

网络出版时间:2019-04-22 17:35

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.11.004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190422.1733.008.html>

大兴安岭笃斯越桔与其伴生植物 矿质元素特性分析

吴 燕¹, 胡琦鹏¹, 白永超¹, 郝莎莎¹, 唐仲秋², 侯智霞¹

(1 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 蓝莓研究与发展中心, 北京 100083;

2 大兴安岭地区农业林业科学研究院, 黑龙江 加格达奇 165000)

【摘 要】【目的】分析笃斯越桔伴生植物(柴桦、杜香、红豆越橘)在不同立地条件下的矿质元素特性, 研究其与笃斯越桔地上部分和地下部分矿质元素含量特征, 为进一步探究笃斯越桔生境以及伴生植物对其生长发育的影响提供参考。【方法】以大兴安岭山地、水湿地冻土、水湿地有土壤 3 种主要立地类型中的笃斯越桔及其伴生植物和土壤为试材, 应用差异及相关性分析方法, 分析笃斯越桔与其伴生植物常量元素 N、P、K、Ca、Mg 和微量元素 Fe、Mn、Zn、Cu 间的差异及相关关系。【结果】(1)笃斯越桔与其伴生植物矿质养分存在差异, 常量元素 N、Ca 含量显著高于伴生植物, Mg 元素含量显著低于伴生植物($P < 0.05$), 微量元素 Fe、Zn、Cu 含量相对较低。(2)笃斯越桔地上部常量元素含量均高于地下部, 而伴生植物地下部除水湿地冻土和水湿地有土壤类型中的 Ca、Mg 含量与山地类型中 K、Ca 含量较高外, 其余元素含量均以地上部分较高; 笃斯越桔 Fe、Mn 元素含量以地下部高于地上部, 柴桦与杜香 Mn、Cu 含量均为地下部高于地上部, 红豆 Fe、Cu 含量则表现为地下部高于地上部。(3)笃斯越桔伴生植物地上部 N、K、Mg、Mn 含量与土壤 pH 呈显著或极显著负相关。地下部 Fe 含量与土壤全 N、全 Mn 含量呈显著正相关, 而 N 含量与二者呈显著负相关; Ca、Zn、Cu 含量均与土壤 pH 呈显著或极显著正相关。(4)笃斯越桔与其不同伴生植物矿质元素含量间的相关关系存在明显差异, 其中笃斯越桔矿质元素与杜香 Mg 元素及柴桦地上部 Zn 元素相关性较高, 与红豆除地下部 Ca 元素相关性较弱外, 与其余元素均有较强的相关性。【结论】笃斯越桔伴生植物常量元素(N、P、Ca)含量低于笃斯越桔, 而微量元素(Fe、Zn)含量较高; 笃斯越桔及其伴生植物对土壤养分的利用存在差异, 且对笃斯越桔矿质元素的吸收有一定影响。

【关键词】 笃斯越桔; 伴生植物; 土壤矿质养分; 大兴安岭

【中图分类号】 S666.901

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)11-0025-09

Characteristics of mineral elements of *Vaccinium uliginosum* and its associated plants in the Daxing'an Mountains

WU Yan¹, HU Qipeng¹, BAI Yongchao¹, HAO Shasha¹, TANG Zhongqiu², HOU Zhixia¹

(1 Key Laboratory for Silviculture and Conservation Attached to China Ministry of Education, Researching and Development Center of Blueberry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 Forestry and Agricultural Academy of Daxing'an Mountains, Jagedaqi, Heilongjiang 165000, China)

Abstract: 【Objective】 This research analyzed the characteristics of mineral elements of associated plants in different site conditions and investigated features of mineral elements in aboveground and underground parts of *Vaccinium uliginosum* and its associated plants to provide reference for studying the influence of associated plants on growth and development of *V. uliginosum*. 【Method】 *V. uliginosum* and its

【收稿日期】 2018-10-19

【基金项目】 国家林业科学技术推广项目(200-621603036)

【作者简介】 吴 燕(1995—), 女, 河北张家口人, 在读硕士, 主要从事森林培育与经济林栽培研究。E-mail: wuyanparis@163.com

【通信作者】 侯智霞(1973—), 女, 河北石家庄人, 副教授, 主要从事森林培育与经济林栽培研究。E-mail: hzx2004@163.com

associated plants (*Vaccinium vitis-idaea*, *Betula fruticosa*, and *Ledum palustre*) in three main site types (meadow bog with soil layer, meadow bog permafrost soil layer and mountain land) of the Daxing'an Mountains were studied. The difference and correlation analysis methods were used to clarify the relations between major elements (N, P, K, Ca and Mg) and trace elements (Fe, Mn, Zn and Cu) of *V. uliginosum* and its associated plants. 【Result】 (1) There were significant differences in contents of mineral nutrients between *V. uliginosum* and its associated plants. The contents of Ca and N in macro elements in *V. uliginosum* were significantly higher than that in associated plants ($P < 0.05$), while the content of Mg was lower. The contents of micro elements Fe, Zn and Cu were relatively lower. (2) The contents of macro elements in aboveground part of *V. uliginosum* were higher than in underground part. As for the associated plants, except the contents of Ca and Mg in underground part of meadow bog permafrost soil layer and meadow bog with soil layer and K and Ca in mountain land were higher, the contents of other elements were higher in the aboveground part. For micro elements, the contents of Fe and Mn in underground part of *V. uliginosum* were higher than that in aboveground, so were the contents of Mn and Cu of *Betula fruticosa* and *Ledum palustre*. *Vaccinium vitis-idaea* had higher contents of Fe and Cu in underground part. (3) There were significant or extremely significant negative correlations between pH and contents of N, K, Mg and Mn in aboveground part of associated plants. There were significant positive correlations between content of Fe in underground part and total N and total Mn in soil, while content of N had significant negative correlations with both of them. The contents of Ca, Zn and Cu were significantly or extremely significantly correlated with soil pH. (4) There were significant differences in the contents of mineral elements in *V. uliginosum* and its associated plants. The correlations between mineral elements of *V. uliginosum* and Mg of *Ledum palustre* and the correlations between mineral elements and Zn of *Betula fruticosa* were higher. The correlations between mineral elements and Ca of *Vaccinium vitis-idaea* was lower, while that with other elements were stronger. 【Conclusion】 The contents of macro elements (N, P and Ca) and micro elements (Fe and Zn) in associated plants were lower than in *V. uliginosum*. Therefore, the utilization of soil nutrients by associated plants and *V. uliginosum* was different, and it had influence on the absorption of mineral elements in *V. uliginosum*.

