

· 资源与鉴定 ·

三峡库区栽培重楼药材和土壤中营养元素的相关性分析

张静¹, 丁博¹, 肖国生¹, 祁俊生¹, 沈昱翔², 周浓^{1*}, 成敏¹

(1. 重庆三峡学院 环境与化学工程学院, 生命科学与工程学院, 重庆 404000;

2. 安顺学院 农学院, 贵州 安顺 561000)

[摘要] 目的:对三峡库区不同产地重楼属药用植物种植基地的根际土壤及药材中矿质营养元素 K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, Cu, Ni 的含量及其相关性进行分析评价,为重楼矿质营养元素诊断和指导合理施肥提供参考。方法:采用湿法消解处理重楼根茎及根际土壤,通过原子吸收分光光度法测定,所得数据用 SPSS 18.0 软件进行分析。结果:重楼根茎中营养元素与根际土壤中营养元素呈现一定的相关性。不同产地重楼根茎及其根际土壤中 8 种营养元素含量存在显著差异,重楼根茎中各营养元素平均含量排序为 $K > Ca > Na > Mg > Cu > Mn > Ni > Zn$, 根际土壤则为 $Mg > Na > Ca > K > Mn > Zn > Ni > Cu$ 。重楼对 Na, Cu, Ca 具有一定的富集能力,重楼根茎及根际土壤中 8 种营养元素有多重相关性。结论:重楼药材主要通过选择性吸收调控其矿质营养元素的含量;重楼对营养元素的吸收积累具有一定的协同吸收作用。

[关键词] 三峡库区; 重楼; 土壤; 营养元素; 富集系数

[中图分类号] R282.2; R931.2; S816.72 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)04-0032-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2016040032

[网络出版地址] <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20151229.1124.004.html>

[网络出版时间] 2015-12-29 11:24

Correlation Analysis of Nutrient Elements from Herbs and Soil of Paridis Rhizoma Cultivated in Three Gorges Reservoir

ZHANG Jing¹, DING Bo¹, XIAO Guo-sheng¹, QI Jun-sheng¹,

SHEN Yu-xiang², ZHOU Nong^{1*}, CHENG Min¹

(1. College of Environmental and Chemical Engineering, College of Life Science & Engineering,

Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404000, China;

2. College of Agriculture, Anshun University, Anshun 561000, China)

[Abstract] **Objective:** To conduct correlation analysis of mineral nutrient elements in soil and herbs of Paridis Rhizoma growing in different places around three gorges reservoir. **Method:** Rhizome and rhizosphere soil of Paridis Rhizoma were disposed with the wet digestion method, and then determined by atomic absorption spectrophotometry. Data were analyzed and compared with SPSS 18.0. **Result:** Nutrient elements in Paridis Rhizoma and rhizosphere soil showed some correlation. There were significant differences existing in concentrations of eight kinds of nutrient elements in rhizome and rhizosphere soil of Paridis Rhizoma from different places. Contents of each nutrient elements in ranking of rhizome was $K > Ca > Na > Mg > Cu > Mn > Ni > Zn$, and that in

[收稿日期] 20150628(008)

[基金项目] 国家自然科学基金项目(81260622);贵州省科技厅科学技术基金项目(黔科合J字LKA(0122)07);万州区科委自然科学基金项目(201301024);重庆市教委科学技术研究项目(KJ131109)

[第一作者] 张静,在读硕士,从事药用植物栽培与生态环境调控研究, Tel:023-58102290, E-mail:435280513@qq.com

[通讯作者] *周浓,硕士,副教授,硕士生导师,从事药用植物栽培与质量控制研究, Tel:023-58102522, E-mail:erhaizn@126.com

rhizosphere soil was $Mg > Na > Ca > K > Mn > Zn > Ni > Cu$. *Paridis Rhizoma* had a certain capability of enriching Na, Cu and Ca. Eight kinds of nutrient elements in rhizome and rhizosphere soil had multiple correlation. **Conclusion:** Main regulation pathway of mineral nutrient elements in *Paridis Rhizoma* is selective absorption. Coordination among nutrient elements is in favor of accumulation of nutrient elements in *Paridis Rhizoma*.

