

网络出版时间:  
网络出版地址:

# 不同酸度下外源铝对茶叶铝含量及品质的影响

马小雪,肖 斌,闫列娟,索罗丹,高 婷,肖 霄

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究土壤 pH 值及铝含量对茶叶铝含量及茶叶品质的影响,初步确定可改善茶叶品质的施铝量和施铝方法。【方法】以“蜀永 906”为试材,采用盆栽试验,通过根施和喷施 2 种方法(根施铝量分别为 0,0.5,1.0,和 2.0 g/kg,叶面喷施铝质量浓度设为 0.2,5.0 和 10.0 g/L)加入不同浓度梯度外源铝,并加入硫磺(0,0.32,0.64 g/kg)调节土壤酸度,测定茶叶中铝含量及茶多酚、咖啡碱、氨基酸的质量分数。【结果】在同一酸度下,根施外源铝可不同程度提高茶叶中铝含量与茶多酚的质量分数,并可降低茶叶中咖啡碱和氨基酸的质量分数;同时当叶面喷施外源铝质量浓度分别为 2.5,5.0 g/L 时,咖啡碱和氨基酸质量分数分别达到最高,而根施外源铝在 0.5 g/kg 时,茶多酚、氨基酸和咖啡碱的质量分数都达到最高。在同一根施外源铝处理中,土壤加入硫磺的量越多,茶叶中茶多酚、氨基酸和咖啡碱的质量分数越小。【结论】在农业生产中,从提高茶叶品质方面考虑,根施铝量以 0.5 g/kg 为宜。而叶面喷施铝的质量浓度为 2.5 g/L 时咖啡碱质量分数达到最大,5.0 g/L 时氨基酸质量分数最大。

【关键词】 茶;茶叶品质;外源铝

【中图分类号】 S571.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)11-0187-05

## Effects of aluminum from fertilization on qualities and aluminum contents of tea under different pH levels in South Shaanxi Province

MA Xiao-xue, XIAO Bin, YAN Lie-juan, SUO Luo-dan, GAO Ting, XIAO Xiao

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** 【Objective】 The presented study aimed to show effects of Al concentrations and pH of soil and on tea qualities in local area. The best Al content and adding methods were determined to improve the tea qualities. 【Method】 Using ‘Shuyong 906’ as test material, qualities and Al contents of tea leaves under different pH levels and different Al adding ways (adding in soil and spraying on tea leaves) were studied in pot experiments. The contents of Al, tea polyphenols, caffeine and free amino acids were measured. 【Result】 Contents of Al and tea polyphenols were increased while the contents of caffeine and free amino acids decreased when Al was applied in soil under the same pH level. Contents of caffeine and amino acid reached to highest when 2.5 and 5.0 g/L Al were applied by spraying on leaf surface, respectively. When 0.5 g/kg Al fertilizers were applied in soil, contents of amino acid, tea polyphone and caffeine reached the highest level. The more S was added at fixed Al level, the less contents of amino acid, tea polyphenols and caffeine were measured. 【Conclusion】 When Al added in soil was 0.5 g/kg, tea quality reached the best. The contents of caffeine and amino acid were the highest when spraying dosages on leaves were 2.5 g/L and 5.0 g/L, respectively.

【收稿日期】 2012-03-26

【基金项目】 国家农业部茶叶产业技术体系项目(CARS-23)

【作者简介】 马小雪(1986—),女,辽宁辽阳人,在读硕士,主要从事茶树生理生态研究。E-mail: mxx502@yahoo.com.cn

【通信作者】 肖 斌(1957—),男,陕西周至人,教授,硕士生导师,主要从事茶树生理生态与制茶工程研究。

E-mail: xiaobin2093@sohu.com

**Key words:** tea; tea qualities; Al fertilization

茶作为世界上仅次于水的第二大饮料,在中国和世界已有几千年的栽种和饮用历史。据报道,茶树对铝具有一定的聚集作用,虽然还未证实铝是茶树生长所必需的微量元素,但有研究表明,适量的铝对茶树生长有诸多益处,对维持茶树良好的生长状况具有重要作用<sup>[1]</sup>。土壤中活性铝含量的多少,直接影响茶树的生长状况<sup>[2]</sup>,同时适量的铝肥还有利于改善茶叶的品质。

