

河北省不同地区蒲公英主效成分变化及土壤因子相关性分析

孟然, 李赵嘉, 吴哲, 宁亚茹, 薛志忠, 鲁雪林, 王秀萍*

(河北省农林科学院滨海农业研究所, 唐山市植物耐盐重点实验室, 唐山市工程技术研究中心, 河北唐山 063200)

摘要 [目的]研究土壤环境中微量元素、土壤养分(氮、磷、钾、有机质)、pH等对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响。[方法]采集不同种植区域的蒲公英和土壤样本,分析蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量变化以及土壤养分、微量元素、重金属含量的相关性。[结果]蒲公英茎叶和根中绿原酸、咖啡酸均与砷含量呈负相关;茎叶中绿原酸、咖啡酸与钙、锌等营养元素呈负相关,与碱解氮含量呈显著负相关($P<0.05$),茎叶中绿原酸与有机质含量呈显著负相关($P<0.05$),咖啡酸与有机质含量呈极显著负相关($P<0.01$)。蒲公英根中绿原酸与汞、咖啡酸与铅分别呈极显著正相关($P<0.01$),根中绿原酸、咖啡酸与各土壤理化性质均未达到显著相关水平($P>0.05$)。[结论]砷元素阻碍蒲公英茎叶中绿原酸的积累,钙、锌等营养元素含量低有利于绿原酸和咖啡酸等含量增加;土壤环境的胁迫应激,可能使蒲公英为适应环境而分泌大量绿原酸、咖啡酸;蒲公英种植过程中应合理减少施用氮肥和有机肥。

关键词 蒲公英;绿原酸;咖啡酸;土壤因子;微量元素

中图分类号 S567.23 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)15-0189-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.15.054



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Changes of Main Effect Components of Dandelion and Correlation Analysis of Soil Factors in Different Regions of Hebei Province
MENG Ran, LI Zhao-jia, WU Zhe et al (Binhai Agricultural Research Institute of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Tangshan Key Laboratory of Plant Salt-Tolerance Research, Tangshan Engineering Technology Research Center, Tangshan, Hebei 063200)

Abstract [Objective] To study the effects of trace elements, soil nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter) and pH in the soil environment on chlorogenic acid and caffeic acid content in dandelion. [Method] Collecting dandelion and soil samples from different planting areas, the changes of dandelion chlorogenic acid and caffeic acid content and their correlation with soil nutrients, trace elements and heavy metals were analyzed. [Result] The content of chlorogenic acid and caffeic acid in the stems, leaves and roots of dandelion were negatively correlated with arsenic content; chlorogenic acid and caffeic acid in stems and leaves were negatively correlated with calcium, zinc and other nutrients, and significantly negatively correlated with alkaline nitrogen content ($P<0.05$), chlorogenic acid in stems and leaves had a significant negative correlation with organic matter content ($P<0.05$), caffeic acid showed a extremely significant negative correlation with organic matter content ($P<0.01$). In roots of dandelion, the content of chlorogenic acid and mercury, caffeic acid and lead were extremely significantly positively correlated ($P<0.01$), respectively, while the content of chlorogenic acid and caffeic acid in the roots did not reach significant correlation levels with the physical and chemical properties of each soil ($P>0.05$). [Conclusion] Arsenic hinders the accumulation of chlorogenic acid in stems and leaves of dandelion, and the low content of calcium, iron and other nutrients is beneficial to the increase of chlorogenic acid and caffeic acid. Stress may cause dandelion to secrete a large amount of chlorogenic acid and caffeic acid in order to adapt to the environment. During the dandelion planting process, the application of nitrogen fertilizer and organic fertilizer should be reduced reasonably.

Key words Dandelion; Chlorogenic acid; Caffeic acid; Soil factors; Trace elements

蒲公英(*Taraxacum mongolicum* Hand. Mazz.)又名婆婆丁、黄花地丁,是菊科舌状花亚科蒲公英属多年生草本植物,主要分布于我国华北、东北、西北等省区^[1]。作为一种药食同源的植物,蒲公英含有酚酸类、黄酮类、多糖类、甾醇类等50余种活性化合物^[2],具有抑菌抗炎、抗氧化、抗癌、抗血栓、免疫调节等功效^[3],临床上主要用于治疗咽痛、疔疮肿毒、湿热黄疸和热淋涩痛等症状^[4]。蒲公英中酚酸类化合物丰富,尤其是咖啡酸和绿原酸含量较高^[5]。作为蒲公英中主要活性成分,绿原酸和咖啡酸是其植株体内的次生代谢产物,可帮助植物重新调节内部环境并支持它们适应不断变化的外部环境条件^[6],药理研究证明绿原酸具有广谱抑菌的作用,咖啡酸具有抗氧化、抗肿瘤等作用。