Key words: *Vaccinium uliginosum*; associated plants; soil mineral nutrition; Daxing'an Mountains

笃斯越桔 (*Vaccinium uliginosum*) 为杜鹃花科 (Ericaceae) 越橘属 (*Vaccinium*) 多年生落叶灌木^[1], 广泛分布于我国大小兴安岭及长白山地区, 抗寒性极强, 是有较高开发利用价值的天然寒地浆果资源。笃斯越桔富含花青素等抗氧化活性物质, 在增强人体免疫力、保护视力等方面具有明显功效, 因此相关产业发展十分迅速, 消费量快速增长^[2-5]。笃斯越桔喜酸性环境, 土壤等环境因子对其生长发育有重要影响^[6-7]。当前有关笃斯越桔在不同肥力特点土壤类型的生长^[8-9]、林下土壤元素^[10-11]、菌根感染率^[12]及枝条^[13]、叶片、果实矿质养分相关关系^[14-15]等的研究较多, 但仍有较多问题尚未明确, 使其难以进行大规模人工驯化栽培。矿质元素是植物生长发育及品质提高的物质基础, 其在植物体内的吸收利用与植物本身的生理代谢以及调节机制关系密切^[16-17]。野生环境中笃斯越桔与多种植物伴生, 且在不同立

地条件下伴生植物有所不同^[18-19]。如山地类型中的伴生植物有桦木科 (Betulaceae) 桦木属 (*Betula*) 灌木柴桦 (*Betula fruticosa*) 和杜鹃花科杜香属 (*Ledum*) 具有药用、芳香等价值的资源植物灌木杜香 (*Ledum palustre*), 以及有极高开发利用价值的杜鹃花科越橘属小灌木红豆 (*Vaccinium vitis-idaea*); 水湿地冻土类型中的伴生植物有柴桦、杜香; 而水湿地有土壤类型中的伴生植物仅有红豆^[13]。自然条件下植物与其伴生植物的生长发育具有密切联系, 且种内或种间普遍存在着相互促进或抑制等作用形式^[20-21], 目前对笃斯越桔与其不同立地条件下伴生植物矿质养分间的关系尚不明确。因此, 本研究拟通过分析不同立地条件下笃斯越桔与伴生植物 (杜香、柴桦、红豆越橘) 的矿质元素特点及相互关系, 揭示伴生植物与笃斯越桔之间可能的相互作用, 以期为进一步了解笃斯越桔与其伴生植

物的生长特性以及进行合理抚育管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及样品采集

研究区位于大兴安岭笃斯越桔分布集中地带,南自加格达奇(N50°17',E124°07'),北至漠河(N53°19',E122°09'),属寒温带大陆性季风气候。冬季寒冷漫长,夏季温热短暂,年温差较大,平均气温-1.2℃,年平均降雨量为 494.8 mm,无霜期为 85~130 d,样地海拔在 480~873 m。植被类型丰富,乔木主要为落叶松(*Larix gmelinii*),灌木有笃斯越桔(*Vaccinium uliginosum*)、柴桦(*Betula fruticosa*)、

杜香(*Ledum palustre*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、红豆(*Vaccinium vitis-idaea*)、杜鹃(*Rhododendron simsii*)及山刺玫(*Rosa davurica*)等,草本植物大多为小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)和苔草(*Carex*)。土壤为棕色针叶林土,腐殖质丰富,酸性强(pH 4~5)。选取大兴安岭水湿地有土壤、水湿地冻土和山地土坡 3 种立地类型为研究区^[22]。在每种类型研究区域内随机布设 3 个 20 m×20 m 的样地,在每块样地的 4 个顶点及中心点共设 5 个 1 m×1 m 的标准样方进行调查并采集样品,同时记录各样地经纬度、海拔、主要伴生植物及分布等信息(表 1)。采集样地中笃斯越桔植株周围紧密伴生植物的试验相关部分,带回实验室用于植株矿质元素测定。

表 1 大兴安岭地区 3 种立地类型的基本信息

Table 1 Basic information of three site types in the Daxing'an Mountains

立地类型 Site type	经纬度 Location	海拔/m Elevation	主要伴生植物 Associated plant	植物根系层土壤情况 Soil condition
水湿地有土壤类型 Meadow bog with soil type	N51°36',E123°52'	721	柴桦、苔草 <i>Betula fruticosa</i> , <i>Carex</i>	苔藓+腐殖质 Moss+Humus
	N51°36',E123°52'	691	柴桦、苔草 <i>Betula fruticosa</i> , <i>Carex</i>	腐殖质+沼泽土 Humus+Bog soil
	N50°40',E123°30'	873	柴桦、杜鹃 <i>Betula fruticosa</i> , <i>Rhododendron simsii</i>	苔藓+腐殖质 Moss+Humus
水湿地冻土类型 Meadow bog permafrost soil layer type	N51°53',E123°34'	691	柴桦、杜香 <i>Betula fruticosa</i> , <i>Ledum palustre</i>	苔藓+腐殖质 Moss+Humus
	N51°36',E124°16'	691	杜香、柴桦 <i>Ledum palustre</i> , <i>Betula fruticosa</i>	苔藓+腐殖质 Moss+Humus
	N51°18',E124°16'	482	柴桦、杜香 <i>Betula fruticosa</i> , <i>Ledum palustre</i>	腐殖质 Humus
	N50°40',E123°30'	576	杜香、红豆、柴桦 <i>Ledum palustre</i> , <i>Vacciniumvitis-idaea</i> , <i>Betula f ruticosa</i>	腐殖质+含石块棕壤土 Humus+Containing stonebrown earth
	N52°49',E123°16'	583	杜香、红豆、柴桦 <i>Ledum palustre</i> , <i>Vacciniumvitis-idaea</i> , <i>Betula f ruticosa</i>	腐殖质+含石块棕壤土 Humus+Containing stonebrown earth
山地类型 Mountain land type	N51°53',E123°34'	706	杜香、红豆、柴桦 <i>Ledum palustre</i> , <i>Vacciniumvitis-idaea</i> , <i>Betula f ruticosa</i>	腐殖质+棕壤土 Humus+Brown earth