通过施加外源铝来改善当地茶区茶树的生长状况,以提高茶叶品质的研究有不少报道<sup>[1-3]</sup>。交换性铝是土壤交换性酸度和土壤 pH 的决定性因素,还大致代表植物可有效利用的那部分铝,高产茶园土壤交换性铝的最适含量为 3~5 cmol/kg<sup>[3]</sup>,陕南土壤交换性铝含量为 2~3 cmol/kg,略低于最适含量,从提高茶叶品质方面考虑,施入适量的外源铝可以改善茶叶品质。而茶园土壤中铝的活性又随着酸度的提高而增加,所以在添加外源铝的同时加入硫磺来调节土壤的酸度,可以更好地发挥铝的作用。因此,本试验在调控土壤 pH 值的条件下,研究铝肥的不同施用方法和施用量对陕南茶区茶叶中铝含量及茶叶品质的影响,以期确定最优的铝肥施用方法和用量,为提高和改善该地区茶叶品质,及更加深入地研究铝与茶叶品质的关系提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 土壤 供试土壤为黄褐土,采于陕西省西乡县西北农林科技大学茶叶示范站。土壤含有机质 12.7 g/kg,速效氮 61.6 mg/kg,速效磷 1.97 mg/kg,速效钾 198.1 mg/kg,pH 值为 6.1。土壤中交换性铝含量为 2.53 cmol/kg。

1.1.2 茶树 茶树品种为“蜀永 906”,本试验采用的是 4 年生茶苗。

1.1.3 化学药剂与仪器 施用的外源铝为  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (含  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.3%)。硫酸亚铁、酒石酸钾钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、乙醇等试剂,均为分析纯(AR)。主要仪器有 UV-2102C 型紫外分光光度计、真空泵、电子天平和 pH 计等。

### 1.2 方法

试验采用盆栽土培法。外源铝通过根施和叶面喷施 2 种方式施入,土壤酸度通过加入硫磺来调节。

调节土壤酸度设 0,0.32 和 0.64 g/kg 3 个硫磺施入水平。根施和叶面喷施铝各设 4 个水平,分别为 0,0.5,1.0,2.0 g/kg 和 0,2.5,5.0,10.0 g/L。调节土壤酸度分别与根施铝和叶面喷施铝的交互作用各为 12 个处理,每个处理重复 3 次。每盆装风干土壤 5.0 kg,加入腐熟牛粪作为基肥,土壤施用的铝和硫磺均一次性施入,7 d 后,选择植株长势一致的健康茶树幼苗,洗净原先根部的土壤,直接种于供盆栽的乙烯塑料盆中,每盆栽苗 4 株。叶面喷施铝肥于茶叶样品采摘前 12 d 傍晚用喷雾器喷施于茶苗叶片背面,每株喷施 20 mL。茶苗培养 60 d 后摘取一芽二叶测定各项指标。

### 1.3 测定指标及方法

茶样取一芽二叶,炒青杀青,烘干磨细<sup>[4]</sup>。茶叶中茶多酚采用酒石酸铁比色法(GB/T 8313—2002)<sup>[5]</sup>测定,氨基酸含量采用茚三酮比色法(GB/T 8314—2002)<sup>[6]</sup>测定,咖啡碱采用紫外分光光度法<sup>[5]</sup>测定,铝含量采用水杨基荧光酮(SAF)分光光度法测定<sup>[7]</sup>,土壤交换性铝采用氯化钾中和滴定法测定<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据统计方法

采用 SPSS 16.0 统计软件对试验数据进行 SSR 显著性检验。试验数据采用“平均值±标准差”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 根施外源铝对土壤中交换性铝含量和 pH 的影响

在茶叶根中分别施用 0,0.5,1.0,2.0 g/kg 铝后,其对土壤中交换性铝含量和土壤 pH 的影响结果见表 1。由表 1 可知,在各个土壤酸度调节水平下,添加外源铝均可明显提高土壤中交换性铝含量并显著降低土壤 pH 值。在添加外源铝含量为 0.5 g/kg 时,3 个土壤酸度调节水平下土壤中交换性铝含量分别为 3.50,3.73 和 3.75 cmol/kg,比对照提高了 38.34%,47.43%和 48.22%;pH 分别为 5.48,5.46 和 5.40,比对照下降了 10.16%,10.49%和 11.48%。在不添加硫磺、仅添加 2.0 g/kg 硫酸铝的条件下,土壤中交换性铝含量达到最高值 90.00 cmol/kg,比对照提高了 34.57 倍;pH 达到最低值 4.27,比对照下降了 30%。