植物生长环境是影响其品质和功效的重要因素,土壤酸碱度、重金属元素、微量元素、速效养分等影响药用植物的生

长发育,甚至是有效成分的含量^[7]。土壤速效养分被植物直接吸收并利用后可提高其产量和品质。氮、磷、钾是植物生长过程所必需的矿质元素,氮可促进药材对磷、钾、钙的吸收,显著增加产量,还可促进体内生物碱、苷类、维生素等成分的形成和累积。磷可调控生物体内的营养元素,增强植株抗病、抗逆能力。钾能提高植物光合作用效率,促进碳水化合物形成、转运和贮藏,促进氮的吸收,加速蛋白质的合成,提高抗倒伏、抗病虫害的能力^[8]。土壤矿质元素作为植物的营养库,对植物的生长发育、产量性状、初生和次生代谢物质的种类和数量均有很大的影响^[9]。

目前已有不少关于药用植物的活性成分与其生长环境的关系研究^[10-11],而对蒲公英主效成分与土壤之间相关性的研究鲜见报道。为更好地了解和应用这一丰富的药用植物资源,该研究以张家口市万全区、崇礼区和唐山市曹妃甸区采样的蒲公英及其生长土壤为研究对象,探讨不同种植区域蒲公英绿原酸和咖啡酸的变化及与土壤养分、微量元素、重金属元素的相关性,旨在优化蒲公英质控栽培技术、调控蒲公英品质,为其可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 不同区域栽种的蒲公英品种均来自河北省

基金项目 河北省成果转化项目“优质高产蒲公英新品种‘滨蒲1号’繁育及标准化栽培技术中试”(19826902D);河北省农林科学院现代农业科技创新工程课题(2019-1-6-1)。

作者简介 孟然(1993—),女,河北唐山人,研究实习员,硕士,从事耐盐植物研究。*通信作者,研究员,从事耐盐功能植物加工研究。

收稿日期 2020-03-12

农林科学院滨海农业研究所提供的新品系“蒲公英3号”。

1.2 药品与试剂 咖啡酸对照品(纯度 $\geq 98\%$)、绿原酸对照品(纯度 $\geq 95\%$)均来自 sigma; 纤维素酶(酶活性: 10 000 U/g)来自 macklin; 超纯水、氯化铵溶液为分析纯; 甲醇、磷酸为色谱纯; 硝酸、盐酸、硝酸镉均为优级纯。

1.3 仪器与设备 GX-9240MBE 电热鼓风干燥箱(上海博讯公司医疗设备厂); HH-6 数显恒温水浴锅(上海力辰邦仪器科技有限公司); Agilent 1200 高效液相色谱仪(色谱柱型号 Agilent ZORBAX SB-C₁₈, 250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m); AP124W 电子天平(日本岛津公司); JT-1027HTD 机械超声波清洗机(深圳市洁拓超声波清洗设备有限公司); HC-800Y 粉碎机(浙江永康敏业工贸有限公司); Z-2000 型火焰原子吸收光谱仪; 石墨炉原子吸收光谱仪; 电感耦合等离子体发射光谱仪; 原子荧光光谱仪; 冷原子吸收测汞仪。

1.4 样品采集与处理

1.4.1 样品采集地点。河北省张家口市万全区“张家口爱康生态茶业有限公司”蒲公英生产基地: 丰胜庄(40°45′41.21″N, 114°30′51.51″E)、柳沟(40°46′13.88″N, 114°24′58.27″E)、爱康基地(40°44′57.39″N, 114°25′54.14″E)、20号棚(40°45′56.69″N, 114°32′51.22″E); 张家口市崇礼区上南窑村(41°14′7.56″N, 115°28′56.78″E); 唐山市曹妃甸区“绿之苑生态农业有限公司”蒲公英生产基地(39°18′13.25″N, 118°26′59.76″E)。

1.4.2 样品采集方法。选择生长状态良好、无机械损伤的蒲公英植株, 在所取蒲公英植株近根处采集土壤样品, 用取土器垂直取 20 cm 深度的耕层土壤, 将蒲公英样品和土壤样品分别装牛皮纸袋, 编号, 每个样点采集样本 3 份。