1.2 测定指标及方法

将土壤样品自然风干后,除杂过筛分级备用。土壤、伴生植物及笃斯越桔 N 元素含量采用凯氏定氮法测定,P 元素含量采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定,K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 元素含量采用原子吸收火焰法测定,上述测定均参照文献[23]的方法进行。笃斯越桔原始数据采用 Excel 2010 进行处理,对伴生植物、笃斯越桔及土壤矿质元素含量不同量纲进行标准化处理,使用 SAS 9.2 软件对数据进行统计学分析,采用单因素方差分析差异显著性($P<0.05$),Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 3 种立地类型土壤的矿质养分特性

大兴安岭地区不同立地条件下笃斯越桔根系集

中分布层土壤养分如表 2 所示。表 2 显示,水湿地有类型土壤 N、P、K 有效态含量显著高于其他立地类型($P<0.05$);Ca 含量以水湿地冻土类型最高;3 种立地类型间 Mg 含量差异不显著。水湿地冻土类型土壤 Cu 有效态含量显著高于其他立地类型($P<0.05$);山地类型 Fe 含量显著高于水湿地冻土类型,Zn 含量显著高于其他 2 种立地类型;而 3 种立地类型 Mn 含量间差异不显著。水湿地有土壤类型除 K 外的其他常量元素总量均显著高于另两种立地类型;K 含量的分布情况则相反,以山地类型含量最高,水湿地有土壤类型含量最低。微量元素 Mn、Zn 总量在不同样地类型间均差异显著,其中 Mn 含量以水湿地有土壤类型最高,山地类型最低,仅为水湿地有土壤类型的 44%;Zn 含量则以山地类型最高,水湿地有土壤类型最低,仅为山地类型的 55%。

表 2 大兴安岭地区笃斯越桔根系集中分布层土壤矿质养分有效态与总量的分布
Table 2 Soil available nutrient contents and total distribution of *V. uliginosum* root concentrated layer in the Daxing'an Mountains

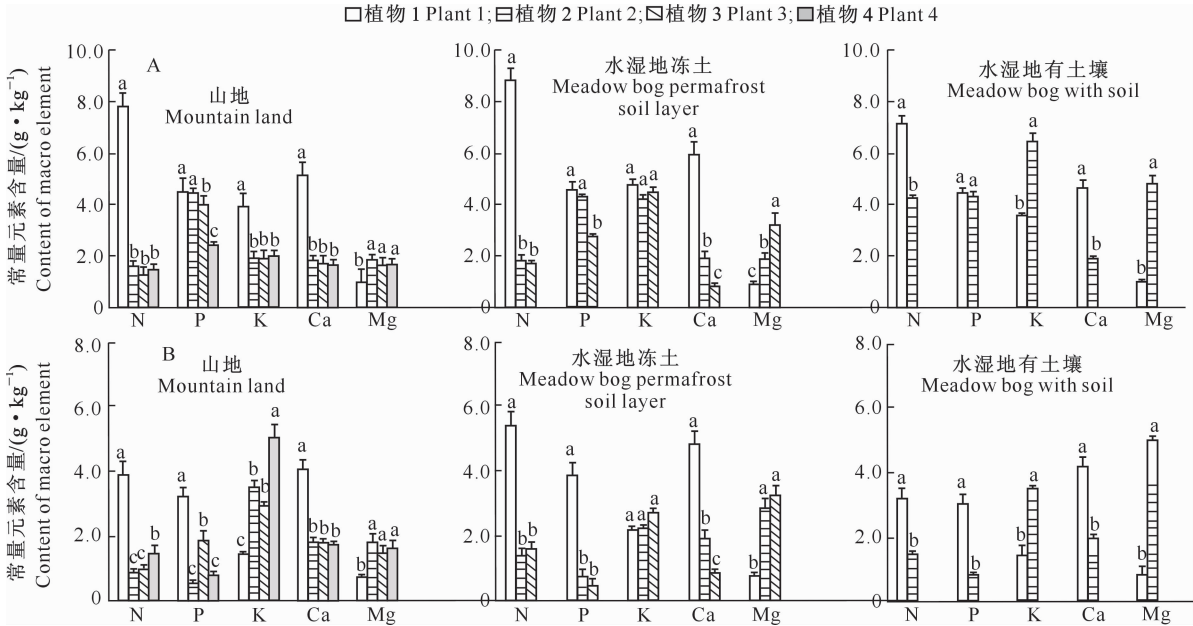
样地 Site type	项目 Item	常量元素/(g·kg ⁻¹) Macro elements					微量元素/(mg·kg ⁻¹) Micro elements			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
水湿地土壤 Meadow bog with soil type	有效态 Available	0.203 a	1.002 a	0.341 a	0.862 b	0.052 a	96.862 a	44.541 a	3.896 b	1.313 b
	总量 Total	9.932 a	3.031 a	7.352 b	8.783 a	1.971 a	1 081 c	895 a	75 c	30 b
水湿地冻土 Meadow bog permafrost soil layer type	有效态 Available	0.121 b	0.092 b	0.291 b	0.992 a	0.042 a	22.323 b	39.662 a	3.722 b	3.488 a
	总量 Total	5.263 b	2.101 b	7.563 b	5.121 b	1.831 b	1 251 a	525 b	115 b	35 a
山地 Mountain land type	有效态 Available	0.033 c	0.083 b	0.253 b	0.751 c	0.053 a	107.117 a	38.195 a	6.034 a	1.915 b
	总量 Total	4.181 c	2.162 b	10.194 a	4.371 c	1.721 c	1 190 b	398 c	136 a	30 b

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Different small letters indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 不同样地笃斯越桔与伴生植物矿质元素的分析

2.2.1 常量元素 由图 1 可见,笃斯越桔地上部常量元素含量均高于地下部,而水湿地冻土和水湿地有土壤类型中伴生植物的 Ca、Mg 含量与山地类型中伴生植物的 K、Ca 含量表现为地下部高于地上

部。3 种立地类型中笃斯越桔的 N、P、Ca 元素含量均高于其伴生植物,其中 N、Ca 含量差异显著($P<0.05$),是伴生植物的 2~4 倍;笃斯越桔与其伴生植物的地下部所有元素含量均差异显著,其中 Mg 含量均显著低于伴生植物($P<0.05$),K 含量较低且均低于伴生植物。



植物 1~4 分别代表笃斯越桔、柴桦、杜香和红豆。不同小写字母表示同一元素间存在显著差异($P<0.05$)。下同
Plant 1~4 represent *Vaccinium uliginosum*, *Betula fruticosa*, *Ledum palustre* and *Vaccinium vitis-idaea*. Different small letters indicate significant difference at $P<0.05$ between same elements. The same below