[Key words] three gorges reservoir; *Paridis Rhizoma*; soil; nutrient elements; enrichment factor

重楼属药用植物全世界 26 种, 中国有 20 种, 三峡库区是我国重楼属药用植物的地理分布中心之一, 也是重楼药材的传统主产区^[1-2]。由于重楼生长条件苛刻、生长年限长, 加上主产区药农过度采挖, 导致重楼野生资源濒临灭绝^[3]。因此, 采用人工栽培方式已成为解决市场需求与实现重楼野生资源可持续利用的唯一途径^[4]。重楼属药用植物主要活性成分为甾体皂苷类^[2]。前期研究表明不同采集地点的重楼样品, 其甾体皂苷类成分的质量分数及组成结构比存在显著性差异^[5-8], 即使是同一产地不同地块上采集的样品中这类成分的含量也有很大差异, 说明除了环境因素影响外, 土壤类型也是影响甾体皂苷类成分含量的重要因素。

土壤中矿质营养元素参与植物生长发育过程与生理代谢活动, 调节植物生理功能, 是植物产量和品质形成的物质基础^[9]。植物生长所需营养元素除氮、磷、钾大量营养元素外, 还需要钙、镁等中量营养元素及铁、铜、锰、锌、镍等微量营养元素^[10]。一些研究表明土壤中营养元素含量与药材中营养元素含量有一定相关性, 并会对药材的品质形成影响较大。王增绘等^[11]认为当归中阿魏酸、藁本内酯、丁烯基苯酞和洋川芎内酯 A 含量与锰元素呈显著正相关, 阿魏酸、藁本内酯和丁烯基苯酞含量与钡元素呈显著负相关; 王印等^[12]认为土壤丰富的土壤全钾和速效钾供应有利于滇重楼根茎总皂苷和总多糖的合成与积累。因此, 土壤环境条件的优劣成为重楼品质形成的重要限制因子, 也是重楼栽培过程中必须解决的关键问题之一^[13]。目前关于重楼属植物药材与根际土壤营养元素状况的研究尚未见报道。本实验采用湿法消解-原子吸收分光光度法比较不同产地重楼药材及根际土中营养元素含量、富集特征及其相关性, 探讨不同产地土壤营养元素对重楼药材营养元素积累的影响, 为重楼种植选择种质和土壤提供依据。

1 材料

TAS-990AFG 型原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司), C-MAG HP10 型数显加热板(德国 IKA 集团), DZF-6050MBE 型电热恒温

真空干燥箱(上海博讯实业有限公司), CP225D 型电子分析天平(德国 Sartorius 公司); 钾(K), 钙(Ca), 镁(Mg), 钠(Na), 锰(Mn), 锌(Zn), 铜(Cu), 镍(Ni)空心阴极灯(北京有色金属研究总院)。

K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, Cu, Ni 标准贮备液(国家环境保护总局标准样品研究所, 批号分别为 101305, 101507, 101608, 101412, 102707, 101008, 100609, 101108); 硝酸、高氯酸、氢氟酸均为优级纯, 水为去离子水。

重楼根际土壤及新鲜根茎采集于重庆市开县满月乡双坪村 1 组等地, 由中国科学院昆明植物研究所李恒研究员鉴定, 见表 1。分别在重楼不同人工种植基地采用 S 形线路采样法和随机多点混合的原则^[14], 每份样品均取自 10 株成熟植株根茎以保证样品代表性。轻轻抖动根系并去掉黏附根系上的较大颗粒土, 收集根系及黏附其上的土壤即为根际土, 将混匀的土壤放入无菌塑料袋中, 实验室自然风干, 按分析要求分别研磨后过筛, 备用。重楼根茎清洗后, 45 °C 条件下烘干, 按分析要求分别粉碎过 50 目筛, 备用。

2 方法

2.1 药材样品前处理 精密称取粉碎过 50 目筛样品 0.5 g, 分别置于 100 mL 聚四氟乙烯烧杯中, 用 $HNO_3-HClO_4(4:1)$ 混合液消解, 在电热板上消化, 冷却后转移至 25 mL 量瓶中, 用 1% 硝酸定容至刻度^[15]。同法处理空白样品。

2.2 土壤样品前处理 精密称取粉碎过 50 目筛样品 0.5 g, 分别置于 100 mL 聚四氟乙烯烧杯中, 用 $HNO_3-HClO_4-HF(4:1:1)$ 溶液消解, 在电热板上消化, 冷却后转移至 25 mL 量瓶中, 用 1% 硝酸定容至刻度^[16]。同法处理空白样品。

2.3 营养元素的含量测定 采用原子吸收分光光度法测定不同产地重楼药材及根际土壤中 K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, Cu 和 Ni 的含量^[15-16]。

