

亳白芍药材质量与土壤中主要无机元素相关性

周光姣^{1,2*}, 王超群³, 权春梅¹, 李培培¹

(1. 亳州职业技术学院, 安徽 亳州 236800;

2. 安徽中医药科学院 亳州中医药研究所, 安徽 亳州 236800; 3. 安徽医学科学研究所, 合肥 230031)

[摘要] 目的:分析亳白芍药材质量和无机元素含量与其生长地土壤中无机元素的相关性。方法:采用电感耦合等离子体质谱法对亳州12个不同乡镇白芍药材及土壤中锌(Zn),锰(Mn),钾(K),铁(Fe),钙(Ca),镁(Mg),铜(Cu),镉(Cd)等19种无机元素含量进行测定,并用高效液相色谱法测定亳白芍中没食子酸、芍药苷、芍药内酯苷等5种主成分含量,同时测定其水浸出物量,运用SPSS 19.0软件分析其相互间的相关性。结果:12个乡镇,白芍药材中富含Fe, Mn, Zn, K, Ca, Mg共6种无机元素,其中K, Ca, Na的含量较高, Fe, Mn元素的含量次之, Zn元素含量较低;土壤中Cr, Hg, Cd, Cu含量与药材中含量呈显著性相关, Ca, Al, Ti, Mn等元素含量与药材的部分元素呈显著相关性,其他元素相关性不强;土壤中Na元素含量对白芍药材质量影响最大,与药材中没食子酸、芍药内酯苷、芍药苷、苯甲酸、苯甲酰芍药苷的含量及水浸出物量均呈负相关;重金属元素含量较低,都在2015年版《中国药典》规定范围之内。结论:通过分析药材质量和其中无机元素含量与土壤无机元素含量的相关性,为以后亳白芍生产区域的选择提供基础数据,为亳白芍GAP基地的建设提供参考。

[关键词] 亳白芍; 土壤; 无机元素; 相关性

[中图分类号] R284.1; R282.5; R289; R22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)18-0076-05

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20181507

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20180517.1518.004.html>

[网络出版时间] 2018-05-18 13:26

Correlation Between Quality of *Paeoniae Radix Alba* in Bozhou and Main Inorganic Elements in Soil

ZHOU Guang-jiao^{1,2*}, WANG Chao-qun³, QUAN Chun-mei¹, LI Pei-pei¹

(1. Vocational and Technical College, Bozhou 236800, China;

2. Bozhou Chinese Medicine Institute, Anhui Academy of Chinese Medicine, Bozhou 236800, China;

3. Anhui Academy of Medical Sciences, Hefei 230031, China)

[Abstract] **Objective:** To investigate the correlation between the quality and the contents of inorganic elements in *Paeoniae Radix Alba* in Bozhou. **Method:** The contents of nineteen elements, such as Zn, Mn, K, Fe, Ca, Mg, Cu, Cd in *Paeoniae Radix Alba* were collected from twelve towns in Bozhou, the corresponding soil were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and the contents of gallic acid, paeoniflorin and paeonolide were determined by using high performance liquid chromatography (HPLC). In addition, the contents of water-soluble extractives were also determined, and the correlation between them was analyzed by using SPSS 19.0 software. **Result:** In the twelve towns, *Paeoniae Radix Alba* had high contents of six kinds of inorganic elements, namely Fe, Mn, Zn, K, Ca and Mg. Among them, the contents of K, Ca and Na were the highest, the contents of Fe and Mn were the second, and the content of Zn was the lowest. The contents of Cr, Hg, Cd and Cu in soil were significantly correlated with the contents of inorganic elements, and the contents of other elements, such as Ca, Al, Ti and Mn, were significantly correlated with other elements in

[收稿日期] 20171020(002)

[基金项目] 安徽省教育厅自然科学基金重点项目(KJ2016A501);安徽省质量工程项目(2015jxt073)

[通信作者] *周光姣, 硕士, 副教授, 执业药师, 从事中药提取及分析研究, Tel: 0558-5587006, E-mail: zhouguangjiao54@163.com

