.010	0.010	0.010	0.019	0.012	0.011	0.015		
Gd	板蓝根	0.028	0.020	0.028	0.021	0.020	0.038	0.048	2.7±0.4	2.51
	大青叶	0.009	0.017	0.025	0.057	0.024	0.026	0.055		
Dy	板蓝根	0.021	0.016	0.024	0.016	0.016	0.027	0.037	1.85±0.17	1.76
	大青叶	0.006	0.015	0.022	0.047	0.018	0.019	0.040		
Li	板蓝根	0.364	0.274	0.311	0.287	0.402	0.462	0.447	18.3±0.9	19.2
	大青叶	0.994	0.908	0.924	1.17	0.615	0.672	1.03		
Be	板蓝根	0.008	0.005	0.007	0.005	0.006	0.010	0.011	1.1±0.2	1.06
	大青叶	0.002	0.005	0.004	0.010	0.006	0.007	0.012		
V	板蓝根	0.504	0.319	0.381	0.283	0.325	0.509	0.735	94±4	97.0
	大青叶	0.180	0.320	0.295	0.721	0.367	0.414	0.793		
Ga	板蓝根	0.086	0.068	0.070	0.050	0.048	0.081	0.108	18.1±0.4	18.4
	大青叶	0.055	0.063	0.068	0.121	0.079	0.076	0.116		
U	板蓝根	0.037	0.021	0.023	0.022	0.029	0.031	0.038	0.90±0.19	0.913
	大青叶	0.017	0.017	0.022	0.033	0.019	0.020	0.026		
Nb	板蓝根	0.037	0.019	0.026	0.015	0.015	0.026	0.039	6.8±1.4	6.11
	大青叶	0.009	0.017	0.015	0.036	0.019	0.019	0.041		
Zr	板蓝根	0.132	0.088	0.144	0.109	0.118	0.163	0.286	99±11	98.2
	大青叶	0.047	0.072	0.075	0.197	0.09	0.139	0.246		
Bi	板蓝根	0.003	0.005	0.004	0.003	0.003	0.004	0.006	0.081±0.016	0.083
	大青叶	0.003	0.006	0.003	0.008	0.004	0.003	0.010		
Th	板蓝根	0.061	0.036	0.069	0.039	0.036	0.066	0.088	2.6±0.3	2.81
	大青叶	0.016	0.037	0.049	0.102	0.047	0.050	0.094		
Er	板蓝根	0.013	0.008	0.011	0.008	0.010	0.013	0.019	0.85±0.13	0.890
	大青叶	0.004	0.007	0.008	0.022	0.009	0.012	0.024		
Yb	板蓝根	0.009	0.006	0.009	0.007	0.007	0.012	0.016	0.89±0.13	0.908
	大青叶	0.004	0.005	0.007	0.017	0.008	0.008	0.016		
Sc	板蓝根	0.165	0.114	0.187	0.099	0.11	0.15	0.26	9.5±0.7	9.43
	大青叶	0.102	0.116	0.106	0.225	0.134	0.13	0.234		
Fe	板蓝根	0.296	0.221	0.261	0.174	0.184	0.344	0.504	10.0	9.98
	大青叶	0.144	0.223	0.245	0.492	0.262	0.313	0.576		
Al	板蓝根	0.141	0.117	0.165	0.105	0.112	0.199	0.272	10.0	9.97
	大青叶	0.046	0.073	0.107	0.261	0.119	0.131	0.259		