图 1 笃斯越桔及其伴生植物地上部(A)和地下部(B)的常量元素含量

Fig. 1 Contents of macro elements in aboveground (A) and underground (B) parts of *V. uliginosum* and its associated plants

2.2.2 微量元素 由图 2 可见,笃斯越桔植株地上部 Fe、Zn、Cu 元素中,除山地类型的 Cu 含量与伴生植物差异不显著外,山地类型的 Fe、Zn 含量及其他两种类型的 Fe、Zn、Cu 3 种元素含量均显著低于伴生植物($P<0.05$)。Mn 含量在山地和水湿地冻土类型中显著高于伴生植物,是伴生植物的 1.08~

1.28 倍;在水湿地有土壤类型中显著低于伴生植物,约为伴生植物的 77%。

地下部 Zn、Cu 含量表现为笃斯越桔均显著低于伴生植物($P<0.05$),其中笃斯越桔 Zn 含量仅为伴生植物的 25%~52%。Fe、Mn 含量的分布特征因立地类型而异,山地类型中,笃斯越桔 Fe 含量显

著低于伴生植物,为伴生植物的 71%~90%,Mn 含量显著高于伴生植物(1.48~1.69 倍);水湿地冻土类型中 Fe 含量显著高于伴生植物(1.34~1.43 倍),Mn 含量差异不显著;而水湿地有土壤类型中 Fe 含量差异不显著,Mn 含量显著低于伴生植物,仅为其含量的 78%。总体而言,伴生植物的 Fe、Zn、Cu 含量在山地类型中最高,Mn 含量在水湿地有土壤类型中最高。

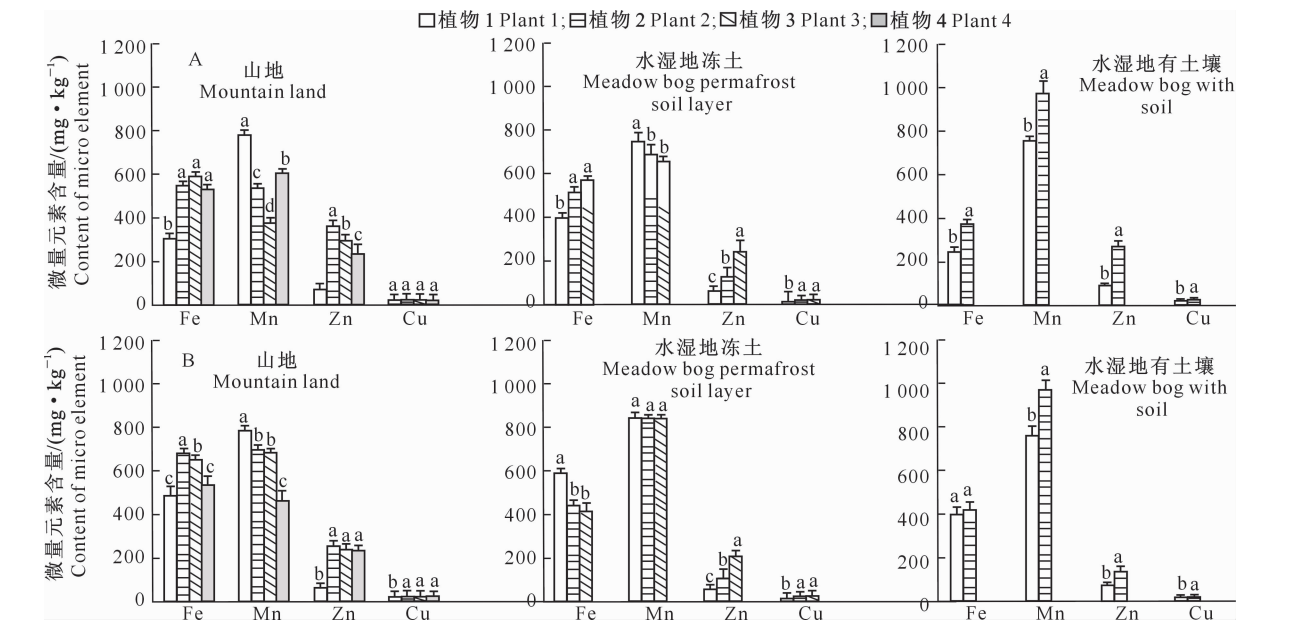


图 2 笃斯越桔及其伴生植物地上部(A)和地下部(B)的微量元素含量

Fig. 2 Contents of micro elements in aboveground(A) and underground(B) parts of *V. uliginosum* and its associated plants