Paeoniae Radix Alba in Bozhou, while other inorganic elements in soil were not correlated. The content of Na in soil had the greatest impact on the quality of Paeoniae Radix Alba in Bozhou, and it was negatively correlated with the contents of gallic acid, paeoniflorin, paeonolide, benzoic acid, benzoyl paeoniflorin and water-soluble extractives. The contents of heavy metal elements were low, which was within the range on the basis of the 2015 Chinese Pharmacopoeia. **Conclusion:** By analyzing the correlation between the quality and the contents of inorganic elements in Paeoniae Radix Alba in Bozhou and the contents of the inorganic elements in corresponding soil, we can provide basic data and reference for the future choice of production areas and the construction of GAP bases of Paeoniae Radix Alba in Bozhou.

[**Key words**] Paeoniae Radix Alba in Bozhou; soil; inorganic elements; correlation

芍药(*Paeonia lactiflora*)是毛茛科植物,其根(主根)入药称为“白芍”,其主要成分为芍药苷,有平抑肝阳、养血敛阴、柔肝止痛之功效^[1],白芍主产于安徽、浙江、四川等地。安徽亳州地区所产的白芍因其质量好、产量大、疗效显著被称为道地药材,称之为“亳白芍”。

土壤是多数植物赖以生长的基础,植物庞大的根系与土壤的接触面积积极大,二者之间频繁的进行着物质交换,相互影响,相辅相成。因此研究土壤中主要无机元素对中药材质量的影响具有十分重要的意义。

近年来,白芍的研究主要集中在化学成分方面,而对于白芍土壤中无机元素对白芍质量影响方面的研究很少有相关报道。本课题通过对不同基地土壤无机元素含量和药材无机元素含量进行相关性分析,具体针对白芍药材及其土壤中锌(Zn),锰(Mn),钾(K),铁(Fe),钙(Ca),镁(Mg),铜(Cu),镉(Cd),砷(As),铅(Pb)等 19 种主要无机元素进行含量测定和相关性研究分析。结果发现白芍药材中富含 Fe, Mn, Zn, K, Ca, Mg 共 6 种无机元素,同样存在 Pb, Cd, As, Cu, Hg 共 5 种重金属元素。重金属元素含量在人体内累积达到一定程度,会造成慢性中毒,严重时导致组织细胞出现病变,甚至致癌,而土壤中重金属元素含量直接影响着中药材中重金属元素含量^[2-4]。通过对亳白芍生产条件现状和药材质量,揭示土壤与药材无机元素含量的相关性具有现实意义,为以后亳白芍生产区域的选择提供基础数据,为亳白芍国家级 GAP 基地的建设提供参考。

1 材料

X Series 2 型电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞公司);AUW-220D 型 1/10 万电子天平(日本岛津公司);WB-100 型小型粉碎机(北京维博创机械设备有限公司);ZJ-TFG-12 型通风柜(上海新拓分析仪器科技有限公司);XT-9816 型样品预处理加

热仪(上海新拓分析仪器科技有限公司);XT-9700 型冷却机(上海新拓分析仪器科技有限公司);XT-9900A 型微波消解仪(上海新拓分析仪器科技有限公司);Mill-Q Synthesis 超纯水系统。

钠(Na),铝(Al),钛(Ti),铬(Cr),钴(Co),锶(Sr),铯(Se),钡(Ba),锌(Zn),锰(Mn),钾(K),铁(Fe),钙(Ca),镁(Mg),铜(Cu),镉(Cd),砷(As),铅(Pb),汞(Hg)对照溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心,批号均为 6031),质量浓度均为 1 000 g·mL⁻¹;硝酸、氢氟酸为优级纯(国药集团化学试剂有限公司),高氯酸为优级纯(国药集团化学试剂有限公司),30%过氧化氢为分析纯(天津市科密欧化学试剂有限公司);水为超纯水,所用容器均用 30% 硝酸浸泡 24 h,超纯水清洗后使用。