2.4 重楼中营养元素富集系数评价 元素的富集系数 = 营养元素在植物体中含量/营养元素在其植物所生长土壤中含量^[17]。

2.5 数据处理 采用 SPSS 18.0 统计软件进行数

表 1 重楼样品来源

Table 1 Sample source of *Paridis Rhizoma*

No.	种名	采集地点	经纬度	海拔/m	采集日期
S1	华重楼 <i>Paris polyphylla</i> var. <i>chinensis</i>	重庆市开县满月乡关坪村 1 组	108°42.912'/31°61.967'	1 709	2012-08-22
S2	小重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>minor</i>	重庆市开县满月乡关坪村 1 组	108°42.566'/31°61.842'	1 706	2012-08-22
S3	华重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>chinensis</i>	重庆市开县满月乡关坪村 4 组	108°42.625'/31°60.943'	1 695	2012-08-22
S4	滇重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i>	重庆市开县满月乡马营村	108°31.177'/31°35.627'	1 895	2013-07-08
S5	毛重楼 <i>P. mairei</i>	重庆市开县满月乡马营村	108°31.425'/31°35.788'	1 862	2013-07-08
S6	巴山重楼 <i>P. bashanensis</i>	重庆市城口县岚天乡	108°92.226'/31°95.148'	1 550	2012-08-24
S7	狭叶重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>stenophylla</i>	重庆市城口县咸宜乡	108°42.611'/31°42.417'	2 360	2013-07-09
S8	滇重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i>	重庆市城口县咸宜乡	108°42.645'/31°42.395'	2 379	2013-07-09
S9	卵叶重楼 <i>P. delavayi</i> var. <i>petiolata</i>	重庆市石柱县马武镇	108°16.693'/29°44.517'	1 235	2013-07-11
S10	狭叶重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>stenophylla</i>	重庆市石柱县马武镇	108°16.751'/29°44.517'	1 211	2013-07-11
S11	滇重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i>	重庆市石柱县马武镇	108°16.758'/29°44.531'	1 217	2013-07-11
S12	花叶重楼 <i>P. marmorata</i>	重庆市石柱县马武镇	108°16.742'/29°44.494'	1 220	2013-07-11
S13	长药隔重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>pseudothibetica</i>	重庆市渝北区兴隆镇	106°68.612'/29°94.788'	526	2013-06-07
S14	五指莲重楼 <i>P. axialis</i>	重庆市渝北区兴隆镇	106°69.501'/29°93.027'	526	2013-06-07
S15	滇重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i>	重庆市万州区铁峰山国家森林公园	108°22.113'/30°54.621'	1 200	2013-10-28
S16	华重楼 <i>P. polyphylla</i> var. <i>chinensis</i>	重庆市万州区铁峰山国家森林公园	108°21.080'/30°55.489'	1 230	2013-10-28

据处理与分析。

3 结果与分析

3.1 种植土壤中营养元素的含量分析 通过湿法消解-原子吸收分光光度法的营养元素检测方法,系统检测了 16 份不同产地不同品种重楼样品种植土壤中 8 种营养元素的含量,见表 2。结果显示 8 种营养元素(K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, Cu 和 Ni)在 16 个

样本均检出,不同栽培重楼品种和种植基地的根际土壤中营养元素含量存在显著差异,营养元素平均质量分数排序为 Mg > Na > Ca > K > Mn > Zn > Ni > Cu,其中 K, Ca, Mg, Na 等元素的含量相对较高,尤以 Mg 元素含量为最高。说明不同产地重楼根际土壤间除理化性质有明显差异外,其营养元素的含量也有很大差异。

表 2 重楼不同种植土壤中营养元素的含量

Table 2 Contents of nutrient elements in different rhizosphere soil of *Paridis Rhizoma*