1.4.3 蒲公英样品制备。选取蒲公英茎叶, 于 60 °C 烘干 48 h, 粉碎后过 100 目滤筛, 置于干燥器中备用。配制 0.1% 纤维素酶水溶液, pH=4, 备用; 配制 70% 甲醇溶液, 备用。

1.4.4 土壤样品制备。将采集土壤平行样本分别混匀, 置于 80 °C 烘箱中干燥至恒重, 研钵研成细粉, 过 100 目筛。准确称取土壤样品 0.2 g, 加入 4 mL 浓 HNO₃ 和 1 mL 浓 HCl 振荡, 于消解罐中密封放置 12 h。消解后取出冷却至室温, 用超纯水稀释, 抽滤, 将溶液转移至 100 mL 容量瓶中, 定容, 摇匀。同法制备样品空白溶液。

1.5 样品测定

1.5.1 蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的测定。采用超声辅助甲醇提取法对蒲公英茎叶及根中的绿原酸和咖啡酸进行提取, 称取约 0.083 3 g 蒲公英样品(料液比 1:300)于容量瓶中, 加入 5 mL 纤维素酶溶液, 60 °C 水浴 30 min, 加入无水甲醇 12 mL, 将甲醇浓度调至 70%, 随后用 70% 甲醇溶液定容至 25 mL, 最后在超声功率 100~360 W、水温 60 °C 条件下超声 120 min, 取出冷却至室温, 利用注射器和 0.45 μ m 滤膜将提取液注入进样瓶, 待测。

参照夏琴等^[12]的方法略有修改, 采用高效液相色谱法对蒲公英中绿原酸和咖啡酸含量进行测定。以绿原酸、咖啡酸的质量浓度(μ g/mL)为横坐标(x)、峰面积为纵坐标(y)进

行线性回归, 根据绿原酸和咖啡酸回归方程 $y = 16.835x - 16.971$ 和 $y = 22.173x - 13.042$ 计算样品中绿原酸和咖啡酸的含量。

1.5.2 土壤微量元素含量的测定。根据国家标准测定方法, 采用火焰原子吸收光谱法, 将周蓓^[13]的方法做了部分修改, 对土壤中铅、锌、铜、铬元素进行测定; 采用石墨炉原子吸收光谱法对镉元素进行测定; 采用电感耦合等离子体发射光谱法对硼、钙、镁、铁和锰元素进行测定; 采用原子荧光光谱法对砷元素进行测定; 采用冷原子吸收测汞仪测定汞元素含量。

1.5.3 土壤养分含量的测定。参照《土壤农化分析》^[14]及《土壤学实验指导》^[15]的方法, 土壤中碱解氮采用碱解扩散法测定, 速效磷采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定, 速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度法测定, 有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定, 土壤 pH 采用电位测定法测定。

1.6 数据处理 所得数据使用 Microsoft Excel 2007 进行统计, 并采用 SPSS 22.0 软件统计包单因素 ANOVA 方差分析对主效成分、土壤因子含量分别进行显著性分析, 采用双变量 Pearson 相关分析法对每个区域土壤因子与蒲公英中主效成分绿原酸、咖啡酸含量进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植区域蒲公英茎叶、根中绿原酸和咖啡酸含量的变化特征 由表 1 可知, 除万全 20 号棚外, 不同种植区域蒲公英茎叶中绿原酸含量高于根中绿原酸含量, 咖啡酸含量同样为茎叶中含量高于根中含量。绿之苑东西区茎叶中绿原酸含量分别为 0.56%、0.88%, 咖啡酸含量分别为 0.52%、0.91%, 均显著高于其他区域茎叶中绿原酸、咖啡酸含量($P < 0.05$), 且绿之苑东西区间茎叶中绿原酸、咖啡酸含量存在显著差异($P < 0.05$); 绿之苑东区根中绿原酸含量最高, 为 0.28%, 较其他组差异显著($P < 0.05$), 绿之苑东区根中咖啡酸含量最高, 为 0.13%, 与其他区域蒲公英根中咖啡酸含量之间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 蒲公英不同种植区土壤环境因子特征

2.2.1 土壤微量元素变化特征。由表 2 可知, 不同种植区域土壤中微量元素的含量各不相同, 其中, 万全柳沟土壤中镁、铁、锰、锌、全硼、铜含量分别达 19.47 g/kg、50.93 g/kg、775.33 mg/kg、97.00 mg/kg、54.13 mg/kg、54.33 mg/kg, 均为最高含量值, 且除全硼含量外与其他各组差异显著($P < 0.05$); 崇礼区土壤中全硫含量最高, 为 0.66 g/kg, 且与其他各区域土壤中全硫含量差异显著($P < 0.05$); 万全 20 号棚、爱康基地土壤中钙含量分别为 40.07 和 38.03 g/kg, 显著高于其他区域($P < 0.05$)。