实验所用药材样品及土壤分别从亳州市谯城区白芍的主产乡镇十八里镇、十九里镇、谯东镇、五马镇、赵桥镇、大杨镇、城父镇、华佗镇、泥店镇、沙土镇、双沟镇、十河镇共 12 个乡镇主产区采集。每个乡镇 4 批平行样品,共 48 批样品,药材编号(Y1~Y12),土壤编号(T1~T12),样品采集时间均为 2016 年 9 月。

2 方法

2.1 样品的处理与制备

2.1.1 样品的前处理 取白芍的根茎,洗净,除去头尾和细根,置于沸水中煮后用陶瓷片或玻璃片除去表皮或去皮后再煮,晒干。晒干后粉碎成细粉放入干燥器中,备用。取根际土壤后置于烘箱中烘干,粉碎成细粉放入干燥器中,备用^[5]。

2.1.2 白芍样品的消解与制备 称取白芍样品 0.1 g,精密称定,于消解罐中,加硝酸 5 mL,氢氟酸 2 mL,预加热至 120 ℃,加热 30 min,至溶液呈半透明状态后移至微波消解仪中,按设定程序消解,消解后放冷却仪中冷却,冷却后加 1 滴过氧化氢于加热器中,加热挥酸至约 0.5 mL,加蒸馏水定容至 50 mL

具塞离心管中,分3个阶段消解,压力分别为5,10,15 MPa,时间分别为100,100,200 s,消解功率均为100 W,同时做空白试验^[6-8]。

2.1.3 土壤样品的处理与消解 称取土壤样品0.1 g,精密称定,于消解罐中,加硝酸5 mL,加过氧化氢1 mL,加氢氟酸1 mL,预加热至120 ℃,加热30 min,至溶液呈半透明状态后移至微波消解仪中,按设定程序消解,消解后加高氯酸1 mL,加热挥酸至约0.5 mL,加蒸馏水定容至50 mL具塞离心管中,分4个阶段消解,压力分别为5,10,15,20 MPa,时间分别为200,200,300,200 s,消解功率均为100 W,同时做空白试验。

2.2 仪器实验条件及测定方法 采用电感耦合等离子体质谱仪进行测定,测定条件为载气流速0.8 L·min⁻¹,辅助气流速0.35 L·min⁻¹,采样深度为8 L·min⁻¹,蠕动泵采样转速0.1 r·s⁻¹,积分时间为2 s。

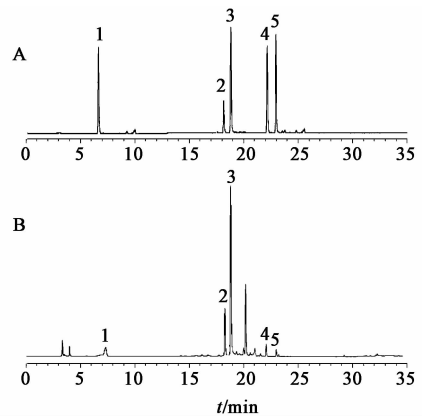
2.3 白芍药材及土壤中相关元素含量测定 将各单元素对照溶液加入一定溶剂稀释制备为1 mg·L⁻¹各单元素对照品储备液。精密吸取一定量的对照品储备液,置于50 mL量瓶,用2%硝酸定容,配制成一系列不同浓度的对照品待测液。分别将对照液和样品液进ICP-MS(等离子体质谱仪)计算待测元素标准曲线,利用标准曲线采用外标法算出样品白芍药材及土壤中19种相关元素。

2.4 亳白芍中几种活性成分的含量测定

2.4.1 样品溶液的制备 取白芍样品(T1)粉末1.0 g,精密称定,置圆底烧瓶中,精密加入60%乙醇20 mL,回流提取3 h,取出烧瓶,倒出上清液,残渣再次精密加入60%乙醇20 mL,继续回流2 h。合并2次回流提取液,取上清液,加入60%乙醇定容至100 mL量瓶中,以0.45 μm微孔滤膜滤过,即得。