No.	K	Ca	Mg	Na	Mn	Zn	Cu	Ni
S1	51 995.006 ^a	34 637.204 ^f	138 639.201 ^e	53 682.896 ^f	1 013.761 ^b	227.216 ^h	22.597 ^e	31.960 ^e
S2	35 833.125 ⁱ	1 894.579 ^j	124 406.695 ^g	21 733.700 ^h	1 087.320 ^a	209.843 ⁱ	21.921 ^{e,f}	19.361 ^g
S3	16 835.791 ^l	4 085.322 ⁱ	35 991.002 ^k	14 121.470 ^j	610.756 ⁱ	256.186 ^g	9.123 ^g	45.051 ^b
S4	42 036.945 ^f	35 616.263 ^f	47 928.108 ^j	21 967.049 ^h	735.712 ^f	250.874 ^g	9.923 ^g	29.581 ^f
S5	38 103.792 ^h	33 903.281 ^f	83 062.500 ⁱ	74 125.000 ^e	470.787 ^j	323.750 ^d	23.313 ^{e,f}	39.125 ^c
S6	35 604.396 ⁱ	43 751.405 ^e	184 440.559 ^c	53 946.054 ^f	750.281 ^f	314.685 ^d	23.601 ^{e,f}	29.158 ^f
S7	9 332.667 ^m	43 713.572 ^e	12 809.298 ^m	942.264 ^k	212.829 ^k	52.487 ^j	10.622 ^g	15.996 ^h
S8	50 774.613 ^b	58 744.909 ^b	229 885.058 ^a	190 529.735 ^d	935.361 ^c	278.611 ^e	23.738 ^{e,f}	48.538 ^a
S9	23 427.289 ^k	28 210.745 ^g	24 320.279 ^l	124.719 ^l	678.428 ^h	54.877 ^j	18.833 ^f	45.086 ^b
S10	32 443.778 ^j	341.392 ^k	49 975.013 ^j	18 740.630 ⁱ	982.045 ^c	261.119 ^f	31.672 ^d	46.227 ^b
S11	35 315.855 ⁱ	26 239.607 ^h	99 250.936 ^h	30 711.611 ^g	715.614 ^g	274.657 ^e	21.286 ^{e,f}	37.703 ^{c,d}
S12	43 087.684 ^e	51 387.491 ^e	128 903.323 ^f	145 515.863 ^c	780.906 ^e	403.447 ^c	63.577 ^a	32.913 ^{d,e}
S13	47 600.000 ^d	266 521.406 ^a	185 375.000 ^c	157 375.000 ^b	1 057.674 ^{a,b}	1 143.750 ^a	44.563 ^c	35.563 ^{c,d}
S14	47 960.050 ^d	34 778.340 ^f	202 247.191 ^b	29 837.703 ^h	881.927 ^d	210.986 ⁱ	16.105 ^f	31.461 ^e
S15	39 040.959 ^g	45 727.803 ^e	186 938.062 ^c	73 801.199 ^e	713.764 ^g	475.774 ^b	50.574 ^b	37.525 ^c
S16	49 645.532 ^c	46 763.230 ^d	163 255.117 ^d	170 119.820 ^a	403.168 ^j	224.663 ^h	17.723 ^f	35.634 ^d

注:同列数据中字母不同者表示差异显著(表 3,4 同)。

3.2 药材中营养元素含量分析 植株营养元素含量水平是植物在生长发育过程中吸收累积的土壤营养元素经植株代谢损失后剩余的部分,其与栽培土壤的营养状况有关,但主要还是由植株的自身特性决定的^[18]。重楼药材中含有丰富的营养矿质元素,尤其是 K, Ca, Mg, Na 等,而且不同品种、产地间在营养矿质元素含量上存在较大差异,见表 3。结果

表明重楼根茎中 K 和 Ca 含量较高,表明重楼是一个喜 K,喜 Ca 植物,K 和 Ca 营养元素对重楼根茎的生长特别重要。16 个样本中 8 种营养元素均检出,营养元素平均质量分数排序为 K > Ca > Na > Mg > Cu > Mn > Ni > Zn,与根际土壤中情况相似,进一步说明营养元素含量水平的差异除了与植株本身的吸收有关外,还与生长土壤环境有关。