2.2.2 土壤重金属变化特征。由表 3 可知, 万全 20 号棚土壤中含铅量最高; 万全柳沟土壤中铬、镉含量均为最高, 且与其他区域有显著性差异($P < 0.05$); 绿之苑东区土壤中汞含量最高, 其余各区域的汞含量之间差异不显著($P > 0.05$); 万全爱康基地土壤中砷含量最高, 除崇礼上南窑村外, 与其他区域有显著性差异($P < 0.05$)。

表 1 不同种植区域蒲公英茎叶、根中绿原酸和咖啡酸含量 ($n=3$)

Table 1 Contents of chlorogenic acid and caffeic acid in the stems, leaves and roots of dandelion in different planting areas

%

序号 No.	采样点 Sampling location	绿原酸含量 Content of chlorogenic acid		咖啡酸含量 Content of caffeic acid	
		茎叶 Stem and leaf	根 Root	茎叶 Stem and leaf	根 Root
1	崇礼上南窑村	0.18±0.02 a	0.08±0.01 a	0.10±0.02 a	0.05±0.01 a
2	万全爱康基地	0.27±0.01 a	0.11±0.01 ab	0.14±0.02 a	0.07±0.01 a
3	万全柳沟	0.26±0.03 a	0.10±0.01 ab	0.13±0.03 a	0.05±0.01 a
4	万全丰胜庄	0.20±0.04 a	0.10±0.02 ab	0.09±0.02 a	0.06±0.02 a
5	万全 20 号棚	0.09±0.01 a	0.11±0.02 ab	0.04±0.01 a	0.09±0.02 a
6	绿之苑东区	0.56±0.07 b	0.28±0.02 c	0.52±0.07 b	0.13±0.08 a
7	绿之苑西区	0.88±0.18 c	0.14±0.03 b	0.91±0.26 c	0.10±0.04 a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$)表 2 蒲公英不同种植区土壤微量元素的含量 ($n=3$)

Table 2 Contents of trace elements in soil of different dandelion planting areas

序号 No.	采样点 Sampling location	钙 Ca g/kg	镁 Mg g/kg	全硫 S g/kg	铁 Fe g/kg	锰 Mn mg/kg	锌 Zn mg/kg	全硼 B mg/kg	铜 Cu mg/kg
1	崇礼上南窑村	11.23±1.27 a	7.63±0.62 a	0.66±0.10 c	30.47±1.77 bc	608.33±44.77 ab	50.00±1.73 a	37.17±5.28 a	18.67±0.58 a
2	万全爱康基地	38.03±3.96 d	9.64±0.25 b	0.20±0.04 a	32.17±1.27 cd	545.33±30.24 a	64.00±1.00 b	40.57±5.08 ab	30.67±4.51 b
3	万全柳沟	30.33±3.00 c	19.47±1.37 c	0.21±0.02 a	50.93±0.75 e	775.33±28.04 c	97.00±1.73 c	54.13±0.76 b	54.33±2.52 c
4	万全丰胜庄	19.40±0.56 b	8.80±0.18 ab	0.17±0.02 a	34.50±1.25 d	541.67±11.50 a	65.67±5.51 b	38.93±1.60 a	20.33±2.31 a
5	万全 20 号棚	40.07±5.65 d	9.11±0.16 ab	0.43±0.12 b	31.73±0.76 cd	529.33±30.57 a	72.67±4.73 b	42.97±5.95 ab	22.00±1.73 a
6	绿之苑东区	8.61±0.49 a	8.47±0.85 ab	0.25±0.02 a	27.67±2.84 ab	647.00±87.71 b	55.33±4.51 a	35.57±4.87 a	32.67±2.89 b
7	绿之苑西区	12.04±2.63 a	9.12±1.61 ab	0.16±0.01 a	25.63±3.91 a	558.33±80.89 ab	49.67±9.02 a	31.87±4.79 a	19.33±3.51 a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$)表 3 蒲公英不同种植区土壤重金属的含量 ($n=3$)