2.4.2 色谱条件 采用高效液相色谱法,安捷伦ZORBAXSBC₁₈色谱柱(4.6 mm×250 mm,5 μm)。流动相乙腈(A)-0.1%磷酸水(B),梯度洗脱(0~8 min,5%~8% A;8~15 min,8%~25% A;15~30 min,25%~5% A)。流速1.0 mL·min⁻¹,柱温25 ℃,检测波长230 nm,进样量10 μL。采用外标法计算没食子酸、芍药内酯苷、芍药苷、苯甲酸、苯甲酰芍药苷的含量,色谱图见图1。

2.5 水溶性浸出物的测定 参照2015年版《中国药典》四部通则2201水溶性浸出物测定法项下热浸法测定。



A. 亳白芍样品; B. 混合对照品; 1. 没食子酸; 2. 芍药内酯苷; 3. 芍药苷; 4. 苯甲酸; 5. 苯甲酰芍药苷

图1 亳白芍样品和混合对照品 HPLC

Fig.1 HPLC of Paeoniae Radix Alba in Bozhou sample and mixed reference substance

3 结果与分析

3.1 亳白芍及其土壤无机元素检测 对不同乡镇各批次样品及其土壤中所含19种无机元素分别进行含量测定,结果见表1。

3.2 亳白芍药材主成分和水浸出物检测 按上述2.4和2.5项下方法分别对各批次亳白芍药材中没食子酸(H₁),芍药内酯苷(H₂),芍药苷(H₃),苯甲酸(H₄),苯甲酰芍药苷(H₅)及水浸出物(H₆),检测结果见表2。

3.3 不同来源白芍药材与土壤中无机元素相关性^[9] 采用SPSS 19.0软件对数据进行Pearson相关性分析,结果见表3。

3.4 不同来源白芍药材主成分和水浸出物与土壤中无机元素相关性^[9] 采用SPSS 19.0软件对数据进行Pearson相关性分析,结果见表4。

由上面的结果可知,不同乡镇的白芍药材中Na,K,Ca含量均较高,其中K的含量最高,富集系数最大,Mg,Zn和Fe的含量次之;其他元素含量相对较低,重金属元素Pb,Cd,As,Cu,Hg含量都很低且也存在差异。2015年版《中国药典》一部及2007年7月1日对外贸易经济合作部发布实行的《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》中规定药材重金属限量标准为Pb≤5.0 mg·kg⁻¹,Cd≤0.3 mg·kg⁻¹,As≤2.0 mg·kg⁻¹,Cu≤20.0 mg·kg⁻¹,Hg≤0.2 mg·kg⁻¹。白芍药材中的重金属含量均符合药典规定且远低于限量标准,为用药安全提供了保障^[3]。

土壤中无机元素含量与药材中无机元素含量呈

表 1 土壤与白芍药材中 19 种相关元素的质量分数 ($n=4$)

Table 1 Measured results of nineteen kinds of related elements in soil and *Paoniae Radix Alba* ($n=4$) mg·kg⁻¹