表 1 不同酸度调节下根施铝对土壤交换性铝含量及 pH 的影响

Table 1 Effect of Al application in soil on the content of Al in soil and pH under different pH levels

| 施用量/(g·kg <sup>-1</sup> )Application dose |     | 交换性铝含量/(cmol·kg <sup>-1</sup> ) | pH           |
|-------------------------------------------|-----|---------------------------------|--------------|
| S                                         | Al  | Exchangeable aluminum           |              |
| 0                                         | 0   | 2.53±0.15 a                     | 6.10±0.14 e  |
| 0                                         | 0.5 | 3.50±0.10 a                     | 5.48±0.18 d  |
| 0                                         | 1.0 | 19.43±0.40 b                    | 4.80±0.14 c  |
| 0                                         | 2.0 | 90.00±1.00 f                    | 4.27±0.99 a  |
| 0.32                                      | 0.5 | 3.73±0.21 a                     | 5.46±0.13 d  |
| 0.32                                      | 1.0 | 20.83±0.76 b                    | 4.56±0.49 bc |
| 0.32                                      | 2.0 | 86.57±1.50 e                    | 4.30±0.01 a  |
| 0.64                                      | 0.5 | 3.75±0.04 a                     | 5.40±0.01 d  |
| 0.64                                      | 1.0 | 31.21±0.20 c                    | 4.51±0.14 ab |
| 0.64                                      | 2.0 | 69.25±4.99 d                    | 4.31±0.12 ab |

注:同列数据后标不同小写字母表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。下表同。  
Note:Data in same column with different letters indicate the difference is significant( $P<0.05$ ). The same as below.

2.2 根施外源铝对茶叶中铝含量和品质的影响

由表 2 可知,不同酸度条件下,根施外源铝对茶叶中铝含量具有显著性影响。在各个酸度调节水平下,根施外源铝均使茶叶中铝含量呈增加趋势,与对

照相比,随土壤酸度的增加,茶叶中铝含量随根施外源铝的增加增势趋缓。由此表明,根施外源铝有利于茶叶中铝含量的增加。

表 2 不同酸度调节下根施铝对茶叶铝含量及品质的影响

Table 2 Effect of Al application in soil on the content of Al in tea leaves and tea quality under different pH levels

| 施用量/(g·kg <sup>-1</sup> )Application dose |     | 铝含量/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 茶多酚/%           | 氨基酸/%        | 咖啡碱/%        |
|-------------------------------------------|-----|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|
| S                                         | Al  | Content of Al             | Tea polyphenols | Amino acids  | Caffeine     |
| 0                                         | 0   | 0.29±0.01 ab              | 15.91±0.65 a    | 3.99±0.19 cd | 1.33±0.05 c  |
| 0                                         | 0.5 | 0.34±0.02 bc              | 26.12±0.98 c    | 4.35±0.22 d  | 1.45±0.07 d  |
| 0                                         | 1.0 | 0.41±0.02 cd              | 23.58±1.21 bc   | 3.94±0.17 cd | 1.31±0.04 c  |
| 0                                         | 2.0 | 0.43±0.02 d               | 22.50±1.03 b    | 3.74±0.15 c  | 1.24±0.04 c  |
| 0.32                                      | 0.5 | 0.32±0.02 b               | 25.34±1.21 bc   | 4.22±0.18 d  | 1.40±0.05 cd |
| 0.32                                      | 1.0 | 0.33±0.02 b               | 20.93±1.01 b    | 3.48±0.16 bc | 1.16±0.05 b  |
| 0.32                                      | 2.0 | 0.39±0.01 cd              | 18.29±0.95 a    | 3.06±0.14 ab | 1.02±0.02 ab |
| 0.64                                      | 0.5 | 0.32±0.02 b               | 23.43±0.98 bc   | 3.91±0.15 cd | 1.30±0.04 c  |
| 0.64                                      | 1.0 | 0.34±0.02 bc              | 19.90±0.78 ab   | 3.32±0.17 b  | 1.10±0.03 b  |
| 0.64                                      | 2.0 | 0.34±0.02 bc              | 15.65±0.64 a    | 2.60±0.11 a  | 0.86±0.01 a  |