Table 3 Contents of heavy metals in soil of different dandelion planting areas

mg/kg

序号 No.	采样点 Sampling location	铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd	汞 Hg	砷 As
1	崇礼上南窑村	26.00±1.00 bc	47.00±1.00 ab	0.12±0.02 a	0.02±0.00 a	9.78±0.24 c
2	万全爱康基地	23.33±1.53 ab	59.00±4.58 c	0.12±0.02 a	0.01±0.00 a	10.11±0.16 c
3	万全柳沟	23.00±1.00 a	99.33±2.08 d	0.17±0.03 b	0.02±0.00 a	7.18±0.50 b
4	万全丰胜庄	26.00±1.00 bc	52.00±2.00 bc	0.10±0.03 a	0.02±0.00 a	7.57±0.14 b
5	万全 20 号棚	27.33±0.58 c	50.67±4.16 b	0.11±0.01 a	0.02±0.00 a	7.69±0.38 b
6	绿之苑东区	27.00±2.65 c	47.33±4.04 ab	0.11±0.01 a	0.04±0.01 b	6.27±0.49 a
7	绿之苑西区	26.67±1.53 c	41.67±7.10 a	0.12±0.05 a	0.02±0.01 a	5.79±0.70 a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$)

2.2.3 土壤养分变化特征。由表 4 可知, 8 个采集地土壤 pH 均在 7.5~8.0, 属于弱碱性土壤。土壤样品碱解氮含量为 36.75~155.40 mg/kg, 崇礼上南窑村含量最高, 且除绿之苑东区外与其他各组差异显著 ($P<0.05$); 速效磷含量为 0.54~4.50 mg/kg, 其中万全 20 号棚含量最高, 且与其他区域有显著性差异 ($P<0.05$); 速效钾含量为 122.23~419.85 mg/kg, 其中万全柳沟含量最高; 土壤的有机质含量为 8.74~21.55 g/kg, 万全 20 号棚含量最高。

2.3 土壤因子对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响

2.3.1 土壤微量元素对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响。从表 5 可以看出, 蒲公英茎叶中绿原酸含量与钙、锌呈显著负相关 ($P<0.05$), 相关系数分别为 -0.547、-0.462。茎叶中咖啡酸含量与钙呈极显著负相关 ($P<0.01$), 相关系数

达 -0.552, 如绿之苑东、西两区蒲公英茎叶中咖啡酸含量显著高于其他区域的含量, 其土壤钙含量显著低于其他区域的含量; 同样, 茎叶中咖啡酸含量与铁、锌呈显著负相关 ($P<0.05$)。根中绿原酸、咖啡酸均未与土壤微量元素呈现显著相关性 ($P>0.05$)。

2.3.2 土壤重金属对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响。从表 6 可以看出, 蒲公英茎叶中绿原酸、咖啡酸含量均与砷元素呈极显著负相关 ($P<0.01$), 其中咖啡酸含量与砷元素相关系数达 -0.671, 如绿之苑东、西两区蒲公英茎叶中咖啡酸含量显著高于其他区域的含量, 但土壤中砷元素显著低于其他区域的含量; 根中绿原酸含量与汞呈极显著正相关 ($P<0.01$), 相关系数达 0.761, 如绿之苑东区蒲公英根中绿原酸含量和土壤中汞元素含量均显著高于其他区域的含量;

根中的咖啡酸含量与铅呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为0.580。

表4 蒲公英不同种植区土壤养分含量($n=3$)

Table 4 Content of soil nutrient in different dandelion planting areas

序号 No.	采样点 Sampling location	pH	碱解氮 Alkaline nitrogen mg/kg	速效磷 Fast-acting phosphorus mg/kg	速效钾 Fast-acting potassium mg/kg	有机质 Organic matter g/kg
1	崇礼上南窑村	7.67±0.12	155.40±4.81 d	0.54±0.08 a	122.23±24.55 a	8.99±3.84 a
2	万全爱康基地	7.72±0.18	72.45±9.27 ab	0.97±0.41 ab	234.16±74.35 ab	17.16±2.18 bc
3	万全柳沟	7.80±0.14	90.30±17.51 bc	1.62±0.44 b	419.85±155.72 b	15.29±6.50 abc
4	万全丰胜庄	7.81±0.19	76.65±14.17 abc	0.86±0.31 ab	277.38±15.84 ab	16.96±3.71 bc
5	万全20号棚	7.57±0.25	101.85±10.13 bc	4.50±0.69 c	295.82±75.63 ab	21.55±1.78 c
6	绿之苑东区	7.69±0.21	118.65±42.29 cd	0.85±0.49 ab	140.15±37.18 ab	12.37±2.09 ab
7	绿之苑西区	7.72±0.20	36.75±12.95 a	0.67±0.12 a	250.27±109.05 a	8.74±3.85 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$)

表5 土壤微量元素对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响

Table 5 Effects of trace elements in soil on content of chlorogenic acid and caffeic acid in dandelion