表 3 重楼药材中营养元素的含量比较

Table 3 Comparison of nutrient elements contents in *Paridis Rhizoma*

No.	K	Ca	Mg	Na	Mn	Zn	Cu	Ni
S1	24 294. 282 ^f	4 673. 231 ⁱ	2 499. 000 ^f	4 998. 001 ⁱ	50. 065 ^{d,e}	2. 999 ^{e,f}	6. 447 ⁱ	11. 046 ^c
S2	54 430. 683 ^b	4 782. 411 ⁱ	549. 341 ^k	3 895. 326 ^l	161. 988 ^a	2. 098 ^{e,f}	21. 524 ^b	63. 774 ^a
S3	13 144. 114 ^j	4 615. 806 ^j	1 149. 310 ⁱ	3 697. 781 ^m	22. 454 ^{h,i}	6. 546 ^d	77. 154 ^e	5. 647 ^d
S4	19 197. 445 ^e	16 120. 658 ^c	399. 281 ^m	3 992. 813 ^k	100. 267 ^b	2. 945 ^{e,f}	61. 240 ^f	56. 997 ^b
S5	21 239. 504 ^f	548. 556 ^k	1 145. 223 ⁱ	5 897. 641 ^f	6. 219 ^k	2. 499 ^{e,f}	24. 740 ^b	6. 447 ^d
S6	1 901. 718 ^l	10 032. 936 ^f	449. 461 ^l	7 690. 771 ^c	9. 459 ^{j,k}	1. 149 ^g	7. 291 ⁱ	1. 598 ^g
S7	12 741. 807 ^k	8 737. 910 ^b	9 292. 566 ^c	13 988. 809 ^b	32. 189 ^{f,g}	2. 548 ^{e,f}	10. 142 ⁱ	10. 292 ^c
S8	34 210. 421 ^d	378. 519 ^l	1 127. 570 ⁱ	4 591. 735 ^j	1. 345 ^l	2. 695 ^{e,f}	38. 531 ^g	2. 446 ^f
S9	29 266. 733 ^c	11 107. 842 ^f	9 678. 222 ^b	4 595. 405 ^j	35. 428 ^{f,g}	3. 547 ^{e,f}	26. 224 ^b	11. 289 ^c
S10	15 948. 810 ⁱ	8 856. 179 ^b	1 450. 930 ^b	3 699. 260 ^m	17. 590 ^{i,j}	1. 800 ^f	5. 149 ⁱ	5. 149 ^d
S11	19 072. 848 ^e	13 159. 480 ^e	17 348. 114 ^a	5 758. 710 ^g	25. 329 ^{e,h}	13. 677 ^b	353. 801 ^c	3. 383 ^e
S12	17 090. 328 ^b	435. 377 ^k	437. 446 ^l	7 593. 925 ^d	38. 682 ^f	14. 239 ^b	360. 462 ^b	3. 397 ^f
S13	1 677. 316 ^m	9 351. 712 ^g	4 258. 581 ^e	6 789. 137 ^e	48. 383 ^d	3. 295 ^{e,f}	41. 234 ^g	8. 786 ^c
S14	229 682. 540 ^a	65 445. 933 ^a	1 785. 714 ^g	37 698. 413 ^a	45. 599 ^c	4. 464 ^e	39. 683 ^g	14. 385 ^c
S15	47 124. 601 ^c	18 494. 134 ^b	7 388. 179 ^d	5 091. 853 ^b	88. 933 ^c	29. 852 ^a	611. 272 ^a	1. 548 ^g
S16	22 304. 000 ^f	15 867. 050 ^d	757. 808 ^j	4 000. 000 ^k	19. 218 ^{h,i}	11. 200 ^c	200. 500 ^d	4. 450 ^e

mg·kg⁻¹

3.3 药材对营养元素富集系数 富集系数表示药用植物对某种营养元素的吸收特点,反映了特定药用植物中某营养元素含量与其基质中同一元素含量对比相对富集和贫化的程度^[17]。富集系数 < 0. 1 时表示强烈贫化,富集系数 < 0. 5 时表示相对贫化,0. 5 < 富集系数 < 1. 5 时表示二者属同一水平,1. 5 ≤ 富集系数 ≤ 3 时表示相对富集,富集系数 > 3 时表示强烈富集^[19]。表 4 中富集系数的均数分析表明,重楼对 Na, Cu, Ca 具有一定的富集能力,对其他元素的富集能力很低,但不同品种、不同产地重楼对各元素的富集能力有明显差异。

在显著相关,表明重楼种植基地土壤中以上营养元素之间存在相互促进吸收的关系。其余营养元素两两之间亦存在不同程度的相关性,但均未达到显著水平。

3.4 土壤中营养元素间相关性分析 由表 5 可知,重楼种植基地土壤中营养元素间存在不同程度的相关性。K 与 Mg, Na, Mn 存在显著相关, Ca 与 Na, Zn 存在显著相关, Mg 与 K, Na 存在显著相关, Na 与 K, Ca, Mg, Zn, Cu 存在显著相关, Mn 与 K 存在显著相关, Zn 与 Ca, Na, Cu 存在显著相关, Cu 与 Na, Zn 存

3.5 药材中营养元素间相关性分析 重楼根茎中 K, Ca, Na, Zn, Cu 元素呈显著相关或极显著相关,说明这 5 种元素中每 2 种营养元素之间存在协同作用。Ni 和 Mg, Zn, Cu, Na 呈负相关,表明 Ni 和这几种元素吸收时可能存在拮抗作用,与 Mn 呈现极显著正相关,表明 Ni 与 Mn 之间存在协同作用。Mg 与其他元素相关性不显著,见表 6。

3.6 药材与土壤间营养元素相关性分析 对三峡库区重楼种植土壤与根茎间的 8 种矿质营养元素的含量变化进行相关性分析,见表 7。结果表明根际土壤中 Cu 与药材中 Zn, Cu 的含量呈显著正相关,根际土壤中 Ni 与药材中 Mn, Ni 的含量呈显著负相关。说明重楼药材中这些营养元素与土壤环