注:Fe、Al单位为 mg/g,其他元素单位均为 $\mu\text{g/g}$

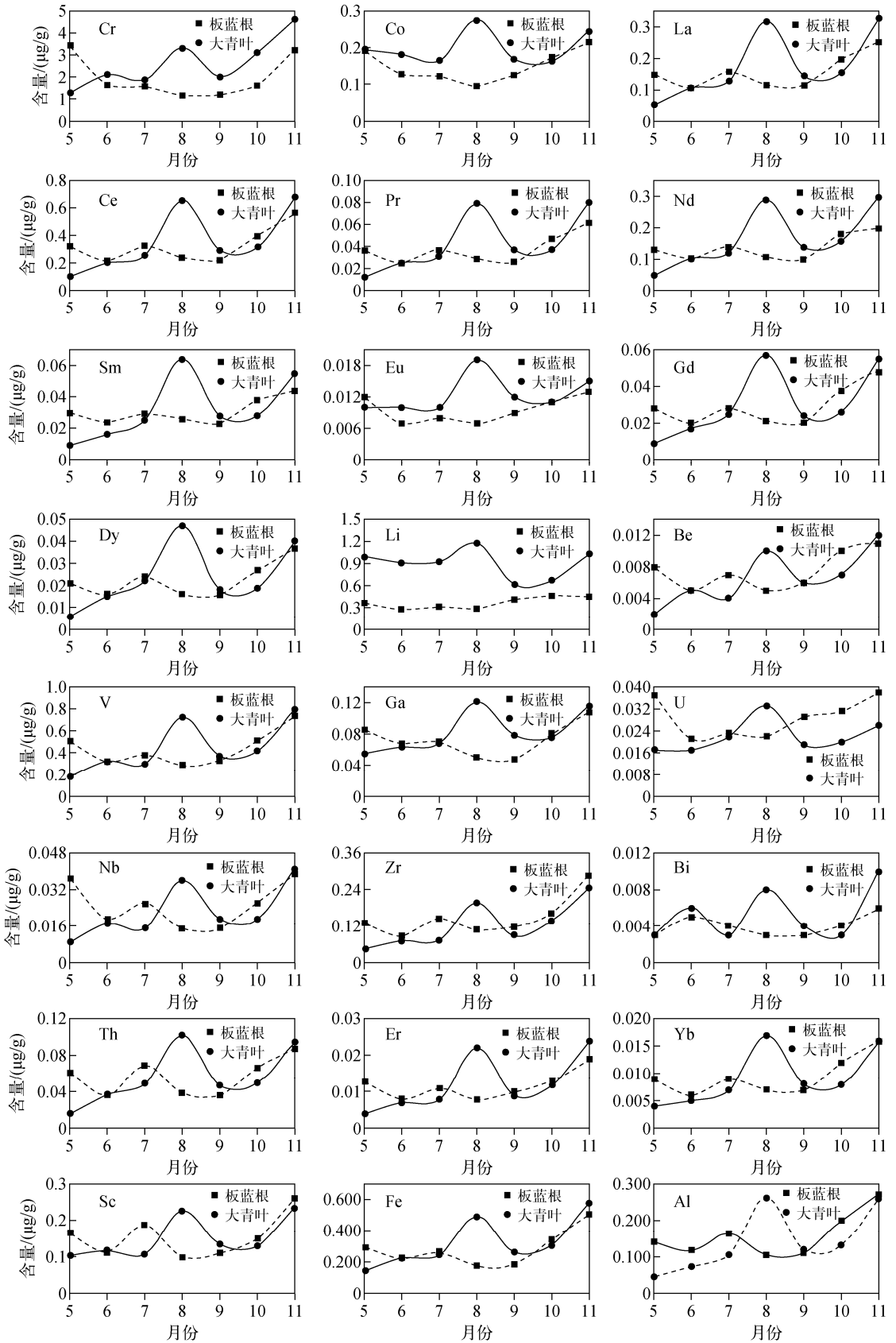


图1 不同生长时间的板蓝根和大青叶中微量元素变化趋势

Fig. 1 Change trend of trace elements in *Isatidis Radix* and *Isatidis Folium* at different growth times

定的相似性,其中板蓝根中微量元素均在8月达到最低值,之后逐渐增加,11月达到最高值;大青叶中微量元素均在8月和11月达到最高值。

3 结论

本研究采用ICP-MS法和ICP-OES法测定不同生长时间的板蓝根和大青叶中24种微量元素含量。结果表明,板蓝根和大青叶中微量元素的含量变化趋势存在一定的相似性。

在植物生长过程中,土壤中的元素首先被植物根部吸收,一部分在根部累积,另一部分输送到植物的地上部分并富集,从而形成了微量元素在植物体根、茎、叶、花、果实等器官分布的差异^[16]。在8月左右,即种植后的4个月左右,植物菘蓝中地下部分(板蓝根)在吸收了土壤中微量元素后,运送到菘蓝的地上部分(大青叶),在种植后的7个月左右,板蓝根和大青叶中微量元素达到了最高值。因此,建议大青叶的最佳采收时间为8月和11月,板蓝根的最佳采收时间为11月,可与大青叶同时采收。

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,2015.
- [2] 闫峻,赵春芳,李伯平,刘志强,郭冬发,郑重. 板蓝根化学成分及抗氧化活性的研究[J]. 质谱学报,2017,38(2):248-255.
YAN Jun, ZHAO Chunfang, LI Boping, LIU Zhiqiang, GUO Dongfa, ZHENG Zhong. Chemical constituents and antioxidant activity of radix isatidis[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2017, 38(2): 248-255(in Chinese).
- [3] 闫峻,顾娟,冯硕,姬瑞芳,全庆华,刘永刚. 大青叶化学成分级抗氧化活性研究[J]. 质谱学报,2019,40(4):381-390.
YAN Jun, GU Juan, FENG Shuo, JI Ruifang, QUAN Qinghua, LIU Yonggang. Studies of chemical constituents and antioxidant activity of *Isatidis Folium*[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2019, 40(4): 381-390(in Chinese).
- [4] MHON T, PLITZKO I, HAMBURGER M. A comprehensive metabolite profiling of *Isatis tinctoria* leaf extracts[J]. Phytochemistry, 2009, 70

(7): 924-934.