茶多酚是表征茶叶品质的关键物质,本研究发  
现,在根施外源铝处理中,除土壤施入硫磺 0.64  
g/kg和铝为 2.0 g/kg 及硫磺 0.32 g/kg 和铝 2.0  
g/kg 的处理组外,其他组茶多酚质量分数均显著高  
于对照。在同一土壤酸度水平下,茶多酚的质量分  
数随根施外源铝的增加而减小;在相同施铝量下,茶  
多酚的质量分数随土壤酸度的增大而减小。

根施外源铝处理中,只有在不加入或加入硫磺  
量为 0.32 g/kg、铝含量为 0.5 g/kg 时,茶叶中氨基  
酸质量分数高于对照,且最多仅高出对照 9.10%。  
在同一酸度水平下,氨基酸质量分数随铝含量增加  
而减小;在同一施铝水平下,氨基酸质量分数随土壤  
酸度的增加而减小。在铝含量为 2.0 g/kg、加硫磺  
量为 0.64 g/kg 时,茶叶中氨基酸的质量分数仅为  
2.60%,比对照下降了 34.62%。

在同一酸度处理下,根施外源铝可以明显降低

茶叶中咖啡碱的质量分数,除在不加入或加入硫磺  
量为 0.32 g/kg、铝含量为 0.5 g/kg 时,茶叶中咖啡  
碱的质量分数略高于对照外,其余均低于对照。加  
入硫磺量为 0.64 g/kg、铝含量为 2.0 g/kg 时,茶叶  
中咖啡碱的质量分数为 0.86%,比对照下降了  
34.72%。在同一外源铝施用量下,土壤酸度越大,  
茶叶中咖啡碱的质量分数越低。

2.3 叶面喷施外源铝对茶叶中铝含量和品质的影响

由表 3 可见,在各个酸度调节水平下,在铝喷施  
质量浓度为 0~5.0 g/L 时,茶叶中铝含量随外源铝  
质量浓度的增加而增大;而在喷施铝质量浓度为  
10.0 g/L 时,铝含量在 3 个土壤酸度水平下均明显  
下降。

除土壤加硫磺为 0.32 g/kg、叶面喷施铝 5.0  
g/L 的处理外,叶面喷施外源铝均可不同程度提高

茶叶中茶多酚的质量分数,其中在土壤不加硫磺、喷施铝质量浓度为 10.0 g/L 时茶多酚质量分数达到最大值 23.77%,比对照提高了 48.85%。

叶面喷施外源铝对茶叶中氨基酸含量的影响表现为:在同一酸度处理水平下,氨基酸质量分数的变化随铝质量浓度的增加呈先升后降的趋势,均在喷施铝质量浓度为 5.0 g/L 时达到最大;同一喷施铝质量浓度下,氨基酸质量分数随土壤中加入硫磺量

增加呈先降低后升高的趋势,在喷施铝质量浓度为 5.0 g/L、土壤加硫磺量为 0.64 g/kg 时,茶叶中氨基酸质量分数最大,为 4.42%,比对照高出 161.5%。

在不施硫磺及施硫磺量为 0.64 g/kg 时,随叶面喷施铝的质量浓度由 2.5 g/L 增加到 10.0 g/L,茶叶中咖啡碱质量分数逐渐下降;各叶面喷施铝处理的咖啡碱质量分数均高于对照。

表 3 不同酸度调节下叶面喷施铝对茶叶铝含量及品质的影响  
Table 3 Effect of Al application by spraying on leaves on the content of Al in tea leaves and tea quality under different pH levels