2.3 伴生植物矿质元素与土壤养分的相关性 部矿质元素与土壤养分间相关关系的分析结果见表

大兴安岭地区笃斯越桔伴生植物地上部与地下 3。

表 3 大兴安岭地区笃斯越桔伴生植物矿质元素与土壤养分的相关性		Table 3 Correlation between associated plants of <i>V. uliginosum</i> and soil nutrients								
植物部位 Plant part	土壤养分 Soil nutrient	伴生植物矿质元素 Mineral elements of associated plants								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
地上部 Aboveground part	全 N Total N	-0.365	0.259	-0.564	0.289	-0.414	0.353	-0.592	0.540	0.696 *
	全 K Total K	-0.234	-0.226	-0.392	0.048	-0.214	0.189	-0.223	0.155	0.476
	全 P Total P	0.550	-0.286	0.205	0.295	0.414	-0.653	0.582	-0.138	-0.611
	全 Ca Total Ca	-0.487	0.115	-0.465	-0.228	-0.384	0.633	-0.542	0.414	0.429
	全 Mg Total Mg	-0.421	0.052	-0.632	0.369	-0.516	0.257	-0.468	0.366	0.436
	全 Fe Total Fe	0.368	0.460	0.413	0.374	0.212	-0.349	0.206	-0.331	-0.435
	全 Mn Total Mn	-0.328	0.288	-0.569	0.321	-0.396	0.293	-0.512	0.636	0.604
	全 Zn Total Zn	0.584	-0.231	0.499	0.225	0.435	-0.755 *	0.714 *	-0.457	-0.706 *
	全 Cu Total Cu	-0.290	0.155	-0.061	0.236	-0.434	0.216	-0.111	-0.749 *	-0.066
	有机质 Organic matter	-0.296	0.318	-0.523	0.485	-0.451	0.215	-0.463	0.365	0.504
地下部 Underground part	pH	-0.690 *	-0.117	-0.839 * *	0.062	-0.671 *	0.660	-0.768 *	0.385	0.699 *
	全 N Total N	-0.707 *	0.198	0.027	0.271	-0.512	0.709 *	-0.230	0.468	0.615
	全 K Total K	-0.026	-0.181	0.388	0.044	-0.341	0.202	-0.396	0.375	0.489
	全 P Total P	0.488	-0.208	0.669 *	0.327	0.282	-0.335	-0.221	-0.106	-0.321
	全 Ca Total Ca	-0.535	0.027	-0.042	-0.234	-0.444	0.618	-0.190	0.628	0.858 * *
	全 Mg Total Mg	-0.470	-0.211	0.235	0.333	-0.574	0.567	-0.405	0.373	0.416
	全 Fe Total Fe	-0.055	0.548	-0.445	0.392	0.352	-0.218	0.444	-0.636	-0.603
	全 Mn Total Mn	-0.751 *	-0.020	0.090	0.287	-0.493	0.755 *	-0.241	0.510	0.666
	全 Zn Total Zn	0.654	-0.139	0.257	0.251	0.493	-0.655	0.082	-0.580	-0.871 * *
	全 Cu Total Cu	0.105	0.109	-0.277	0.254	-0.169	-0.163	-0.015	-0.464	-0.002
	有机质 Organic matter	-0.658	0.126	0.064	0.471	-0.478	0.642	-0.245	0.291	0.515
	pH	-0.503	0.062	0.302	0.066	-0.799 * *	0.735 *	-0.590	0.737 *	0.855 * *

注：“*”和“* *”分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。下同。

Note: “*” and “* *” represent significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

表 3 显示,笃斯越桔地上部 Cu 含量与土壤全 N 及 pH 呈显著正相关,与土壤全 Zn 呈显著负相关;

N、K、Mg、Mn 含量与土壤 pH 呈显著或极显著负相关。地下部 Fe 含量与土壤全 N、全 Mn 呈显著正相关,而 N 含量与二者呈显著负相关;Cu 含量与全 Ca 及 pH 呈显著正相关,而与土壤全 Zn 呈极显著负相关;Ca、Zn、Cu 含量均与土壤 pH 呈显著或极显著正相关关系。

表 4 笃斯越桔与伴生植物杜香矿质元素的相关关系

Table 4 Correlation between mineral elements of *V. uliginosum* and associated plant *Ledum palustre*

笃斯越桔 <i>V. uliginosum</i>	杜香 <i>Ledum palustre</i>							
	Ca _s	Mg _s	N _x	K _x	Ca _x	Mg _x	Mn _x	Zn _x
K _s	0.938 ^{**}	0.907 [*]	0.684	0.902 [*]	0.849 [*]	−0.883	0.753	−0.672
Mg _s	0.635	−0.939 ^{**}	−0.977 ^{**}	0.741	0.768	−0.883 [*]	−0.927 ^{**}	0.761
Ca _s	−0.667	0.945 ^{**}	0.874 [*]	0.679	0.896 [*]	0.950 ^{**}	0.764	−0.711
N _x	−0.646	0.974 ^{**}	0.840 [*]	0.608	0.875 [*]	0.955 ^{**}	0.764	0.881 [*]
Ca _x	−0.821 [*]	0.956 ^{**}	0.815 [*]	0.857	−0.780	0.955 ^{**}	0.845 [*]	−0.794
Mg _x	−0.739	0.817 [*]	0.505	0.637	−0.742	0.865 [*]	0.528	−0.763
Mn _x	0.495	−0.656	−0.646	−0.627	0.336	−0.575	−0.924 ^{**}	0.720
Zn _x	0.544	−0.846 [*]	−0.841 [*]	−0.702	0.535	−0.794	−0.869 [*]	0.831 [*]

注:下标“S”表示植物地上部分,“X”表示植物地下部分。下同。
Note:“S” and “X” represent the aboveground and underground parts of plants. The same below.

表 5 笃斯越桔与伴生植物柴桦矿质元素间的相关关系

Table 5 Correlation between mineral elements of *V. uliginosum* and associated plant *Betula fruticosa*

笃斯越桔 <i>V. uliginosum</i>	柴桦 <i>Betula fruticosa</i>					
	N _s	Mg _s	P _s	Zn _s	Mg _x	Cu _x
N _s	−0.696 [*]	−0.749 [*]	−0.555	−0.881 ^{**}	0.846 ^{**}	−0.034
Mg _s	0.577	0.695 [*]	0.744 [*]	0.931 ^{**}	−0.856 ^{**}	−0.026
Zn _s	0.877 ^{**}	0.937 ^{**}	0.594	0.835 ^{**}	−0.790 [*]	−0.345
Cu _s	−0.406	−0.365	0.204	0.329	−0.446	0.691 [*]
P _x	−0.455	−0.570	−0.783 [*]	−0.796 [*]	0.584	−0.149
Cu _x	−0.142	−0.142	0.195	−0.288	−0.480	0.728 [*]

表 6 笃斯越桔与伴生植物红豆矿质元素间的相关关系

Table 6 Correlation between mineral elements of *V. uliginosum* and associated plant *Vaccinium vitis-idaea*

笃斯越桔 <i>V. uliginosum</i>	红豆 <i>Vaccinium vitis-idaea</i>						
	P _s	K _s	Ca _s	Ca _x	Fe _s	Mn _s	Zn _s
P _s	−0.987 ^{**}	0.523	−0.257	−0.598	−0.997 ^{**}	0.792 [*]	0.712 [*]
K _s	0.965 ^{**}	0.992 ^{**}	0.659	0.399	0.976 ^{**}	−0.834 [*]	−0.765 [*]
Ca _s	0.623	0.645	0.983 ^{**}	0.798 [*]	0.399	0.399	0.598
Fe _s	0.996 ^{**}	−0.865 [*]	−0.802 [*]	−0.812 [*]	−0.982 ^{**}	0.987 ^{**}	−0.923 ^{**}
Mn _s	0.932 ^{**}	0.762 [*]	0.865 [*]	0.579	0.987 ^{**}	0.976 ^{**}	−0.596
Zn _s	0.645	0.231	0.264	0.369	0.489	0.489	0.994 ^{**}
Zn _x	−0.788 [*]	−0.843 [*]	−0.876 [*]	−0.923 [*]	−0.879 [*]	−0.923 ^{**}	0.933 ^{**}

