

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.04.009

陈乔乔, 翁少全, 程亮, 等. 道地金银花品质与土壤肥力关系的研究. 土壤, 2021, 53(4): 732–738.

## 道地金银花品质与土壤肥力关系的研究<sup>①</sup>

陈乔乔<sup>1,2</sup>, 翁少全<sup>3</sup>, 程亮<sup>1,2</sup>, 陈小琴<sup>1</sup>, 卢殿君<sup>1</sup>, 周健民<sup>1</sup>, 王火焰<sup>1,2\*</sup>, 张利<sup>4</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 广州王老吉大健康产业有限公司, 广州 510000; 4 山东保利药业有限公司, 山东临沂 276017)

**摘要:** 为探究山东道地金银花品质与土壤肥力的关系, 在山东省临沂市平邑县和费县, 选取 100 个代表性土壤样点, 点对点进行土壤质量和金银花品质的调查分析。根据土壤 pH、CEC、有机质、有效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼和土壤质地类型等土壤肥力评价指标, 采用这些指标与金银花长势和品质指标的相关系数来确定各项指标的权重, 计算土壤综合肥力指数, 分析土壤肥力因子与金银花生长和品质的关系。结果表明: 调查区域金银花种植土壤全氮和有效磷含量较丰富, 有机质和速效钾含量较为缺乏; 土壤综合肥力指数在 0.20~0.75, 平均为 0.45, 总体肥力偏低。土壤肥力综合指数与金银花冠幅呈显著正相关, 土壤有效硼含量是影响土壤肥力的主要限制性因子, 最适合金银花生长的土壤类型是砂壤土。金银花绿原酸含量与土壤全磷含量呈正相关关系, 木犀草苷含量与土壤全氮含量以及土壤综合肥力指数呈负相关关系。总体上看, 肥力指标较低的砂壤土更有利于金银花品质的提升, 这也可能是调查区道地金银花品质总体比较好的原因。本研究结果对当地金银花种植土壤选择、规范化种植和养分管理有一定的参考和指导作用。

**关键词:** 金银花; 土壤质量; 绿原酸; 木犀草苷

**中图分类号:** S158.3 **文献标志码:** A

### Relationship Between Genuine Honeysuckle Quality and Soil Fertility

CHEN Qiaoqiao<sup>1,2</sup>, WENG Shaoquan<sup>3</sup>, CHENG Liang<sup>1,2</sup>, CHEN Xiaoqin<sup>1</sup>, LU Dianjun<sup>1</sup>, ZHOU Jianmin<sup>1</sup>, WANG Huoyan<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Li<sup>4</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Wanglaoji Dajiankang Limited Company of Guangzhou, Guangzhou 510000, China; 4 Baoli Pharmaceutical Limited company of Shandong, Linyi, Shandong 276017, China)

**Abstract:** In order to investigate the relationship between the quality of Chinese honeysuckle in genuine producing area and soil fertility, 100 representative soil samples were collected from Pingyi County and Fei County in Linyi City of Shandong Province and used for the point-to-point survey and analysis of soil and honeysuckle quality. Based on the evaluation indexes of soil fertility (such as soil pH, organic matter, available phosphorus, rapidly available potassium, total nitrogen, total potassium, available iron, available manganese, available zinc, available boron and soil texture), soil integrated fertility index (IFI) was calculated to analyze the relationship between soil fertility indexes and honeysuckle growth and quality indexes. Results showed that soils for honeysuckle planting in the study area were rich in total nitrogen and available phosphorus but deficient in organic matter and rapidly available potassium. Soil IFI was ranged from 0.2 to 0.75 with an average of 0.45, which indicated a low soil fertility. Positive correlation existed between soil IFI and honeysuckle crown. Besides, soil available boron was the main limiting factor of soil fertility and sandy loam was the most suitable soil type for honeysuckle growth. Chlorogenic acid content in honeysuckle had positive correlation with soil total phosphorus but galuteolin content had negative correlation with soil total nitrogen and soil IFI. Overall, sandy loam with lower IFI was more beneficial for improving honeysuckle quality which might be the reason why honeysuckle showed good quality in the study. This study can provide certain references and directions for soil

①基金项目: 广州王老吉大健康产业有限公司土壤项目资助。

\* 通讯作者(hywang@issas.ac.cn)

作者简介: 陈乔乔(1993—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事金银花土壤肥力方面研究。E-mail: 1141881798@qq.com

selection, standardized planting, and nutrition management in local honeysuckle production.