样品	Na	Mg	Fe	K	Ca	Al	Ti	Mn	Cr	Co	Zn	Sr	Se	Ba	As	Hg	Pb	Cd	Cu
Y1	1 313.4	978.5	242.0	6 492.5	2 526.6	10.4	17.3	36.3	46.6	1.2	72.5	63.4	0.88	24.5	0.063	0.034	0.334	0.050	0.047
T1	8 730.4	11 942.0	34 870.2	19 719.6	17 231.8	5 747.6	4 982.7	971.6	67.1	122.2	145.1	348.5	51.24	1 392.4	12.37	0.89	27.13	0.148	13.89
Y2	1 129.3	806.9	1 264.5	5 222.0	20 43.5	11.1	11.1	31.2	30.7	1.1	83.0	51.8	0.76	21.1	0.065	0.041	0.261	0.05	0.038
T2	11 549.2	10 384	35 451.8	19 668.3	12 520.6	7 154.3	5 569.1	900.0	45.0	112.0	137.1	363.5	45.67	1 475.6	12.12	0.985	25.48	0.145	14.01
Y3	1 255.4	772.8	321.9	4 354.4	2 627.6	9.3	18.9	34.0	30.8	0.98	46.9	60.3	0.81	19.0	0.067	0.051	0.231	0.061	0.051
T3	9 532.5	10 156.2	36 500.3	18 249.9	15 083.4	4 472.4	4 623.9	790.8	55.9	117.7	135.4	353.4	50.09	1 303.2	9.73	1.68	28.1	0.157	15.68
Y4	1 160.8	950.2	249.0	4 967.5	3 177.4	7.4	13.7	26.7	42.1	0.92	74.7	68.7	0.65	20.1	0.064	0.045	0.255	0.074	0.045
T4	10 118.9	11 364.8	33 481.7	19 200.5	19 173.8	3 284.1	4 790.4	887.2	60.6	104.2	186.8	339.1	47.90	1 388.2	15.35	1.01	26.2	0.167	14.01
Y5	1 360.0	889.4	716.2	5 751.9	2 766.9	10.3	15.9	33.6	41.6	7.6	63.8	48.4	0.70	17.98	0.065	0.043	0.289	0.062	0.043
T5	9 408.9	9 976.9	37 580.8	17 351.7	22 384.3	5 470.4	5 634.2	1 034.3	40.2	115.9	117.7	303.8	48.60	1 361.6	11.48	1.321	24.07	0.171	15.321
Y6	1 052.1	957.6	753.1	5 629.0	3 203.4	9.1	11.0	30.6	46.2	1.8	44.4	49.2	0.76	21.1	0.07	0.037	0.245	0.073	0.045
T6	7 008.9	12 927.0	42 098.5	19 383.3	18 403.3	8 551.6	5 075.9	13 09.0	49.1	171.1	174.6	301.4	51.25	1 628.1	12.89	1.21	24.52	0.165	13.21
Y7	1 023.8	819.7	112.6	4 632.7	2 183.9	11.3	13.7	29.7	52.5	1.2	81.5	46.8	0.65	20.0	0.069	0.052	0.312	0.058	0.041
T7	7 193.1	11 013.6	21 119.5	16 945.8	10 875.8	7 609.8	2 193.1	1 013.6	109.5	145.7	175.7	290.0	45.74	1 275.0	13.24	1.321	25.02	0.159	14.52
Y8	984.0	954.3	106.8	6 588.4	2 524.8	13.3	14.0	32.3	16.7	9.9	64.4	45.1	0.68	20.5	0.065	0.027	0.276	0.077	0.052
T8	6 582.8	11 703.0	22 138.4	18 369.8	9 006.0	8 359.5	4 582.8	1 089.9	38.4	139.5	165.3	287.8	49.73	1 355.3	13.35	1.048	25.30	0.161	15.02
Y9	1 027.9	809.1	353.5	4 707.9	2 397.0	12.6	16.8	33.2	33.6	0.92	85.1	46.6	0.72	21.6	0.063	0.049	0.251	0.071	0.061
T9	6 210.9	9 953.0	62 033.5	19 099.9	11 741.0	7 312.0	4 696.5	1 220.5	57.8	159.1	171.4	305.5	50.26	1 487.6	10.67	1.584	26.03	0.172	16.23
Y10	966.3	923.1	288.4	4 737.1	3 229.2	14.8	16.3	27.1	88.4	1.7	80.6	54.3	0.70	29.0	0.068	0.025	0.269	0.056	0.066
T10	6 961.1	11 041.8	51 106.1	16 929.7	15 750.3	8 695.5	3 961.1	1 053.5	106.1	129.3	157.5	305.5	40.24	1 540.5	10.47	1.048	25.51	0.152	17.43
Y11	1 023.4	921.3	275.0	5 751.9	3 792.0	9.1	13.4	21.5	71.1	1.9	77.6	57.2	0.87	23.5	0.041	0.042	0.372	0.081	0.05
T11	7 818.8	10 166.8	49 134.5	17 351.7	15 270.9	6 126.6	3 818.8	879.4	134.6	103.2	154.6	326.5	52.07	1 427.6	11.29	1.331	27.32	0.180	15.67
Y12	1 075.8	915.8	255.1	4 655.8	5 183.9	14.2	23.0	38.7	30.9	1.1	76.8	65.4	0.72	23.8	0.058	0.045	0.312	0.095	0.07
T12	7 196.3	5 468.5	48 582.8	13 919.6	18 875.8	45 56.7	5 549.1	1 173.8	45.1	118.6	138.7	298.5	49.48	1 489.8	11.026	1.675	25.02	0.214	18.89