| 施用量 Application dose    |                         | 铝含量/(mg·g <sup>-1</sup> )<br>The content of Al | 茶多酚/%<br>Tea polyphenols | 氨基酸/%<br>Amino acids | 咖啡碱/%<br>Caffeine |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| S/(g·kg <sup>-1</sup> ) | Al/(g·L <sup>-1</sup> ) |                                                |                          |                      |                   |
| 0                       | 0                       | 0.29±0.01 ab                                   | 15.91±0.65 b             | 1.69±0.09 a          | 1.29±0.04 a       |
| 0                       | 2.5                     | 0.37±0.03 c                                    | 18.19±0.68 b             | 2.38±0.12 b          | 1.44±0.08 a       |
| 0                       | 5.0                     | 0.44±0.04 d                                    | 19.08±0.76 b             | 3.30±0.18 d          | 1.41±0.06 a       |
| 0                       | 10.0                    | 0.32±0.02 b                                    | 23.77±0.93 c             | 2.24±0.13 b          | 1.34±0.02 a       |
| 0.32                    | 2.5                     | 0.33±0.01 b                                    | 17.51±0.88 b             | 2.02±0.11 ab         | 1.90±0.08 b       |
| 0.32                    | 5.0                     | 0.38±0.03 c                                    | 13.30±0.54 a             | 2.22±0.13 b          | 1.40±0.06 a       |
| 0.32                    | 10.0                    | 0.26±0.01 a                                    | 19.76±0.98 bc            | 1.74±0.09 a          | 1.90±0.07 a       |
| 0.64                    | 2.5                     | 0.35±0.04 bc                                   | 16.24±0.58 b             | 2.81±0.16 c          | 3.12±0.11 e       |
| 0.64                    | 5.0                     | 0.38±0.04 c                                    | 16.34±0.48 b             | 4.42±0.25 f          | 2.20±0.09 c       |
| 0.64                    | 10.0                    | 0.32±0.03 b                                    | 15.92±0.54 b             | 3.99±0.20 e          | 1.33±0.07 a       |

2.4 施用外源铝与茶叶铝含量的相关性

为了研究施铝方法与茶叶铝含量的关系,本研究对茶叶铝含量与外源铝添加量、土壤中交换性铝含量分别进行了相关性分析,结果(表 4)表明,根施外源铝与茶叶铝含量具有显著的相关性( $P=0.022<0.05$ ),土壤中交换性铝含量与茶叶中铝含量也显著相关( $P=0.029<0.05$ ),而叶面喷施外源铝与茶叶铝含量呈负相关,且不显著。由此可以说明,根施外源铝可以得到很好地吸收,而叶面喷施铝可能由于喷施不均匀,影响了铝的吸收。

表 4 施用外源铝和土壤中交换性铝含量与茶叶铝含量的相关性

| 项目<br>Item                                      | 茶叶铝含量<br>Content of Al<br>in tea leaves | 显著性( $P$ 值)<br>Significant difference<br>( $P$ value) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 根施外源铝<br>Al application in soil                 | 0.707 *                                 | 0.022                                                 |
| 叶面喷施铝<br>Al application by spraying on leaves   | -0.259                                  | 0.470                                                 |
| 土壤中交换性铝含量<br>Content of exchangeable Al in soil | 0.683 *                                 | 0.029                                                 |

注: \* 表示在 0.05 水平上显著相关。  
Note: \* indicates the correlation is significant( $P<0.05$ ).

3 讨 论

茶树茶叶中茶多酚、咖啡碱、氨基酸含量是评价茶叶品质的重要指标。茶树是典型的嗜铝植物,施用外源铝可以在一定程度上提高茶叶品质。为了更好地研究不同施铝方式与茶叶铝含量的关系,本研究采用根施和叶面喷施 2 种方法进行了研究,结果表明,根施外源铝可以显著提高茶叶中的铝含量,且随着铝施用量的增高而增大;而茶叶中铝含量随叶面喷施外源铝质量浓度的升高则呈现出先升后降的趋势,各酸度条件下均在铝为 5.0 g/L 时达到最高。这可能是由于在喷施铝质量浓度为 5.0 g/L 时,茶树叶片对外源铝的吸收达到了峰值,这与杨凌云等<sup>[9]</sup>的研究结果类似。

在微酸性茶园土壤中添加硫酸铝,可以有效降低土壤 pH 值,提高土壤活性<sup>[10]</sup>,茶树适宜生长在 pH 4.0~6.5 的土壤中,其中 pH 5.0~5.5 最为适宜<sup>[11]</sup>,高产茶园土壤交换性铝的最适含量是 3~5 cmol/kg。而在本试验中,当根施外源铝含量为 0.5 g/kg 时,3 个酸度调节水平下土壤 pH 分别为 5.48, 5.46 和 5.40,土壤中交换铝含量分别为 3.50, 3.73 和 3.75 cmol/kg,均在最适含量范围之内,这也就从另一方面说明了茶叶中茶多酚、氨基酸和咖啡碱的质量分数在铝施用量为 0.5 g/kg 时均能达到最