**Key words:** Chinese honeysuckle; Soil quality; Chlorogenic acid; Luteolin

金银花(*Lonicera japonica*)又名忍冬,为多年生半常绿或落叶灌木,具有清热解毒、抗菌消炎和抗氧化等功效<sup>[1]</sup>。金银花在我国分布范围广泛,山东、河南、河北、湖北、江西等地均有种植,其中以山东临沂、河南封丘和河北巨鹿等地最为著名<sup>[2]</sup>。

中药材质量与土壤、地形、气象和生物等因素密切相关<sup>[3-5]</sup>,土壤质量直接或间接影响金银花的品质<sup>[6-7]</sup>。金银花作为重要的中药材,所含化学成分复杂,主要起活性成分的物质是绿原酸和木犀草苷,这两种成分常作为评判金银花品质优劣的指标。近些年有关金银花土壤理化性质与其品质之间的关系成为研究热点<sup>[8]</sup>。已有研究表明金银花产区土壤主要受母质影响,最适合金银花的土壤类型是中性或稍碱性的砂质壤土<sup>[9]</sup>,另外,土壤环境干旱也会影响金银花花蕾中的绿原酸含量<sup>[10-11]</sup>。施肥对金银花品质的影响主要表现在磷肥可提高绿原酸的含量,过量施氮会降低花中绿原酸的含量<sup>[12-13]</sup>。

山东临沂市是我国金银花种植的主要区域之一,2013年种植面积约7.23万hm<sup>2</sup>,总产约3.36万t,收入逾20亿元,已成为临沂市优势特色产业<sup>[14]</sup>。综合来看,前人对金银花的研究多集中于其药用价值、生物学特性和施肥管理<sup>[15-17]</sup>等方面,只是从外在环境对影响金银花品质的因素进行探讨,并没有对金银花立地土壤状况进行系统的调查,无法探寻影响金银花生长的主要土壤限制因子,利用统计学方法综合评价金银花种植区土壤肥力方面的文献更是鲜有。本研究以山东临沂市的金银花种植区——平邑县和费县为研究对象,通过采集代表性样点土壤,分析土壤肥力多项指标,用土壤综合肥力指数评价土壤肥力,通过土壤-金银花对应调查和分析,探究土壤肥力指标与金银花生长及品质之间的关系,为研究区金银花合理区划、规范化种植和养分管理提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山东省临沂市平邑县和费县,整个区域山地、丘陵和平原居多,平均海拔在400m以下,是山东省重要的金银花种植区。该区自然条件较好,属暖温带季风大陆性气候,四季分明,年平均气温14.1℃,极端最高气温36.5℃,最低气温-11.1℃,年平均降水量849mm。研究区土壤母质多为经风化作

用使岩石破碎形成的碎屑,土壤质地较砂。因独特的自然环境和土壤理化性质,尤其适合金银花等药用植物的种植。

### 1.2 样品采集

2018年7月进行了目标样株的调查与选择,根据不同土壤类型、地理位置、种植规模并遵循空间上相对均匀的原则,在研究区共布设了100个样点(图1),其中流域镇32个样点,郑城镇42个样点,新庄镇24个样点。用土钻在植株根系外围采集3~5钻0~20cm表层土样,去杂、混匀、风干、研磨后制备土样供土壤理化性质的测定。并于2019年5月采收各样点植株花蕾。由于金银花采收时间较长,又分不同花茬,农户很难将单株花蕾收集完整,且样点分布零散、范围广,花蕾主要依赖各家农户代为收集,产量数据的准确性无法保证,故根据采集的植株冠幅和枝条数作为生长指标,一定意义上能够反映金银花的产量。