化合物 Compound	部位 Part	钙 Ca	镁 Mg	全硫 S	铁 Fe	锰 Mn	锌 Zn	全硼 P	铜 Cu
绿原酸 Chlorogenic acid	茎叶	-0.547 *	-0.136	-0.420	-0.432	-0.050	-0.462 *	-0.315	-0.105
	根	-0.423	-0.222	-0.245	-0.391	0.043	-0.291	-0.204	0.080
咖啡酸 Caffeic acid	茎叶	-0.552 **	-0.209	-0.345	-0.500 *	-0.131	-0.512 *	-0.314	-0.187
	根	-0.180	-0.281	-0.169	-0.397	-0.210	-0.286	-0.173	-0.159

注: * 表示水平上(双侧)显著相关($P<0.05$), ** 表示水平上(双侧)极显著相关($P<0.01$)

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$) at the level (bilateral), and ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$) at the level (bilateral)

表6 土壤重金属对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响

Table 6 Effects of heavy metals in soil on content of chlorogenic acid and caffeic acid in dandelion

化合物 Compound	部位 Part	铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd	汞 Hg	砷 As
绿原酸 Chlorogenic acid	茎叶	0.103	-0.330	-0.121	0.277	-0.649 **
	根	0.233	-0.281	-0.181	0.761 **	-0.527 *
咖啡酸 Caffeic acid	茎叶	0.232	-0.392	-0.226	0.229	-0.671 **
	根	0.580 **	-0.295	-0.250	0.315	-0.442 *

注: * 表示水平上(双侧)显著相关($P<0.05$), ** 表示水平上(双侧)极显著相关($P<0.01$)

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$) at the level (bilateral), and ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$) at the level (bilateral)

2.3.3 土壤养分对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响。

从表7可以看出,蒲公英茎叶中绿原酸含量与碱解氮和有机质均呈显著负相关($P<0.05$),相关系数分别为-0.448、-0.547。蒲公英茎叶中的咖啡酸含量与碱解氮呈显著负相关($P<0.05$),相关系数为-0.488;与有机质呈极显著负相关($P<0.01$),相关系数为-0.567。根中咖啡酸、绿原酸含量与土壤养分指标均未达到显著相关水平($P>0.05$)。可见,随着土壤中碱解氮、有机质含量增加,蒲公英茎叶中绿原酸和咖啡酸含量有所减少。

3 结论与讨论

不同种植区域蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量差异明显。相对来说,蒲公英茎叶中绿原酸、咖啡酸含量高于根中绿原酸、咖啡酸含量,这与前人的研究结果一致^[16]。此次试验中绿之苑两区绿原酸、咖啡酸含量均高于其他区域。不同种植区域土壤中微量元素含量各不相同,重金属元素含量均未超

过国家标准中规定的上限,符合种植要求。所测土壤样品均为弱碱性土壤,根据土壤养分分级^[14]表明,土壤碱解氮从极缺到极丰富均有分布,速效磷含量处于极缺水平,速效钾含量从中等到极丰富水平均有分布。综合来看,总体土壤养分处于缺乏到中等水平。

表7 土壤养分对蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量的影响

Table 7 Effects of soil nutrients on chlorogenic acid and caffeic acid content in dandelion

化合物 Compound	部位 Part	pH	碱解氮 Alkaline nitrogen	速效磷 Fast-acting phosphorus	速效钾 Fast-acting potassium	有机质 Organic matter
绿原酸 Chlorogenic acid	茎叶	0.130	-0.448 *	-0.424	-0.196	-0.547 *
	根	0.009	0.051	-0.164	-0.335	-0.242
咖啡酸 Caffeic acid	茎叶	0.068	-0.488 *	-0.373	-0.266	-0.567 **
	根	-0.353	-0.425	0.020	-0.283	-0.154

注: * 表示水平上(双侧)显著相关($P<0.05$), ** 表示水平上(双侧)极显著相关($P<0.01$)

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$) at the level (bilateral), and ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$) at the level (bilateral)

在一定范围内,蒲公英中绿原酸、咖啡酸含量与砷元素成反比,可能是因为砷元素对植株造成损害,阻碍了茎叶中绿原酸的形成和积累。盐碱土壤中铁、锌等多种元素呈难溶解状态,活性下降,导致植株吸收利用少,有利于绿原酸和咖啡酸等含量积累,土壤中钙、锌等营养元素含量越低,绿原酸、咖啡酸含量越高,与试验结果相一致。蒲公英根中绿原酸含量与汞成正比,咖啡酸含量与铅成正比,可能是根对重金属元素更加敏感,在重金属胁迫下,咖啡酸刺激生产和积累木质素,在细胞壁中发挥作用并提高其耐久性形成物理障