大值的原因。

茶多酚不仅影响茶叶的风味,且具有多种生物活性作用<sup>[12]</sup>,是国内外研究的热点。本研究结果表明,根施外源铝后多数处理的茶多酚质量分数均显著提高,而氨基酸的质量分数却有所降低,这可能与施用铝促进茶氨酸向茶多酚的转化有关<sup>[10]</sup>。但随铝施用量的增多,茶多酚的质量分数呈下降趋势,这可能与高含量的铝对茶叶中茶多酚含量有负面作用有关<sup>[13-14]</sup>。

咖啡碱是茶叶中的重要风味物质,由于咖啡碱能使神经中枢兴奋,长期饮茶会使人们对其产生依赖,停喝后会产生头痛、恶心等病症。目前,如何降低茶叶中咖啡碱的含量已成为研究热点,本试验结果证明,根施外源铝可以降低茶叶中咖啡碱的质量分数,因此可以考虑将其作为降低茶叶中咖啡碱的有效方法之一。

茶树叶片除了进行光合作用外还能吸收养分,而且叶面施肥可以促进和加强根部的吸收能力。本研究表明,在一定质量浓度范围内,叶面喷施外源铝可提高茶多酚、氨基酸和咖啡碱的质量分数,在同一根施外源铝质量浓度下,随着添加硫磺量的增加,茶叶中茶多酚、氨基酸、咖啡碱的质量分数均明显降低,说明土壤 pH 过低,不利于茶树的正常代谢。而叶面喷施铝处理中,土壤加入硫磺量对茶叶中茶多酚、氨基酸和咖啡碱质量分数的影响较复杂。茶多酚和咖啡碱的质量分数在不同铝喷施处理下对于土壤酸度的反应不同,而氨基酸的质量分数则随土壤酸度的增加而呈现先下降后升高的趋势。

铝被认为是一种毒害神经的元素,大量证据表明,铝与阿尔兹海默氏症、帕金森氏症、糖尿病等疾病有关<sup>[15-16]</sup>,关于饮茶中的铝会不会危害人体健康的研究一直倍受关注。WHO 规定,一个正常成年人每日摄入的铝许可量是 5 mg<sup>[17]</sup>。一般茶叶的铝浸出率为 4%,本试验中茶叶铝含量最多为 0.44 mg/g,如果每天饮用 1 L 茶水(约 10 g 茶叶),则每天喝茶摄入的铝仅为 0.176 mg,所以通过施铝来提高茶叶品质并不会对人体健康产生危害。

## 4 结 论

根施和叶面喷施外源铝可以不同程度增加茶树叶片中铝的含量,并可在一定程度上影响茶叶中茶多酚、氨基酸和咖啡碱的含量。

根施外源铝为 0.5 g/kg 时,茶叶中茶多酚、氨基酸和咖啡碱的质量分数均达到最大,且使土壤中

交换性铝含量和 pH 值达到最适宜茶树生长的范围。在农业生产中,从提高茶叶品质方面考虑,根施铝肥量以 0.5 g/kg 为宜。而叶面喷施铝为 2.5 g/L 时,咖啡碱质量分数达到最大;5.0 g/L 时氨基酸质量分数最大。

本研究利用相关性分析,验证了根部施铝与茶叶铝含量有显著的相关性,这为今后陕南茶区铝施肥提供了理论依据。但在全国普遍应用时,由于地域与微气候的不同,尚需进一步验证。