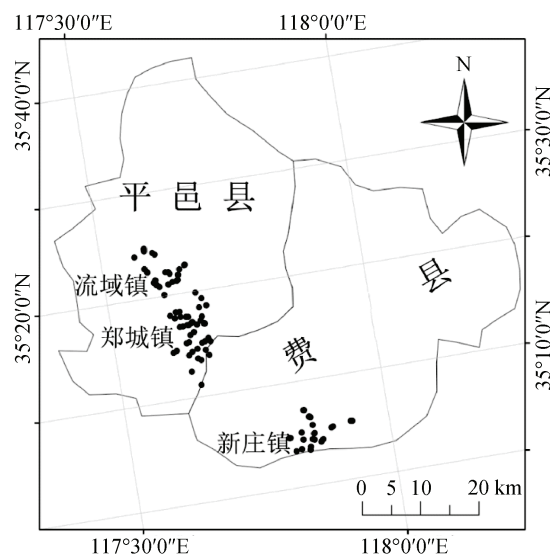


图1 临沂土壤样点分布

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites in Linyi

### 1.3 测定指标及方法

土壤粒径分析采用吸管法,质地采用USDA制,pH测定用电位法(水土质量比为2.5:1),阳离子交换量(CEC)测定用乙酸钠-乙酸铵-乙醇浸提-火焰光度法,有机质测定用重铬酸钾氧化-容量法,有效磷测定用碳酸氢钠浸提-钼锑抗显色法,速效钾测定用醋酸铵浸提-火焰光度法,有效态铁、锰、铜和锌测定用DTPA浸提ICP-AES法,有效硼测定用热水浸

提 ICP-AES 法<sup>[18]</sup>, 土壤全量养分测定用  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$  消化法<sup>[19]</sup>; 金银花全量养分测定用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消化法, 绿原酸和木犀草苷含量测定采用高效液相色谱法<sup>[20]</sup>。

#### 1.4 土壤综合肥力评价

土壤综合肥力指数(integrated fertility index, IFI) 计算公式如下:

$$IFI = \sum_{i=1}^n Fi \times Wi \quad (1)$$

式中:  $Fi$  为第  $i$  项评价指标的隶属度值;  $Wi$  为第  $i$  项评价指标的权重; IFI 取值范围在 0 ~ 1, 该值越接近于 1, 土壤肥力越高。

1) 肥力指标隶属度值的确定。确定各个肥力指标的隶属度函数模型, 计算隶属度值<sup>[21]</sup>, 常见的隶属度函数模型有抛物线型和 S 型。其中, 土壤 pH、砂粒含量和粉粒含量等指标通常应用抛物线型隶属度函数, 相应的隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.9(x-x_3)/(x_4-x_3)+0.1 & x_3 < x < x_4 \\ 1.0 & x_2 < x < x_3 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 0.1 & x \leq x_1 \text{ 或 } x \geq x_4 \end{cases} \quad (2)$$

土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾含量及 CEC 等应用 S 型隶属度函数, 相应的隶属度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 < x < x_2 \\ 0.1 & x \leq x_1 \end{cases} \quad (3)$$

式(2)和(3)中的  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$  代表两种隶属度函数在不同转折点的值。本研究根据作物土壤特征及相关研究结果<sup>[22]</sup>, 确定了本文中隶属度函数转折点的取值(表 1)。

2) 土壤肥力指标权重的计算。通过各项肥力指标之间的相关分析, 得到对应的相关系数, 获得某一指标与所有指标相关系数的平均值 (不包括该指标自身的相关系数), 将该平均值与所有肥力指标相关系数平均值总和的比值作为该肥力指标的权重, 又叫相关系数法<sup>[23-24]</sup>。本研究为了明确适宜金银花生长的土壤肥力指标, 对土壤各项肥力指标的权重确定方法进行了改进, 具体方法是各项土壤肥力指标分别与金银花的生长及品质指标如冠幅、枝条数量、绿原酸及木犀草苷含量的相关系数平均值总和的比值作为该肥力指标的权重, 这样得到的土壤肥力指数可能更好

地反映土壤质量与金银花生长和品质的关系。

表 1 隶属度函数曲线转折点取值  
Table 1 Turning points of membership functions of soil fertility indexes

土壤肥力指标	转折点取值			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
pH	5.5	6.5	7	7.5
CEC(cmol/kg)	10	30		
有机质(g/kg)	10	20		
有效磷(g/kg)	5	40		
速效钾(g/kg)	50	200		
有效铁(mg/kg)	10	150		
有效锰(mg/kg)	10	50		
有效铜(mg/kg)	1	3		
有效锌(mg/kg)	1	5		
有效硼(mg/kg)	0.1	0.5		
全氮(g/kg)	0.5	1.5		
全磷(g/kg)	0.5	1.5		
全钾(g/kg)	10	25		
砂粒(g/kg)	200	400	600	800
粉粒(g/kg)	200	400	600	800

#### 1.5 数据处理与分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2016 软件进行处理, 采用 IBM Statistics SPSS 22.0、Origin 8.0 软件进行数据统计分析, 结果采用 LSD 法在  $P < 0.05$  水平上进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤肥力指标描述性统计