碍,避免重金属对细胞的损坏作用。

酚类化合物是适应性反应系统,参与植物生长、发育的调控和应对植物所处的不利环境^[17-18],参与植物的生物和非生物胁迫耐受性,包括病原体侵袭、低温和高温胁迫、紫外线、干旱、重金属胁迫和盐分胁迫^[19-20]。在非生物胁迫下,耐性植物显示出较高的酚酸类物化合物积累^[21-23]。结合速效养分的含量分析,随着土壤中碱解氮、有机质含量增加,蒲公英茎叶中绿原酸和咖啡酸含量有所减少,与蒲公英相似的药用白菊花、金银花中绿原酸等活性成分与土壤速效养分及有机质相关性研究结果相一致^[11,24]。

在最佳生长条件下,植物可能以更高的速率生长,而防御性化学物质的积累量较低^[25],在一定程度上施加胁迫可以提高次生代谢产物的积累,可提高植物的药用价值^[26]。也就是说,氮素、有机肥可有效地提高蒲公英的产量,但对于绿原酸、咖啡酸的含量有明显负效应,过量氮素和有机肥或将降低蒲公英中绿原酸、咖啡酸的含量。盐碱地上蒲公英的生长与酚酸类化合物的合成之间似乎需要权衡。然而,酚酸类化合物的积累增强了叶片抗氧化活性以保护其免受氧化损伤,叶中绿原酸、咖啡酸的积累可能是蒲公英适应盐碱地重要的生态机制。

蒲公英种植过程中应科学减施氮肥和有机肥。控制土壤中的金属元素含量,尤其是砷元素,以及控制钙、铁、锌等营养元素含量以促进绿原酸、咖啡酸的生成和积累。具体有促进作用的土壤养分含量及营养元素含量范围,有待于以后进一步的研究。另外,蒲公英有效成分的含量除了与土壤因子有关,还与温度、光照时间、降水量等紧密相关,接下来将对这一部分试验进行探究。

参考文献

- [1] 吉枫,丛晓东,张云,等. 蒲公英药理作用综述[J]. 亚太传统医药,2011,7(9):173-175.
- [2] 丁惠,张馨方,纪文华,等. 蒲公英药用研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报,2018,20(9):156-159.
- [3] 侯荣荣,杜峰涛,邹星月,等. 蒲公英的活性物质及其应用研究进展[J]. 安徽农学通报,2019,25(22):27-28,53.
- [4] 赵守训,杭秉倩. 蒲公英的化学成分和药理作用[J]. 中国野生植物资源,2001,20(3):1-3.
- [5] 张海. 蒲公英叶花根中的绿原酸 咖啡酸含量分布[J]. 中国药物与临床,2013,13(6):746-747.
- [6] RIAZ U, KHARAL M A, MURTAZA G, et al. Prospective roles and mecha-

nisms of caffeic acid in counter plant stress: A mini review[J]. Pakistan journal of agricultural research,2019,32(1):8-19.