从表 4~6 可见,总体而言,笃斯越桔矿质元素与杜香 Mg、地下部 N 元素相关性较高,与杜香地下部 K 元素相关性较低;而与柴桦地上部 Zn 和 Mg 元素相关性较高;与红豆除地下部 Ca 元素相关性较弱外,与其余元素均有较强相关性。整体来看,笃斯越桔与其伴生植物常量元素间有较明显的拮抗关系,而与微量元素间有较明显的协同关系。

3 讨 论

3.1 伴生植物与笃斯越桔矿质养分的差异

研究表明,柴桦、杜香及红豆越橘在大兴安岭地

2.4 笃斯越桔与其伴生植物矿质元素间的相关性

大兴安岭地区笃斯越桔与其伴生植物矿质元素的相关关系显示,不同伴生植物对笃斯越桔矿质元素的影响不同,表 4~6 列出了一些相关性较高的分析结果。

区广泛分布,且杜香、红豆越橘微量元素含量较高,具有较大的开发利用价值^[24-25]。矿质元素与植物的各种生理代谢过程密切相关,对其生长发育有重要作用,是植物生命活动中必不可少的因素^[26-27]。本研究发现,笃斯越桔 N 含量(3.2~8.8 g/kg)显著高于其伴生植物(1.0~4.3 g/kg);伴生植物地上部常量元素含量在山地与水湿地冻土类型之间差异不显著,地下部差异总体显著,而笃斯越桔 2 种立地类型的地上部常量元素含量间和地下部常量元素含量间均存在显著差异;笃斯越桔与伴生植物的微量元素含量在不同立地条件下差异较大,且不同立地条

件下笃斯越桔的伴生植物不同。植物矿质元素主要来源于土壤,且根系对土壤养分的吸收为其生长发育提供了必要的矿质元素^[17]。本研究中伴生植物与土壤养分因子的相关性主要集中在土壤 pH 上,且地上部矿质元素含量与土壤 pH 呈负相关,而地下部呈正相关。已有研究表明,笃斯越桔地上部主要受土壤有机质及 pH 的影响,地下部受土壤 pH 及全 Mn 含量的影响,且与土壤 pH 呈负相关^[8,14],说明笃斯越桔尽管与柴桦、杜香及红豆有分布的相容性,但仍有各自的适应特色^[28],需要继续进行深入的试验研究。

3.2 伴生植物与笃斯越桔矿质养分的相关关系

有研究指出,笃斯越桔矿质元素含量在水湿地冻土类型中较高(伴生植物为柴桦、杜香),水湿地有土壤类型中较低(伴生植物为柴桦)^[12]。本研究证明,笃斯越桔与其伴生植物的矿质元素含量存在明显的相关性,但相关性存在一定差异。其中杜香与笃斯越桔 K 含量呈正相关,且地下部 K 含量高于地上部,笃斯越桔中 K 含量与土壤有效 K 含量无明显关系,推测杜香能更有效地利用 K 元素,且与笃斯越桔的 K 元素有协同关系。Zn 元素不仅影响植物生理生化反应,也是许多功能蛋白的重要组成,研究表明,菌根真菌侵染会抑制笃斯越桔对 Zn 的积累^[12,14],而本研究中柴桦、杜香及红豆 Zn 含量均与笃斯越桔 Zn 含量呈正相关,说明笃斯越桔与其伴生植物对 Zn 有协同作用,可以促进其对 Zn 的吸收。笃斯越桔 Mg 含量(0.7~2.0 g/kg)显著低于其伴生植物(1.6~5.0 g/kg)及其他植物(葡萄、常山胡柚、四季竹等,2.1~6.7 g/kg)^[29-32]。研究表明,减少叶片 Mg 含量可增加笃斯越桔结果枝的新梢生长量^[13],本研究中笃斯越桔与柴桦、杜香 Mg 含量间有明显负相关关系,而自然种群格局大多服从聚集分布,主要优势植物由其生物学特性、生境异质性等因素决定,且随时间推移,种间关系逐渐稳定^[33],竞争关系逐渐减弱^[34],植物间趋于和谐共处,因此伴生植物对笃斯越桔的生长发育具有一定的促进作用。

3 种立地条件下,笃斯越桔与伴生植物的 Mn 含量均较高,其中杜香含量相对较低(374.43~740.5 mg/kg),但均高于其他植物(苹果、毛黄庐、苔藓等的 Mn 含量为 80~200 mg/kg)^[35-36],除水湿地有土壤类型外,笃斯越桔 Mn 含量均高于伴生植物,且与土壤 Mn 含量无明显关联。研究表明,Mn 含量过高可能会引起植物中毒^[36-37],危害植物叶片组织,阻碍蛋白质的合成利用,还会抑制 Ca、Fe 等

元素的吸收^[38-39],但笃斯越桔(750~860 mg/kg)与其伴生植物(370~980 mg/kg)均可正常生长。大兴安岭地区土壤 Mn 含量与一般土壤差异较小^[40],说明本研究中几种大兴安岭地区植物表现出的高 Mn 特性可能与植物本身生长特性有关。在土壤有效态 Mn 含量较高的立地条件下,柴桦与杜香的 Mn 含量较高,而笃斯越桔 Mn 含量比较稳定。植物体内的 Mn 累积量随着环境 Mn 含量的提高而增加,一旦累积量达到上限,植物则通过一定的外排作用将多余的 Mn 排出体外,从而降低 Mn 的毒害作用^[41],而 Mn 耐受性高的植物有抵御 Mn 毒害的相应防御机制,使其地上部虽积累高浓度的 Mn 但不影响正常生长发育^[42],因此推测笃斯越桔对 Mn 的耐受性更强,但具体作用方式仍需进一步研究。

4 结 论

大兴安岭地区笃斯越桔及其伴生植物柴桦、杜香和红豆越橘矿质养分存在较大差异,除 Mg 外,笃斯越桔的其他常量元素含量均显著高于其 3 种伴生植物,其中 N、Ca 元素含量达到伴生植物的 2~4 倍,但笃斯越桔的微量元素含量较低,Fe、Zn 元素含量仅为伴生植物的 1/2~1/3;不同立地条件下笃斯越桔与伴生植物矿质元素含量不同,在土壤元素有效态 K 含量较高的立地类型中,柴桦、杜香的 K 含量也较高,Mn 含量则表现相反。笃斯越桔与其伴生植物的矿质元素存在明显的相互作用,且与不同伴生植物的相关关系不同,但二者的 Zn 元素含量间均呈正相关关系。笃斯越桔与伴生植物受土壤养分因子的影响存在差异,且主要与土壤 pH 相关明显。说明伴生植物对笃斯越桔的生长发育有一定的促进作用,所以在种植保护笃斯越桔的同时,应关注其周围的伴生植物,营造良好的小生态环境,以促进笃斯越桔的生长,从而提高其产量和品质。