对 100 个调查样点土壤肥力指标进行统计(表 2), 结果显示, 土壤 pH 介于 4.52 ~ 8.06, 平均为 5.93; CEC 介于 7.12 ~ 44.27 cmol/kg, 平均为 18.4 cmol/kg; 有机质含量介于 4.24 ~ 39.43 g/kg, 平均为 14.94 g/kg; 全氮含量介于 0.27 ~ 2.33 g/kg, 平均为 1.03 g/kg; 全磷含量介于 0.24 ~ 2.84 g/kg, 平均为 0.87 g/kg; 有效磷含量介于 2.08 ~ 55.03 mg/kg, 平均为 11.05 mg/kg; 全钾含量介于 7.67 ~ 28.96 g/kg, 平均为 19.51 g/kg; 速效钾含量介于 23.7 ~ 141.3 mg/kg, 平均为 31.25 mg/kg; 土壤有效态铁、锰、铜、锌、硼含量分别介于 5.96 ~ 718、7.84 ~ 126.5、0.54 ~ 9.35、0.72 ~ 20.86、0.03 ~ 1.53 mg/kg, 平均分别为 118、35.23、2.04、2.65、0.18 mg/kg。土壤颗粒组成以砂粒和粉粒为主, 平均含量分别为 540 g/kg 和 330 g/kg。从变异系数看, pH、CEC、有机质、有效磷、全氮、全磷、全钾、有效铁、有效锰、颗粒组成为中等变异(变异系数介于 10% ~

100%), 速效钾、有效锌和有效硼为强度变异(变异系数  $\geq 100\%$ )。

表2 土壤肥力指标的统计值  
Table 2 Statistical values of soil fertility indexes

指标	最大值	最小值	平均值	中位数	极差	标准差	变异系数(%)
pH	8.06	4.52	5.93	5.74	3.54	0.92	15.5
CEC(cmol/kg)	44.27	7.12	18.4	17.13	37.15	7.08	38.5
有机质(g/kg)	39.43	4.24	14.94	13.67	35.19	6.34	42.5
全氮(g/kg)	2.33	0.27	1.03	0.98	2.06	0.46	44.6
全磷(g/kg)	2.84	0.24	0.87	0.70	2.60	0.53	60.8
有效磷(mg/kg)	55.03	2.08	11.05	7.76	52.95	9.08	82.2
全钾(mg/kg)	28.96	7.67	19.51	19.15	21.29	3.66	18.8
速效钾(mg/kg)	141.3	23.70	31.25	22.64	117.60	31.25	100.2
有效铁(mg/kg)	718	5.96	118	89.64	712	131.90	111.8
有效锰(mg/kg)	126.50	7.84	35.23	29.88	118.70	23.94	68.0
有效铜(g/kg)	9.35	0.54	2.04	1.81	8.80	1.17	57.2
有效锌(g/kg)	20.86	0.72	2.65	1.89	20.15	2.86	108.0
有效硼(g/kg)	1.53	0.03	0.18	0.12	1.50	0.19	103.9
砂粒(g/kg)	885	127	540	570	757	191	35.0
粉粒(g/kg)	675	85	330	300	590	133	40.0

参考全国第二次土壤普查制定的土壤养分分级标准(表3), 研究区85%土壤样点有机质含量处于中等以下水平; 13%样点土壤全氮含量处于极度缺乏水平, 18%处于很缺乏水平, 21%处于一般缺乏水平, 35%和13%分别处于中等和很丰富水平; 66%样点土壤全磷含量处于中等及以上水平, 其中极丰富

水平占24%; 93%样点土壤全钾含量处于中等及以上水平; 64%样点土壤有效磷含量处于中等水平以上; 所有土壤样点速效钾含量处于中等及中等水平以下, 其中62%样点处于极缺乏水平; 中微量元素有效态铁、锰含量丰富, 有效态铜、锌含量处于中等水平, 有效硼含量整体偏低。