表 4 重楼药材对营养元素的富集系数

Table 4 Enrichment factors of *Paridis Rhizoma* Herbs on nutrient elements

No.	K	Ca	Mg	Na	Mn	Zn	Cu	Ni
S1	0.467 ^f	0.135 ^{e,d}	0.018 ^e	0.093 ^e	0.049 ^b	0.013 ^e	0.285 ^g	0.346 ^e
S2	1.519 ^b	2.524 ^b	0.004 ^e	0.179 ^{d,e}	0.149 ^a	0.010 ^e	0.982 ^{f,g}	3.294 ^a
S3	0.781 ^d	1.130 ^b	0.032 ^e	0.262 ^d	0.037 ^c	0.026 ^e	8.457 ^d	0.125 ^d
S4	0.457 ^f	0.453 ^e	0.008 ^e	0.182 ^d	0.136 ^a	0.012 ^{d,e}	6.172 ^e	1.927 ^b
S5	0.557 ^{e,f}	0.016 ^d	0.014 ^e	0.080 ^e	0.013 ^e	0.008 ^f	1.061 ^{f,g}	0.165 ^e
S6	0.053 ^g	0.229 ^e	0.002 ^e	0.143 ^{d,e}	0.013 ^e	0.004 ^f	0.309 ^g	0.055 ^e
S7	1.365 ^c	0.200 ^e	0.726 ^a	14.846 ^b	0.151 ^a	0.049 ^{b,c}	0.955 ^{f,g}	0.643 ^b
S8	0.674 ^{d,e}	0.006 ^d	0.005 ^e	0.024 ^e	0.001 ^e	0.010 ^d	1.623 ^{f,g}	0.050 ^e
S9	1.249 ^c	0.394 ^e	0.398 ^{b,c}	36.846 ^a	0.052 ^b	0.065 ^{a,b}	1.393 ^{f,g}	0.250 ^{e,d}
S10	0.492 ^{e,f}	25.941 ^a	0.029 ^e	0.197 ^d	0.018 ^e	0.007 ^f	0.163 ^g	0.111 ^d
S11	0.540 ^{e,f}	0.502 ^e	0.175 ^b	0.188 ^{d,e}	0.035 ^e	0.050 ^{a,b}	16.621 ^a	0.090 ^e
S12	0.397 ^f	0.009 ^d	0.003 ^e	0.052 ^e	0.050 ^b	0.035 ^e	5.670 ^e	0.103 ^d
S13	0.035 ^g	0.035 ^d	0.023 ^e	0.043 ^e	0.046 ^b	0.003 ^f	0.925 ^{f,g}	0.247 ^{e,d}
S14	4.789 ^a	1.882 ^b	0.009 ^e	1.263 ^c	0.052 ^b	0.021 ^d	2.464 ^f	0.457 ^e
S15	1.207 ^c	0.404 ^e	0.040 ^e	0.069 ^e	0.125 ^{a,b}	0.063 ^a	12.087 ^b	0.041 ^b
S16	0.449 ^{e,f}	0.339 ^e	0.005 ^e	0.024 ^e	0.048 ^b	0.050 ^{b,c}	11.313 ^c	0.125 ^d

表 5 重楼种植土壤中营养元素间相关性分析

Table 5 Correlation analysis between nutrient elements in rhizosphere soil of *Paridis Rhizoma*

营养元素	K	Ca	Mg	Na	Mn	Zn	Cu	Ni
K	-	0.324	0.772 ²⁾	0.662 ²⁾	0.529 ¹⁾	0.391	0.341	0.145
Ca	0.324	-	0.385	0.538 ¹⁾	0.235	0.893 ²⁾	0.396	-0.007
Mg	0.772 ²⁾	0.385	-	0.681 ²⁾	0.438	0.441	0.391	0.056
Na	0.662 ²⁾	0.538 ¹⁾	0.681 ²⁾	-	0.127	0.524 ¹⁾	0.499 ¹⁾	0.262
Mn	0.529 ¹⁾	0.235	0.438	0.127	-	0.398	0.331	0.158
Zn	0.391	0.893 ²⁾	0.441	0.524 ¹⁾	0.398	-	0.589 ²⁾	0.115
Cu	0.341	0.396	0.391	0.499 ¹⁾	0.331	0.589 ¹⁾	-	0.125
Ni	0.145	-0.007	0.056	0.262	0.158	0.115	0.125	-