表 2 亳白芍药材中没食子酸 (H₁) 等 5 种成分及水浸出物 (H₆) ($n=4$)

Table 2 Test results of five components, such as gallic acid, and water extract in *Paoniae Radix Alba* ($n=4$) %

编号	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆
Y1	0.28	0.52	1.700	0.015	0.142	30.120
Y2	0.26	0.56	1.630	0.014	0.140	28.810
Y3	0.30	0.53	1.720	0.017	0.148	31.160
Y4	0.32	0.54	1.750	0.015	0.139	30.640
Y5	0.28	0.51	1.740	0.015	0.138	29.570
Y6	0.39	0.59	1.790	0.021	0.142	31.280
Y7	0.44	0.52	1.510	0.018	0.143	33.140
Y8	0.41	0.56	1.670	0.023	0.141	32.650
Y9	0.35	0.58	1.760	0.021	0.145	32.840
Y10	0.51	0.70	1.700	0.022	0.147	33.410
Y11	0.37	0.53	1.680	0.019	0.139	30.120
Y12	0.31	0.47	1.690	0.017	0.140	29.560

现一定的相关性,其中 Cr, Hg, Cd, Cu 含量呈显著正相关 (Cr, Cd, Cu 的 $P < 0.01$, Hg 的 $P < 0.05$); 土壤中 Ca, Al, Ti 含量与药材中 Cu 呈显著正相关; 土壤

中 Ca 含量与药材中 Cd 呈显著正相关,与药材中 Mg 含量和 K 呈显著负相关; 土壤中 Mn 含量与药材中 Cr、土壤中 Sr 含量与药材中 Co, Al, 土壤中 Ti 含量与药材中 Mg, K 均呈显著负相关; 土壤中 Cu 含量与药材中 Na, K 呈显著负相关,与药材中 Fe 呈显著正相关; 土壤中 Pb 含量与药材中 Cr 呈显著正相关。

土壤中 Na 元素含量与药材中没食子酸、芍药内酯苷、芍药苷、苯甲酸、苯甲酰芍药苷的含量及水浸出物量均呈负相关,其中与没食子酸、苯甲酸含量和水浸出物量呈显著负相关; 土壤中 Al 元素含量与药材中没食子酸、芍药内酯苷含量, Ti 元素含量与芍药苷含量, Co 元素含量与苯甲酸含量和水浸出物量, Zn 元素含量与水浸出物量均呈显著正相关; 土壤中 Ti 元素含量与药材中没食子酸和水浸出物量, Sr 元素含量与没食子酸、苯甲酸含量, Se 元素含量与芍药苷含量均呈显著负相关,其他相关性不强。这可能与元素促进或抑制主成分的合成有关,具体可再进一步研究。

通过对亳白芍药材质量和其中无机元素与土壤

表 3 不同来源白芍药材与土壤中无机元素含量 Pearson 相关性

Table 3 Pearson correlation results of contents of inorganic elements in soil and *Paoniae Radix Alba* from different sources