表3 土壤养分分级标准  
Table 3 Classification standards for soil nutrients

养分水平	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有效铁(mg/kg)	有效锰(mg/kg)	有效铜(mg/kg)	有效锌(mg/kg)	有效硼(mg/kg)
极丰富	>40	>2	>1	>25	>40	>200	>20	>30	>1.8	>3.0	>2.0
很丰富	30~40	1.5~2	0.8~1	20~25	20~40	150~200	10~20	15~30	1.0~1.8	1.0~3.0	1.0~2.0
中等	20~30	1~1.5	0.6~0.8	15~20	10~20	100~150	4.5~10	5.0~15	0.2~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0
缺乏	10~20	0.75~1	0.4~0.6	10~15	5~10	50~100	2.5~4.5	1.0~5.0	0.1~0.2	0.3~0.5	0.2~0.5
很缺乏	6~10	0.5~0.75	0.2~0.4	5~10	3~5	30~50	<2.5	<1.0	<0.1	<0.3	<0.2
极缺乏	<6	<0.5	0.2	<5	<3	<30					

## 2.2 金银花绿原酸和木犀草苷含量

绿原酸和木犀草苷含量是金银花重要的品质指标。研究区金银花绿原酸含量为2.00%~4.50%(表4), 全部符合国家药典标准( $\geq 1.5\%$ )<sup>[20]</sup>, 其中以郑城镇含量最高, 新庄镇含量最低, 分别为3.22%和2.67%; 木犀草苷含量范围为0.025%~0.090%, 其中约有45.8%符合药典标准( $\geq 0.05\%$ )<sup>[20]</sup>。

## 2.3 土壤综合肥力指标值特征

对金银花的长势、品质与土壤肥力指标进行相关

分析, 得到相关系数矩阵(表5)。根据改进后的相关系数法, 得到最终的IFI值, IFI介于0.20~0.75, 平均为0.45。根据等距法将该研究区土壤肥力水平划分为差、较差、中等、良好、优5个等级(表6)<sup>[25]</sup>。其中, IFI中等及以上的样点占89%。将各肥力指标平均隶属值与土壤肥力的关系做成雷达图(图2)可以直观反映研究区肥力状况。各个指标的隶属度值距离中心原点越远, 代表其属性状态越好, 相反, 距离原点越近, 属性状态就越差<sup>[26]</sup>。从图2可以看出, 土壤

有效硼是影响该研究区土壤肥力的主要限制因素,土壤有效硼含量几乎都低于缺硼临界值(0.5 mg/kg)。土壤全钾和砂粒含量隶属值在 0.6 以上,具有较好的表

现状态;其他指标在 0.3~0.6 范围内,处于中间状态。由 15 项肥力指标组成的闭合多边形,整体偏向右下方,比最佳的多边形面积要小很多。

表 4 金银花中绿原酸和木犀草苷含量统计值  
Table 4 Statistics of contents of chlorogenic acid and luteolin in Chinese honeysuckle

产地	绿原酸(%)				木犀草苷(%)			
	平均值	最大值	最小值	变异系数	平均值	最大值	最小值	变异系数
流域镇	2.89 ± 0.38 b	3.70	2.00	12.90	0.049 ± 0.013 a	0.090	0.025	27.40
新庄镇	2.67 ± 0.43 b	3.70	2.00	16.00	0.050 ± 0.009 a	0.068	0.037	18.00
郑城镇	3.22 ± 0.60 a	4.50	2.20	18.70	0.054 ± 0.012 a	0.078	0.034	22.40

注:表中同列不同小写字母表示各产地间差异显著(P<0.05)。

表 5 金银花植株长势、品质和土壤肥力指标之间的相关系数  
Table 5 Correlation coefficients between growth and quality parameters of Chinese honeysuckle and soil fertility indexes