注:用双尾显著性检验¹⁾ $P < 0.05$,²⁾ $P < 0.01$ (表 6,7 同)。

表 6 重楼药材中营养元素间相关性分析

Table 6 Correlation analysis between nutrient elements in *Paridis Rhizoma*

营养元素	K	Ca	Mg	Na	Mn	Zn	Cu	Ni
K	-	0.900 ²⁾	-0.098	0.888 ²⁾	0.171	0.019	-0.033	0.123
Ca	0.900 ²⁾	-	0.043	0.875 ²⁾	0.097	0.094	0.039	0.050
Mg	-0.098	0.043	-	-0.011	-0.083	0.342	0.374	-0.244
Na	0.888 ²⁾	0.875 ²⁾	-0.011	-	-0.052	-0.095	-0.128	-0.055
Mn	0.171	0.097	-0.083	-0.052	-	0.148	0.140	0.838 ²⁾
Zn	0.019	0.094	0.342	-0.095	0.148	-	0.981 ²⁾	-0.299
Cu	-0.033	0.039	0.374	-0.128	0.140	0.981 ²⁾	-	-0.273
Ni	0.123	0.050	-0.244	-0.055	0.838 ²⁾	-0.299	-0.273	-

表 7 药材与土壤间营养元素相关性分析

Table 7 Correlation analysis of nutrient elements between herb and rhizosphere soil of *Paridis Rhizoma*

营养元素	药材 K	药材 Ca	药材 Mg	药材 Na	药材 Mn	药材 Zn	药材 Cu	药材 Ni
土壤 K	0.257	0.199	-0.369	0.089	0.065	0.102	0.128	0.021
土壤 Ca	-0.157	-0.031	0.031	0.014	-0.061	-0.034	-0.026	-0.163
土壤 Mg	0.349	0.281	-0.259	0.258	-0.011	0.241	0.234	-0.212
土壤 Na	-0.158	-0.215	-0.307	-0.169	-0.274	0.200	0.299	-0.342
土壤 Mn	0.193	0.053	-0.252	-0.014	0.367	-0.162	-0.135	0.273
土壤 Zn	-0.183	-0.088	-0.076	-0.107	0.039	0.161	0.177	-0.155
土壤 Cu	-0.144	-0.194	-0.046	-0.144	0.063	0.543 ¹⁾	0.588 ¹⁾	-0.308
土壤 Ni	-0.112	-0.135	0.009	-0.278	-0.532 ¹⁾	0.123	0.102	-0.508 ¹⁾

境背景值密切相关,土壤营养元素含量影响药材中营养元素含量。特别是药材与土壤中重金属 Cu 含量显著相关,证明了选择 GAP 栽培基地过程中土壤环境质量对药材质量形成的重要性,严格控制土壤中 Cu 的含量水平。其他营养元素无明显的相关性。

4 讨论

植物和土壤是药用植物生态系统内具有紧密联系的 2 个分室,土壤中的营养元素含量可影响植物体内的各营养元素含量,从而维持着土壤生态系统的功能^[20]。重楼中各营养元素平均含量大小顺序为 K > Ca > Na > Mg > Cu > Mn > Ni > Zn,根际土壤为 Mg > Na > Ca > K > Mn > Zn > Ni > Cu,前者主要反映了在某种地质背景下重楼对营养元素的吸收特征,而后者主要反映了各地土壤营养元素地质背景,与李燕等^[15]对四川不同产地重楼根茎的测定结果类似。本文研究表明重楼中营养元素含量大小的顺序与根际土壤中虽不完全一致,却有一定程度的相似性,而不同产地间重楼各营养元素富集系数具有显著性差异,即重楼对各营养元素的吸收能力受产地的影响较大,表明重楼对矿质营养元素的吸收与各产地重楼根际土壤营养元素有一定关联性。但多数产地重楼营养元素含量差异较小,重楼对各营养元素的需求和吸收能力相对稳定。

总体而言,重楼对各营养元素吸收能力的大小不仅与重楼对该营养元素的需求量和吸收特点有关,也与不同产地重楼的根际土壤营养元素的含量有很大关联性。例如同一产地但不同品种重楼之间的同种营养元素含量差异显著,采自石柱县马武镇的滇重楼根茎、根际土壤中 Ca 元素含量分别为 13 159.480,26 239.607 mg·kg⁻¹,而花叶重楼中则分别为 435.377,51 387.491 mg·kg⁻¹,这可能与药

用植物自身的遗传特性有关。另外,同一品种但不同产地重楼之间的同种营养元素的量也有差异,这可能与不同产地的土壤生态环境有关,这与黄芩^[20]、穿龙薯蓣^[21]等研究结果相似。

本文研究结果表明重楼药用植物对根际土壤中营养元素的吸收具有选择吸收、协同作用、离子拮抗等特点,可以通过改善栽培管理过程中诸多有利环节来改善重楼的生长发育,从而提高重楼的品质和产量,可根据不同生长期元素分布及吸收特性研制重楼专用肥,针对不同营养元素采用不同的叶面施肥、根系施肥等方式,以有利于促进重楼种植产业的可持续健康发展。

[致谢]中国科学院昆明植物研究所李恒研究员在植物标本鉴定中给予了帮助。

[参考文献]

[1] 张植玮,刘正宇,陈玉菡,等. 重庆三峡库区重楼属药用植物资源调查[J]. 资源开发与市场,2008,24(3):254-256.