元素	Na	Mg	Fe	K	Ca	Al	Ti	Mn	Cr	Co	Zn	Sr	Se	Ba	As	Hg	Pb	Cd	Cu
Na	0.641	-0.006	-0.191	0.225	0.591 ¹⁾	-0.616 ¹⁾	0.481	-0.397	-0.395	-0.417	-0.612 ¹⁾	0.516	0.282	-0.376	-0.052	-0.023	0.177	-0.155	-0.269
Mg	-0.263	0.251	-0.069	-0.001	0.380	0.036	0.177	0.279	0.012	-0.029	0.231	-0.229	0.169	0.320	0.464	-0.541	-0.176	0.147	-0.115
Fe	0.583 ¹⁾	0.073	0.096	0.356	0.189	0.139	0.553	0.019	-0.386	-0.034	-0.389	0.398	-0.101	0.407	-0.074	-0.185	-0.318	-0.258	-0.334
K	-0.032	0.442	-0.327	0.361	0.002	0.223	0.234	0.086	-0.157	-0.003	-0.084	-0.041	0.441	-0.011	0.344	-0.595 ¹⁾²⁾	0.082	-0.211	-0.444
Ca	-0.264	-0.663 ¹⁾	0.418	-0.735 ²⁾	0.490	-0.343	0.221	0.235	0.087	-0.242	-0.101	-0.246	0.159	0.365	-0.166	-0.378	-0.070	0.857 ²⁾	0.649 ¹⁾
Al	-0.541	-0.414	-0.247	-0.516	-0.353	0.480	-0.051	0.437	-0.021	0.253	-0.143	-0.505	-0.461	0.218	-0.421	0.130	-0.327	0.191	0.698 ¹⁾
Ti	-0.209	-0.743 ²⁾	0.318	-0.637 ¹⁾	0.253	-0.465	0.199	0.045	-0.155	-0.193	-0.414	-0.090	0.084	-0.146	-0.531	0.595 ¹⁾	0.202	0.558	0.775 ²⁾
Mn	-0.020	-0.403	-0.051	-0.167	0.121	-0.184	0.500	0.310	-0.716 ²⁾	0.189	-0.445	-0.043	0.208	-0.070	-0.235	0.301	-0.167	0.203	0.223
Cr	-0.187	0.186	0.331	-0.171	0.201	0.244	-0.473	-0.092	0.823 ²⁾	-0.102	0.133	-0.070	-0.463	0.268	-0.182	-0.214	0.081	-0.133	0.158
Co	-0.154	0.149	-0.398	-0.036	-0.083	0.237	0.167	0.143	-0.350	0.046	-0.213	-0.452	0.096	-0.258	0.152	-0.182	-0.411	-0.017	-0.053
Zn	-0.038	-0.311	0.230	-0.191	-0.297	0.056	-0.261	-0.073	0.393	-0.235	0.136	-0.022	-0.419	-0.021	0.040	-0.160	-0.045	0.077	0.308
Sr	0.384	-0.326	0.108	-0.164	0.507	-0.792 ²⁾	0.246	-0.430	0.040	-0.639 ¹⁾	-0.079	0.528	0.120	-0.039	0.084	-0.001	0.502	0.276	0.186
Se	0.166	0.051	0.267	0.222	0.138	-0.139	0.197	-0.287	0.202	-0.242	-0.390	0.555	0.529	0.109	-0.418	0.021	0.615 ¹⁾	-0.086	-0.108
Ba	-0.351	-0.089	0.471	-0.248	-0.012	0.306	-0.133	0.148	0.473	-0.032	0.074	-0.047	-0.415	0.505	-0.291	-0.248	0.134	0.012	0.457
As	0.043	0.362	-0.355	0.269	-0.064	0.278	0.029	0.258	-0.472	0.501	0.131	-0.122	-0.428	0.003	0.173	-0.176	-0.396	-0.482	-0.275
Hg	0.224	-0.373	0.040	-0.122	0.052	-0.520	-0.149	-0.211	0.010	-0.075	-0.022	0.161	0.282	-0.392	-0.084	0.660 ¹⁾	0.176	0.299	0.002
Pb	-0.155	-0.221	-0.020	-0.372	0.061	-0.084	-0.289	-0.154	0.577 ¹⁾	-0.359	-0.158	-0.098	0.232	-0.192	0.004	-0.089	0.132	0.303	0.147
Cd	-0.440	-0.526	0.278	-0.539	0.141	-0.237	0.142	0.370	-0.082	0.012	0.198	-0.453	0.439	0.210	0.058	0.479	-0.121	0.889 ²⁾	0.463
Cu	-0.594 ¹⁾	-0.576	0.638 ¹⁾	-0.600 ¹⁾	0.018	0.025	0.075	0.379	0.058	0.095	-0.019	-0.366	-0.137	0.357	-0.522	0.441	0.052	0.554	0.889 ²⁾