指标	冠幅	枝条数	绿原酸	木犀草苷	pH	CEC	有机质	有效磷	速效钾	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌	有效硼	全氮	全磷	全钾	砂粒	粉粒	
冠幅	1																			
枝条数	0.614**	1																		
绿原酸	0.180	0.187	1																	
木犀草苷	-0.074	-0.097	0.070	1																
pH	-0.010	0.014	-0.100	-0.081	1															
CEC	0.012	0.015	-0.107	0.014	0.549**	1														
有机质	0.115	0.095	-0.023	-0.252*	0.467**	0.538**	1													
有效磷	-0.124	-0.158	-0.225	-0.047	-0.015	0.041	0.127	1												
速效钾	0.028	0.016	-0.093	-0.249*	0.579**	0.468**	0.625**	0.245*	1											
有效铁	-0.014	0.257*	0.024	-0.102	-0.371**	-0.315**	-0.279**	-0.015	-0.218*	1										
有效锰	0.128	-0.005	-0.056	0.002	-0.308**	-0.074	-0.236*	0.262**	-0.068	0.245*	1									
有效铜	-0.028	0.011	-0.089	-0.072	-0.178	-0.071	-0.080	0.522**	0.052	0.175	0.382**	1								
有效锌	0.042	0.054	-0.235*	-0.071	-0.078	-0.084	0.187	0.593**	0.269**	0.072	0.126	0.572**	1							
有效硼	-0.062	-0.106	0.022	-0.059	0.132	0.105	0.290**	0.066	0.292**	-0.087	-0.169	0.065	0.150	1						
全氮	0.097	0.010	0.087	-0.423**	0.216*	0.286**	0.660**	0.17	0.462**	-0.093	-0.005	0.080	0.290**	0.232*	1					
全磷	0.095	-0.065	0.237*	-0.040	-0.135	-0.254*	-0.086	0.067	-0.169	-0.002	-0.054	0.134	0.052	-0.050	0.041	1				
全钾	-0.008	0.031	-0.049	-0.050	0.050	-0.018	0.064	0.004	0.035	-0.013	-0.073	-0.109	0.022	-0.092	0.063	0.038	1			
砂粒	0.020	-0.062	-0.228	0.015	0.012	-0.080	0.039	0.157	-0.040	-0.086	0.053	0.164	0.102	-0.008	0.103	-0.155	0.051	1		
粉粒	-0.024	0.042	0.239*	0.015	-0.037	0.052	-0.094	-0.176	-0.002	0.130	-0.023	-0.153	-0.109	-0.019	-0.113	0.167	0.005	-0.972**	1	

注: \*、\*\*分别表示在 P<0.05、P<0.01 水平显著相关,下同。

表 6 土壤综合肥力指数分级  
Table 6 Grades of soil IFI

IFI	≥0.7	0.5~0.7	0.3~0.5	0.1~0.3	≤0.1
分级水平	优	良好	中等	较差	差
样点占比(%)	4	24	61	11	0

## 2.4 金银花冠幅、木犀草苷含量与土壤综合肥力的关系

将 IFI 与金银花冠幅、枝条数、绿原酸和木犀草苷含量做相关分析(表 7),结果显示,金银花冠幅与 IFI 存在显著的线性正相关,随着 IFI 增加,冠幅也相应地增加,一定程度上能够反映金银花生物量与

土壤肥力的密切相关;木犀草苷含量与 IFI 呈现显著线性负相关,当木犀草苷含量在 ≥0.05%(药典标准)范围时对应的土壤肥力水平总体上也是较低的,表明土壤综合肥力较高不利于木犀草苷含量的累积。

## 2.5 影响金银花品质的土壤主导因子

绿原酸和木犀草苷含量与土壤理化性质有一定的关联性。从简单相关系数看,土壤粉粒、全磷含量与绿原酸含量呈显著正相关,土壤有效锌含量与绿原酸含量呈显著负相关,土壤有机质、全氮含量与木犀草苷含量呈显著负相关。考虑到影响金银花品质的土壤因子非单独影响,为了挑选其中的主导因子,以

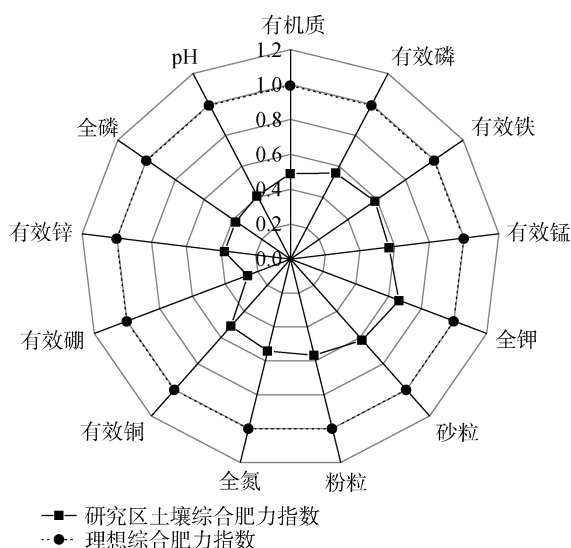


图2 土壤各肥力指标隶属度函数值的雷达图

Fig. 2 Radar chart of membership function values of soil fertility indexes

表7 土壤IFI与金银花生长、品质指标的相关系数  
Table 7 Correlation coefficients between soil IFI with honeysuckle growth and quality indexes