- [5] XIAO S S, BI K S, SUN Y Q. Identification of chemical constituents in the root of *Isatis Indigotica* Fort. by LC/DAD/ESI/MS/MS[J]. Journal of Liquid Chromatography, 2007, 30: 73-85.
- [6] DENG X Y, GAO G H, ZHENG S N, LI F M. Qualitative and quantitative analysis of flavonoids in the leaves of *Isatis indigotica* Fort. by ultra-performance liquid chromatography with PDA and electrospray ionization tandem mass spectrometry detection[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2008, 48: 562-567.
- [7] 仇劲,李国清,毕研文,陈宝芳,刘政波,韩金龙,王志芬. 中药材桔梗中常量元素和微量元素含量分析[J]. 农学学报,2017(7):43-46.
ZHANG Jin, LI Guoqing, BI Yanwen, CHEN Baofang, LIU Zhengbo, HAN Jinlong, WANG Zhifen. Contents of macroelements and trace elements in medicinal plant *platycodon grandiflorum* [J]. Journal of Agriculture, 2017(7): 43-46(in Chinese).
- [8] 丁航,薛雨,杨勤,马卫列,李彩虹,张志珍. 常见抗病毒中药微量元素的测定[J]. 山东化工,2019,48(11):48-49.
DING Hang, XUE Yu, YANG Qin, MA Weilie, LI Caihong, ZHANG Zhizhen. Determination of trace elements in traditional Chinese medicine[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(11): 48-49(in Chinese).
- [9] 王亚茹,李亚萌,杨娜,周柏松,郑炳珍,刘金平,李平亚. ICP-MS法测定三棱中的人体必需微量元素[J]. 特产研究,2018,40(2):42-46.
WANG Yaru, LI Yameng, YANG Na, ZHOU Baisong, ZHENG Bingzhen, LI Jinping, LI Pingya. Determination of trace elements in *Sparganium stoloniferum* Buch. Ham. by ICP-MS [J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2018, 40(2): 42-46(in Chinese).
- [10] 黄少雄,张志鹏,陈瑶,张昭. 市售关黄柏药材质量及微量元素特征分析[J]. 中国现代中药,2016,18(9):1 143-1 147.
HUANG Shaoxiong, ZHANG Zhipeng, CHEN Yao, ZHANG Zhao. Analysis of quality and trace elements characteristic in commercially available cortex *phellodendri amurensis*[J]. Mod Chin Men, 2016, 18(9): 1 143-1 147(in Chinese).

- [11] 杨惠芳,赵淑英,王朝晖. 原子吸收光谱在中药微量元素分析中的应用[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2004(S1):109-112.
YANG Huifang, ZHAO Shuying, WANG Chao-hui. Analytical progress of trace elements in Chinese traditional medicine using atomic absorption spectrometry[J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2004(S1): 109-112(in Chinese).
- [12] 隋玉兰. 原子吸收分光光度法测定中药中部分重金属及有害元素的含量[J]. 济宁医学院学报, 2011,34(3):165-166.
SUI Yulan. ICP-AES determination of inorganic elements in radix ginseng[J]. Journal of Jining Medical University, 2011, 34(3): 165-166 (in Chinese).
- [13] 奚玮,徐慧,迟少云. 电感耦合等离子体-质谱法测定当归中重金属及有害元素残留[J]. 中国药业,2013,22(16):43-45.
XI Wei, XU Hui, CHI Shaoyun. Determination of residue of heavy metals and harmful elements in angelica sinensis by ICP-MS[J]. China Pharmaceuticals, 2013, 22(16): 43-45(in Chinese).
- [14] 郭冬发,李金英,李伯平,谢胜凯,谭靖,张彦辉,刘瑞萍. 电感耦合等离子体质谱分析方法的重大进展(2005~2016年)[J]. 质谱学报,2017,38(5):599-610.
GUO Dongfa, LI Jinying, LI Boping, XIE Shengkai, TAN Jing, ZHANG Yanhui, LIU Ruiping. Major advances in inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2017, 38(5): 599-610(in Chinese).
- [15] 王哲,张春华,黄晓兰,吴惠勤. 基于元素指纹图谱的西洋参产地判别研究[J]. 质谱学报,2017,38(5):599-610.
WANG Zhe, ZHANG Chunhua, HUANG Xiaolan, WU Huiqin. Research on origin identification of American ginseng based on element fingerprint[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2017, 38(5): 599-610(in Chinese).
- [16] 傅炳森,孙爱德. 土壤-玉米体系微量营养元素锰、锌、铜、铁的分布特征[J]. 山东化工, 2018, 47(21):74-76.
FU Bingsen, SUN Aide. Distribution characteristics of the micronutrients: Mg, Mn, Cu and Fe in plant-soil system[J]. Shandong Chemical Industry, 2018, 47(21): 74-76(in Chinese).