## [参考文献]

- [1] 罗明标,刘 艳,张国庆,等.茶汤中铝的浓度、形态和生物可给性[J].茶叶科学,2004,24(3):153-158.  
Luo M B, Liu Y, Zhang G Q, et al. Aluminum in tea infusions concentration, form and bioavailability [J]. Journal of Tea Science, 2004, 24(3): 153-158. (in Chinese)
- [2] 童启庆.茶树栽培学[M].北京:农业出版社,1989.  
Tong Q Q. The cultivation science of tea [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1989. (in Chinese)
- [3] 夏文娟,张丽霞,向勤铿.添加硫酸铝对茶园土壤部分化学性质的影响[J].茶叶通讯,2005,32(3):8-11.  
Xia W J, Zhang L X, Xiang Q Z. Effects of adding Aluminum Sulfate on some chemical properties of soil in tea garden [J]. Tea Communication, 2005, 32(3): 8-11. (in Chinese)
- [4] 陈婵婵,肖 斌,余有本,等.陕南茶园土壤有机质和 pH 值空间变异及其与速效养分的相关性[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(1):182-188.  
Chen C C, Xiao B, Yu Y B, et al. Spatial variability of soil organic matter and pH and the correlation to available nutrients in the tea garden of southern Shaanxi [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2009, 37(1): 182-188. (in Chinese)
- [5] 黄意欢.茶学实验技术[M].北京:中国农业出版社,1997.  
Huang Y H. The experimental technique of tea science [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1997. (in Chinese)
- [6] GB/T 8314—2002 游离氨基酸总量测定[S].北京:中国标准出版社,2002.  
GB/T 8314—2002 Determination of total free amino acid [S]. Beijing: China Standards Press, 2002. (in Chinese)
- [7] 张捷莉,王春光,苑 蕾,等.几种茶叶中铝含量的测定[J].食品科学,2006,27(12):688-690.  
Zhang J L, Wang C G, Yuan L, et al. Determination of the aluminum in several teas [J]. Journal of Food Science, 2006, 27(12): 688-690. (in Chinese)
- [8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,1998:16-17,62-68.  
Lu R K. Soil agricultural chemical analysis method [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998: 16-17, 62-68. (in Chinese)
- [9] 杨凌云,夏建国,李海霞,等.硅铝配施对川西蒙山茶茶叶品质的

影响 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 157-160.

Yang L Y, Xia J G, Li H X, et al. Effects of fertilization of silicon and aluminum on qualities of Mengshan Tea in Western Sichuan Basin [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(Suppl.): 157-160. (in Chinese)

[10] 李九玉, 徐仁和. 不同 pH 下低分子量有机酸对黄壤中铝活化的影响 [J]. 环境化学, 2005, 24(3): 275-278.

Li J Y, Xu R H. Effect of low-molecular-weight organic acids on the mobilization of aluminum in yellow soil [J]. Environmental Chemistry, 2005, 24(3): 275-278. (in Chinese)

[11] 蔡 新. 铝与茶树生长发育 [J]. 农业与技术, 1998(4): 19-21.

Cai X. Aluminum and tea plant growth and development [J]. Agriculture and Technology, 1998(4): 19-21. (in Chinese)

[12] Huo C, Wan S B, Lam W H, et al. The challenge of developing green tea polyphenols as therapeutic agents [J]. Inflammoparmacology, 2008, 16(5): 248-252.

[13] 李海生, 张志权. 不同铝水平下茶对铝及矿质养分的吸收与累积 [J]. 生态环境, 2007, 16(1): 186-190.

Li H S, Zhang Z Q. The absorption and accumulation of aluminum and mineral nutrient in tea (*Camellia sinensis*) under different Al levels [J]. Ecology and Environment, 2007, 16(1): 186-190. (in Chinese)

[14] 郑伟伟, 刘 鹏, 徐根娣, 等. 铝对茶叶叶片主要化学成分的影响 [J]. 生态环境, 2006, 15(4): 822-826.

Zheng W W, Liu P, Xu G D, et al. Effect of aluminum on quality of tea plant [J]. Ecology and Environment, 2006, 15(4): 822-826. (in Chinese)

[15] Exley C. Aluminum in life: From acid rain to Alzheimer's disease. Fifth Keele meeting on Aluminium-23rd to 25th February 2003 [J]. J Inorg Biochem, 2003, 97(1): VI-VII.

[16] Wang C Y, Bi S P, Luo M B. Review on the progress of analytical methodologies for polynuclear aluminum in environmental water systems [J]. Rew Anal Chem, 2003, 22(1): 53-71.

[17] Wong M H, Fung K F, Carr H P. Aluminum and fluoride contents of tea with emphasis on brick tea and their health implications [J]. Toxicology Letters, 2003, 137: 111-120.