	冠幅	枝条数	绿原酸	木犀草苷
IFI	0.291*	0.086	-0.017	-0.276*

pH( $X_1$ )、CEC( $X_2$ )、有机质( $X_3$ )、有效磷( $X_4$ )、速效钾( $X_5$ )、有效铁( $X_6$ )、有效锰( $X_7$ )、有效铜( $X_8$ )、有效锌( $X_9$ )、有效硼( $X_{10}$ )、全氮( $X_{11}$ )、全磷( $X_{12}$ )、全钾( $X_{13}$ )、砂粒( $X_{14}$ )、粉粒( $X_{15}$ )为自变量,金银花中绿原酸含量( $Y_1$ )和木犀草苷含量( $Y_2$ )为因变量,应用逐步回归剔除对目标变量影响小的因子,分别建立了金银花绿原酸含量和木犀草苷含量与土壤主导因子的回归方程: $Y_1 = 2.870 + 0.279 X_{12}$ ,  $Y_2 = 0.063 - 0.011 X_{11}$ 。从回归方程可以看出,绿原酸含量主要与土壤全磷含量呈正相关关系,木犀草苷含量与土壤全氮含量呈负相关关系。

### 3 讨论

对道地金银花产区土壤质量进行评价,有助于了解土壤管理程度及利用现状,探究金银花种植的限制性肥力因子以及影响金银花品质的土壤环境因子,从而为当地金银花的合理种植、养分管理以及土壤的可持续利用提供数据支撑<sup>[27-28]</sup>。土壤速效养分变异程度高而稳定性低,可能受施肥和耕作方式的影响较大,这在相关研究结果中也有体现<sup>[29]</sup>。土壤综合肥力法是常用的一种量化评价土壤肥力的方法,将评价结果转化为0~1之间的数值,值越靠近1,代表土壤肥力越高。本研究所调查区域土壤综合肥力指数为

0.20~0.75,平均值0.45,土壤肥力整体处于中等水平。根据15项土壤肥力指标的结果发现,所研究区域土壤主要呈弱酸性,土壤全氮和有效磷含量较丰富,土壤有机质和速效钾含量较为缺乏。从田间调查得知,农户田间管理粗放、零散,向金银花田块投入的肥料种类和数量差异较大,有的样点靠近村庄,水源供应及时,施肥种类多以植物残体和家禽粪便为主;有的样点则位于陡峭山坡地带,不利于管理。

研究区土壤砂粒含量隶属度最高,从简单相关系数看,粉粒含量与绿原酸含量呈正相关关系,说明粉粒含量较高的砂壤土更有利于提高绿原酸含量,提升金银花的品质。这与张重义等<sup>[9]</sup>和朱小强等<sup>[30]</sup>的研究结果相似。土壤有效硼含量是限制土壤肥力的主要因子,该研究区域土地结构多为山地、丘陵,容易形成土地养分流失,土壤有效硼淋失严重,从而使金银花质量下降,所以要注重水土的保持,可以通过物理措施改变土壤结构。金银花所含化学成分复杂,常以绿原酸和木犀草苷含量作为标志性成分,本研究土壤有机质含量与速效钾、有效磷、绿原酸和木犀草苷含量呈负相关关系,而土壤速效钾含量与绿原酸和木犀草苷含量呈负相关关系。本研究结果表明,土壤肥力较低有利于金银花品质指标的提升,但土壤全磷和全氮分别对金银花品质有正效应和负效应作用,根据土壤肥力与冠幅的相关关系能够得到,施肥有利于植物生物量的形成,因此,只有合理施肥才能提高金银花的品质和产量。农户在田间管理时,需要注意氮磷肥的合理配比,避免施肥比例不当导致金银花品质的下降。本研究所有采样点分布在相同气候区内,避免了区域尺度广、跨度大,生态环境差异等原因造成的差异。在测定的样品中有一半木犀草苷含量不符合国家药典标准,目前的研究多从金银花不同产地、品种、干燥方式等方面分析关于含量差异的原因,所以在金银花的GAP生产管理中应首先考虑这方面的问题,以提高金银花的产量和品质。

### 4 结论

本研究通过大规模调查,揭示了我国金银花主要种植区山东省临沂市平邑县和费县土壤肥力指标与金银花生长及品质之间的关系。研究区土壤全氮和有效磷含量较丰富,土壤有机质、速效钾、有效硼含量较为缺乏;土壤速效钾、有效铁、有效锌和有效硼含量属于强变异性,其他指标属于中等变异性;土壤综合肥力指数IFI介于0.20~0.75,平均为0.45,总体偏低。总体上土壤肥力指标较低的砂壤土有利于金银