[参考文献]

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社,1991:156-158.
Editorial Committee of Chinese Botany of the Chinese Academy of Sciences. Flora of China [M]. Beijing: Science Press,1991:156-158.
- [2] Gavrilova V, Kajdžanoska M, Gjamovski V, et al. Separation, characterization and quantification of phenolic compounds in blueberries and red and black currants by HPLC-DAD-ESI-MSn [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59 (8): 4009-4018.
- [3] Rodriguezmateos A, Cifuentesgomez T, Tabatabae S, et al. Procy-

- anidin, anthocyanin, and chlorogenic acid contents of highbush and lowbush blueberries [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(23): 5772.
- [4] Veberic R, Slatnar A, Bizjak J, et al. Anthocyanin composition of different wild and cultivated berry species [J]. LWT Food Science and Technology, 2015, 60(1): 509-517.
- [5] Zorenc Z, Veberic R, Stampar F, et al. Changes in berry quality of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during the harvest season [J]. Turkish Journal of Agriculture & Forestry, 2016, 40(6): 855-864.
- [6] Dhanaraj A L, Alkharouf N W, Beard H S, et al. Major differences observed in transcript profiles of blueberry during cold acclimation under field and cold room conditions [J]. Planta, 2007, 225(3): 735-751.
- [7] Liu Y, Song X, Han Y, et al. Identification of anthocyanin components of wild Chinese blueberries and amelioration of light-induced retinal damage in pigmented rabbit using whole berries [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(1): 356-363.
- [8] 王恩久, 刘春起, 韩贵杰, 等. 大兴安岭野生笃斯越桔适生立地条件研究 [J]. 林业科技, 2010, 35(5): 61-63.
- Wang E J, Liu C Q, Han G J, et al. Whortleberry suitable site conditions of Greater Khingan Range wild benedict [J]. Forestry Science and Technology, 2010, 35(5): 61-63.
- [9] 郝 斌, 何 涛, 刘 禹. 大兴安岭林区主要土壤类型肥力的关联度分析 [J]. 林业科技, 2014, 39(4): 52-54.
- Hao B, He T, Liu Y. Gray correlation analysis of the fertility of main soil types in Daxing'anling forest region [J]. Forestry Science and Technology, 2014, 39(4): 52-54.
- [10] 刘 斌, 满秀玲, 王 妍. 大兴安岭主要沼泽湿地土壤碳氮垂直分布特征 [J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(3): 89-91.
- Liu B, Man X L, Wang Y. Spatial distribution characteristics of soil organic carbon and nitrogen in main wetlands in Daxing'anling [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39(3): 89-91.
- [11] 陈英敏, 王贺新, 李根柱, 等. 长白山落叶松林下笃斯越桔群落土壤的主要矿质养分构成特征 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 325-331.
- Chen Y M, Wang H X, Li G Z, et al. Characteristics of soil mineral nutrient composition in *Vaccinium uliginosum* community under *Larix olgensis* forest in Changbai Mountain of northeast China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(2): 325-331.
- [12] 白永超, 陈 露, 卫旭芳, 等. 大兴安岭笃斯越桔内生真菌及矿质养分特性分析 [J]. 林业科学, 2017, 53(10): 50-59.
- Bai Y C, Chen L, Wei X F, et al. Analysis on the characteristic of endophytic fungi and mineral nutrient of *Vaccinium uliginosum* in the Daxing'an Mountains [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2017, 53(10): 50-59.
- [13] 陈 露, 白永超, 侯智霞, 等. 大兴安岭地区笃斯越桔基生枝条矿质养分特性 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(10): 2042-2051.
- Chen L, Bai Y C, Hou Z X, et al. Characteristics of mineral nutrition in basal branches of *Vaccinium uliginosum* in Daxing'an Mountains [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(10): 2042-2051.
- [14] 白永超, 侯智霞, 王 冲, 等. 大兴安岭笃斯越桔叶片、根系及根系层土壤养分特性研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(7): 115-124.
- Bai Y C, Hou Z X, Wang C, et al. Nutritional characteristics in leaf root and root soil of *Vaccinium uliginosum* in the Greater Xing'an Mountains [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2017, 45(7): 115-124.
- [15] 白永超, 卫旭芳, 陈 露, 等. 笃斯越桔果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析 [J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 170-181.
- Bai Y C, Wei X F, Chen L, et al. Multivariate analysis of fruit leaf mineral elements, soil fertility factors and fruit quality of *Vaccinium uliginosum* L. [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(1): 170-181.
- [16] Nestby R, Lieten F, Pivot D, et al. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs [J]. International Journal of Fruit Science, 2005, 5(1): 139-156.
- [17] Brumbarova T, Bauer P, Ivanov R. Molecular mechanisms governing *Arabidopsis*, iron uptake [J]. Trends in Plant Science, 2015, 20(2): 124-133.
- [18] 李亚东, 吴 林, 刘洪章, 等. 越桔果树的矿质营养与施肥 [J]. 吉林农业大学学报, 1994, 16(S1): 190-195.
- Li Y D, Wu L, Liu H Z, et al. A review of mineral nutrition characteristics and fertilization of blueberry [J]. Journal of Jilin Agriculture University, 1994, 16(S1): 190-195.
- [19] 李根柱, 王贺新, 陈英敏, 等. 长白山落叶松林下笃斯越桔群落生物量的空间分布 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(6): 1404-1410.
- Li G Z, Wang H X, Chen Y M, et al. Spatial distribution of the biomass of *Vaccinium uliginosum* community under *Larix olgensis* forests in Changbai Mountains, northeast China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(6): 1404-1410.
- [20] 周志强, 刘 彤, 李云灵, 等. 立地条件差异对天然东北红豆杉 (*Taxus cuspidata*) 种间竞争的影响 [J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2223-2229.
- Zhou Z Q, Liu T, Li Y L, et al. The influences of site factors on the interspecific competition between Japanese yew (*Taxus cuspidata*) and other tree species [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6): 2223-2229.
- [21] Maestre F T, Callaway R M, Valladares F, et al. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities [J]. Journal of Ecology, 2009, 97(2): 199-205.
- [22] 尹德洁, 苏淑叙, 侯智霞, 等. 大兴安岭地区笃斯越桔种质资源调查 [J]. 经济林研究, 2011, 29(2): 114-118.
- Yin D J, Su S C, Hou Z X, et al. Germplasm resources investigation of wild blueberry in Daxing'an Mountains [J]. Non-wood Forest Research, 2011, 29(2): 114-118.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社,