[2] 赵保胜,朱寅荻,马勇,等. 中药重楼研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(11):267-270.

[3] 张朝阳,赵庭周. 重楼资源再生策略及其关键技术环节探讨[J]. 中草药,2009,40(2):319-323.

[4] 杨永红,戴丽君,何昆鸿,等. 土壤营养与人工栽培滇重楼品质相关性评价[J]. 中药材,2012,35(10):1557-1561.

[5] 杨德全,杨勤,周浓. 多基源重楼的质量等同性研究[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(3):91-94.

[6] 李懿,何佳,赵庭周,等. HPLC 同时测定不同产地滇重楼中的 6 种重楼皂苷[J]. 中成药,2012,34(1):113-116.

[7] 梁玉勇,刘振,高文远,等. HPLC 测定贵州不同产地的七叶一枝花中 9 种甾体皂苷的含量[J]. 中国中药杂志,2012,37(15):2309-2312.

- [8] 李海涛,罗先文,管燕红,等. 云南省不同地区滇重楼皂苷含量的对比及影响因子分析[J]. 中国中药杂志,2014,39(5):803-806.
- [9] 韦霄,漆小雪,蒋水元,等. 黄连矿质营养元素含量动态变化研究[J]. 中国中药杂志,2007,32(21):2309-2310.
- [10] 彭锐,卫莹芳,王爱平,等. 川党参元素含量特征及影响因素分析[J]. 中国中药杂志,2009,34(11):1335-1338.
- [11] 王增绘,李文涛,黄林芳. 土壤无机元素对当归品质的影响[J]. 中国现代中药,2014,16(5):349-354,390.
- [12] 王印,何忠俊,段艳涛,等. 滇重楼根茎有效成分与土壤钾状况的关系研究[J]. 西南农业学报,2012,25(3):950-953.
- [13] 翟琨. 湖北贝母种植土壤和药材中有机农药及重金属残留分析[J]. 土壤通报,2011,42(4):976-979.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:14-24.
- [15] 李燕,丁春邦,张利,等. 四川不同产地重楼中无机元素的测定[J]. 中草药,2009,40(6):968-971.
- [16] 陈碧华,杨和连,周俊国,等. 大棚菜田种植年限对土壤重金属含量及酶活性的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(1):213-218.
- [17] 俞年军,于娇,张伟,等. ICP-MS 法测定亳菊不同部位及其土壤中微量元素[J]. 中药材,2014,37(12):2136-2139.
- [18] 李向民,李军超,陈刚,等. 盾叶薯蓣元素组成特点及其与土壤营养元素的关系研究[J]. 西北植物学报,2005,25(3):531-535.
- [19] 严辉,段金殿,钱大玮,等. 不同产地当归药材及其土壤无机元素的关联分析与探讨[J]. 中药材,2011,34(4):512-516.
- [20] 王升,赵曼茜,郭兰萍,等. 不同产地黄芩中无机元素含量及其与根际土壤无机元素的关系[J]. 生态学报,2014,34(16):4734-4745.
- [21] 尹海波,张囡,康延国. 穿龙薯蓣药材和土壤无机元素的相关性分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(19):137-141.

[责任编辑 刘德文]

《中国实验方剂学杂志》入选 2015—2016 年度 CSCD(E)

经过中国科学院“中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database,简称 CSCD)”定量遴选、专家定性评估,《中国实验方剂学杂志》入选 2015—2016 年度 CSCD(E)。

2015—2016 年度 CSCD 收录来源期刊 1200 种,其中中国出版的英文期刊 194 种,中文期刊 1006 种。CSCD 来源期刊分为核心库和扩展库两部分,其中核心库 872 种(以备注栏中 C 为标记);扩展库 328 种(以备注栏中 E 为标记)。

CSCD 具有建库历史最为悠久、专业性强、数据准确规范、检索方式多样、完整、方便等特点,自提供使用以来,深受用户好评,被誉为“中国的 SCI”。CSCD 是我国第一个引文数据库,曾获中国科学院科技进步二等奖。该数据库已在我国科研院所、高等学校的课题查新、基金资助、项目评估、成果申报、人才选拔以及文献计量与评价研究等多方面作为权威文献检索工具获得广泛应用。