花品质的提升,因此当地金银花种植应尽可能选择此类土壤或适当控制肥料施用量。

### 参考文献:

- [1] 赵国玲, 刘佳佳. 金银花化学成分及药理研究进展[J]. 中药材, 2002, 25(10): 762-763.
- [2] 任俊洁, 姜雪. 金银花化学成分和药理作用研究进展[J]. 化工时刊, 2017, 31(6): 20-23.
- [3] 杨新杰, 许苗苗, 宋蓓, 等. 土壤因子对珠子参药材质量的影响研究[J]. 中药材, 2014, 37(9): 1513-1517.
- [4] 郭巧生, 梁迎暖, 张重义, 等. 土壤因子对怀菊质量影响研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(2): 123-128.
- [5] 张欣, 闫耀莉, 张丽, 等. 灯台七的品质评价及其与土壤因子的相关性分析[J]. 中国药师, 2019, 22(1): 52-56.
- [6] 张芳, 张永清, 马燕, 等. 河北产不同等级金银花药材脂溶性成分的 GC-MS 分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(11): 57-60.
- [7] 段慧芳, 吴放南, 朱亚莹, 等. UPLC 同时测定不同产地金银花中 10 种成分[J]. 中草药, 2019, 50(23): 5858-5864.
- [8] 吴玉红, 田霄鸿, 同延安, 等. 基于主成分分析的土壤肥力综合指数评价[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 173-180.
- [9] 张重义, 李萍, 齐辉, 等. 金银花道地与非道地产区地质背景及土壤理化状况分析[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(2): 114-117.
- [10] 李开萍. 喀斯特石漠化治理中花椒和金银花品质与土壤环境耦合机理及调控对策[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2018.
- [11] 徐迎春, 周凌云, 张佳宝. 不同类型叶面肥对忍冬生长发育及金银花质量的影响[J]. 时珍国医国药, 2002, 13(8): 513-514.
- [12] 徐凌川, 张永清, 王绪平, 等. 施肥对忍冬生长发育及体内化学成分含量的影响[J]. 中草药, 1997: 620-622.
- [13] 胡尚钦, 黄璐琳, 张超, 等. 施肥和采收加工对川产金银花绿原酸含量的影响[J]. 现代中药研究与实践, 2003, 17(6): 26-28.
- [14] 马蓓莉, 翟光耀, 张德安. 临沂市金银花产业发展现状及对策[J]. 现代农业科技, 2013(11): 115-116.
- [15] 周凤琴, 李佳, 冉蓉, 等. 我国金银花主产区种质资源调查[J]. 现代中药研究与实践, 2010, 24(3): 21-25.
- [16] 严雪龙, 孟爱平, 濮社班. 金银花抗炎免疫活性研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2016, 35(2): 41-44.
- [17] 吴世福. 施肥对金银花药材产量与质量影响的研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2003.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 杨作格. HotBlock 消解 ICP-MS 和 ICP-OES 方法对土壤中 50 多种元素的测定[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(2): 121-125.
- [20] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-四部: 2015 年版 分辑号: 四部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [21] 孙波, 张桃林. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362-369.
- [22] 刘引, 颜鸿远, 欧小宏, 等. 基于最小数据集的麻城菊花种植区土壤肥力质量评价[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(24): 5382-5389.
- [23] 柳开楼, 黄晶, 张会民, 等. 基于红壤稻田肥力与相对产量关系的水稻生产力评估[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1425-1434.
- [24] 包耀贤, 徐明岗, 吕粉桃, 等. 长期施肥下土壤肥力变化的评价方法[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20): 4197-4204.
- [25] 张凤荣, 安萍莉, 王军艳, 等. 耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法[J]. 资源科学, 2002, 24(2): 71-75.
- [26] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.
- [27] 李梅, 张学雷. 基于 GIS 的农田土壤肥力评价及其与土体构型的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 129-136.
- [28] 刘梦云, 安韶山, 常庆瑞, 等. 宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价方法研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 41-43.
- [29] 王幼奇, 白一茹, 赵云鹏. 宁夏砂田小尺度土壤性质空间变异特征与肥力评价[J]. 中国农业科学, 2016, 49(23): 4566-4575.
- [30] 朱小强, 王慧英, 张家秀, 等. 生态环境对金银花生长开花影响的研究[J]. 陕西农业科学, 2006, 52(5): 51-52,86.