注: ¹⁾P < 0.05; ²⁾P < 0.01。表 4 同。

表 4 亳白芍主成分和水浸出物与土壤中无机元素含量 Pearson 相关性

Table 4 Pearson correlation results of main components of *Paoniae Radix Alba*, water extract and inorganic element content in soil

主成分	Na	Mg	Fe	K	Ca	Al	Ti	Mn	Cr	Co	Zn	Sr	Se	Ba	As	Hg	Pb	Cd	Cu
H ₁	-0.693 ¹⁾	0.287	0.25	0.228	-0.373	0.667 ¹⁾	-0.691 ¹⁾	0.315	0.554	0.451	0.543	-0.629 ¹⁾	0.498	0.187	0.016	-0.112	-0.208	-0.108	0.199
H ₂	-0.258	0.472	0.305	0.305	-0.217	0.651 ¹⁾	-0.179	0.202	0.244	0.342	0.319	-0.109	-0.612 ¹⁾	0.512	-0.146	-0.362	-0.081	-0.489	0.023 ¹⁾
H ₃	-0.025	0.091	0.543	0.543	0.552	-0.209	0.647 ¹⁾	0.297	-0.417	0.109	-0.022	0.097	0.364	0.512	-0.128	0.098	0.061	0.172	0.013
H ₄	-0.848 ²⁾	0.225	0.229	-0.094	-0.354	0.285	-0.350	0.548	0.204	0.642 ¹⁾	0.461	-0.660 ¹⁾	-0.069	0.337	-0.156	0.099	-0.136	0.047	0.240
H ₅	-0.302	0.141	0.222	0.064	-0.354	0.285	-0.334	0.002	0.164	0.379	0.107	0.033	-0.308	0.022	-0.537	0.279	0.379	-0.351	0.231
H ₆	-0.701 ¹⁾	0.347	-0.10	-0.010	-0.545	0.572	-0.672 ¹⁾	0.310	0.320	0.617 ¹⁾	0.601 ¹⁾	-0.563	-0.355	-0.046	-0.015	0.040	-0.054	-0.237	0.113

的无机元素相关性研究、分析,为亳白芍种植基地的选择及其 GAP 规范化种植提供参考依据。

[参考文献]

[1] 高学敏. 中药学[M]. 北京:中国中医药出版社,2015:463-464.
 [2] 丁艳萍. 安徽省主要中药材及其产地土壤重金属调查与评价[D]. 合肥:安徽农业大学,2013.
 [3] 马艳,张百霞,郭庆梅,等. 无机元素在土壤与忍冬不同器官药材的相关分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2015,21(6):69-73.
 [4] 尹海波,张囡,康廷国. 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.

[5] 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,2015:105-106.
 [6] 曹帅,王文建,权春梅,等. 芍药与土壤中重金属含量相关性研究——以亳芍药为例[J]. 文山学院学报,2016,29(3):11-14.
 [7] 赵曼茜,吕金嵘,杨光,等. 土壤无机元素对赤芍无机元素及芍药苷含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2009,15(10):38-42.
 [8] 王利丽,张涛,陈随清,等. 土壤中无机元素与山茱萸药材质量的相关性分析[J]. 中药材,2011,34(8):1167-1172.
 [9] 李晓松. 医药统计学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2008:164-198.

[责任编辑 顾雪竹]