- [7] 吴洋,王慧,房敏峰,等. 环境因子对药用植物药材形成的影响研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2013,25(3):416-420,429.
- [8] 聂金娥,郭庆梅,王真真,等. 施肥与中药材质量相关性研究概况[J]. 辽宁中医杂志,2014,41(1):186-188.
- [9] 王凤. 遂宁产山银花(灰毡毛忍冬)的质量及其与土壤的相关性研究[D]. 雅安:四川农业大学,2013.
- [10] 伍庆,王兴宁,夏品华. 土壤养分因子对杜仲有效成分含量影响研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(25):11002-11004.
- [11] 王艳茹,郭巧生,邵清松,等. 土壤因子对药用白菊花活性成分含量影响研究[J]. 中国中药杂志,2010,35(6):676-681.
- [12] 夏琴,张新选. HPLC 法测定蒲公英中绿原酸和咖啡酸的含量[J]. 西北药学杂志,2019,34(4):462-465.
- [13] 周蓓. 重庆道地药材山银花、青蒿和黄连主要有效成分与微量元素含量评价及相关性分析[D]. 重庆:西南大学,2013.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2004:5-125.
- [15] 张锡洲,李廷轩,蔡艳,等. 土壤学实验指导[M]. 雅安:四川农业大学出版社,2004.
- [16] 陈萍,王建刚. HPLC 谱法测定蒲公英不同器官中绿原酸的含量[J]. 安徽农业科学,2011,39(16):9600-9601.
- [17] KAYA C, TUNA A L, ASHRAF M, et al. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate[J]. Environmental and experimental botany,2007,60(3):397-403.
- [18] SANTNER A, ESTELLE M. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling[J]. Nature,2009,459(7250):1071-1078.
- [19] DOUGLAS C J. Phenylpropanoid metabolism and lignin biosynthesis: From weeds to trees[J]. Trends in plant science,1996,1(6):171-178.
- [20] MARTÍNEZ J A. Natural fungicides obtained from plants, fungicides for plant and animal diseases[M]//DHANASEKARAN D, THAJUDDIN N, PANNEERSELVAM A. Fungicides for plant and animal diseases. Rijeka: InTech,2012.
- [21] BUBNA G A, LIMA R B, ZANARDO D Y L, et al. Exogenous caffeic acid inhibits the growth and enhances the lignification of the roots of soybean (*Glycine max*) [J]. Journal of plant physiology,2011,168(14):1627-1633.
- [22] KLEIN A, KEYSER M, LUDIDI N. Caffeic acid decreases salinity-induced root nodule superoxide radical accumulation and limits salinity-induced biomass reduction in soybean[J]. Acta physiologiae plantarum,2013,35(10):3059-3066.
- [23] KLEIN A, KEYSER M, LUDIDI N. Response of soybean nodules to exogenously applied caffeic acid during NaCl-induced salinity[J]. South African journal of botany,2015,96:13-18.
- [24] 赵才政. 无机元素对金银花产量质量影响的研究[D]. 济南:山东中医药大学,2012.
- [25] YAN K, CUI M X, ZHAO S J, et al. Salinity stress is beneficial to the accumulation of chlorogenic acids in honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) [J]. Frontiers in plant science,2016,7:1-10.
- [26] BLOEM E, HANEKLAUS S, KLEINWÄ CHTER M, et al. Stress-induced changes of bioactive compounds in *Tropaeolum majus* L. [J]. Industrial crops and products,2014,60:349-359.

(上接第162页)

- [4] 曾鑫年,刘秀琼. 绣线菊蚜——广州地区柑桔蚜虫优势种[J]. 植物保护,1988,14(2):8-9.
- [5] WANG S B, ZHENG J W, WU J X. Effects of temperatures on laboratory population of *Aphis citricola* Van der Goot (Homoptera: Aphididae) [J]. 西北农业学报,2008,17(5):71-75.
- [6] 罗瑞梧,杨崇良,尚佑芬,等. 禾谷缢管蚜越冬与迁飞的研究[J]. 华东昆虫学报,1994,3(1):43-47.
- [7] 韩兰芝,翟保平,张孝羲. 甜菜夜蛾的抗寒力研究[J]. 植物保护学报,2005,32(2):169-173.
- [8] 熊立钢. 小菜蛾越冬生物学特性与种群亲缘关系研究[D]. 北京:中国农业科学院,2009.
- [9] 邓煜,孙守慧,祁金玉,等. 美国白蛾过冷却点的影响因子[J]. 生态学杂志,2016,35(3):767-771.
- [10] 崔林丽,史军,周伟东. 上海极端气温变化特征及其对城市化的响应

[J]. 地理科学,2009,29(1):93-97.

- [11] 周伟东,朱洁华,梁萍. 近134年上海冬季气温变化特征及其可能成因[J]. 热带气象学报,2010,26(2):211-217.
- [12] 刘鸣,张德顺. 近55年气候变化对上海园林树种适应性的影响[J]. 北京林业大学学报,2018,40(9):107-117.
- [13] 徐玉芬. 重庆地区几种蚜虫越冬习性的观察[J]. 昆虫学报,1963,12(Z1):658-663.
- [14] 丁锦华,傅强. 棉蚜有性世代的观察[J]. 昆虫知识,1995,32(3):141-143.
- [15] 肖英方,毛润乾,沈国清,等. 害虫生物防治新技术——载体植物系统[J]. 中国生物防治学报,2012,28(1):1-8.
- [16] 沈嘉伟,蔡允俊,张文庆. 菜蚜茧蜂载体植物系统的构建及其控害效果[J]. 环境昆虫学报,2015,37(2):334-342.
- [17] 梅佟森. 优良地被植物蔓长春花[J]. 江苏绿化,1998(4):26.
- [18] 田英翠,杨柳青. 藤蔓植物在园林绿化中的应用[J]. 安徽农业科学,2006,34(21):5536-5537.