- 2005;39-136.
- Bao S D. Soil and agriculture chemistry analysis [M]. 3rd ed. Beijing:China Agriculture Press,2005;39-136.
- [24] 姜 玮,于一丁,张 燕,等. 长白山杜香植物营养成分及微量元素测定 [J]. 食品研究与开发,2013,34(19):71-74.
- Jiang W, Yu Y D, Zhang Y, et al. Trace elements and nutritional ingredient of *Ledum palustre* L. from Changbai Mountain [J]. Food Research and Development, 2013, 34(19):71-74.
- [25] Paula N B, Christina E T, Paul R S, et al. Comparisons of large (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) and small (*Vaccinium oxycoccos* L., *Vaccinium vitis-idaea* L.) cranberry in British Columbia by phytochemical determination, antioxidant potential, and metabolomic profiling with chemometric analysis [J]. Planta Med, 2012, 78(6):630-640.
- [26] Iersel M V. Fertilizer concentration affects growth and nutrient composition of subirrigated pansies [J]. Hortscience, 1999, 34(4):660-663.
- [27] Bryla D R, Strik B C. Nutrient requirements, leaf tissue standards, and new options for fertigation of northern highbush blueberry [J]. Hortitechnology, 2015, 25(4):464-470.
- [28] 曹 焱,刁秋实,翁海龙,等. 野生笃斯越桔种质资源保存效果研究 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(19):232-234.
- Cao Y, Diao Q S, Weng H L, et al. Study on the effect of preservation of germplasm resources of wild *Vaccinium uliginosum* L. [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2015, 43(19):232-234.
- [29] 陈剑峰,侯恩庆,张玲玲,等. 福建省马尾松和杉木针叶中 7 种营养元素含量特性 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(6):595-602.
- Chen J F, Hou E Q, Zhang L L, et al. Characteristics of seven nutrient elements in needles of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* forests in Fujian Province [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2016, 24(6):595-602.
- [30] 庄明浩,李迎春,陈双林. 二氧化碳和臭氧浓度升高对四季竹矿质养分含量和运输的影响 [J]. 西北植物学报, 2016, 36(6):1163-1171.
- Zhuang M H, Li Y C, Chen S L. Effect of elevated carbon dioxide and ozone on the mineral nutrient content and distribution and transportation in *Oligostachyum lubricum* [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2016, 36(6):1163-1171.
- [31] 孙 美,马丹阳,姬利洁,等. 不同养分供应对玫瑰香葡萄矿质元素含量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11):107-110.
- Sun M, Ma D Y, Ji L J, et al. Effects of different nutrient supply on mineral elements contents of *Muscat hambury* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(11):107-110.
- [32] 邱 超,胡承孝,谭启玲,等. 钙、硼对常山胡柚叶片养分、果实产量及品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2):459-467.
- Qiu C, Hu C X, Tan Q L, et al. Effects of calcium and boron on leaf nutrition fruit yield and quality of Changshanhuoyou (*Citrus changshanensis*) [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(2):459-467.
- [33] Fang F, Hu Y K, Zhang W, et al. Numerical analysis of inter-specific relationships in alpine steppe community in Bayanbulak [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6):1898-1907.
- [34] Deng X L, Liu Y, Wu Y. Interconnection among dominant plant populations of *Castanopsis community* in Jinggang mountain nature reserve [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(4):531-536.
- [35] 安贵阳,史联让,杜志辉,等. 陕西地区苹果叶营养元素标准范围的确定 [J]. 园艺学报, 2004, 31(1):81-83.
- An G Y, Shi L R, Du Z H, et al. Studies on the standard range of apple leaf nutritional elements in Shaanxi Province [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2004, 31(1):81-83.
- [36] 杨 成,刘从强,宋照亮,等. 贵州喀斯特山区植物营养元素含量特征 [J]. 生态环境, 2007, 16(2):503-508.
- Yang C, Liu C Q, Song Z L, et al. Characteristics of the nutrient element contents in plants from Guizhou Karst mountainous area of China [J]. Ecology and Environment, 2007, 16(2):503-508.
- [37] 唐玉琴,彭良志,淳长品,等. 红壤甜橙园土壤和叶片营养元素相关性分析 [J]. 园艺学报, 2013, 40(4):623-632.
- Tang Y Q, Peng L Z, Chun C P, et al. Correlation analysis on nutrient element contents in orchard soils and sweet orange leaves in southern Jiangxi Province of China [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(4):623-632.
- [38] 任立民,刘 鹏. 锰毒及植物耐性机理研究进展 [J]. 生态学报, 2007(1):357-367.
- Ren L M, Liu P. Review of manganese toxicity and the mechanisms of plant tolerance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007(1):357-367.
- [39] 许文博,邵新庆,王宇通,等. 锰对植物的生理作用及锰中毒的研究进展 [J]. 草原与草坪, 2011(3):5-14.
- Xu W B, Shao X Q, Wang Y T, et al. Research progress in physiological function of manganese and manganese poisoning in plants [J]. Grassland and Turf, 2011(3):5-14.
- [40] 李法虎. 土壤物理化学 [M]. 北京:北京工业出版社, 2006:14-16.
- Li F H. Soil physicochemistry [M]. Beijing:Beijing Industrial Press, 2006:14-16.
- [41] Lytle C M, Lytle F W, Smith B N. Use of XAS to determine the chemical speciation of bioaccumulated aanganese in *Potamogeton pectinatus* [J]. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(2):311-316.
- [42] 张玉秀,李林峰,柴团耀,等. 锰对植物毒害及植物耐锰机理研究进展 [J]. 植物学报, 2010, 45(4):506-520.
- Zhang Y X, Li L F, Chai T Y, et al. Mechanisms of manganese toxicity and manganese tolerance in plants [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2010, 45(4):506-520.