

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

陈婵婵,肖 斌,余有本,巩雪峰
(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**研究陕南茶园土壤 pH 值和有机质的空间变异及其与土壤速效养分的相关性,为陕南茶园土壤精准化管理提供依据。**【方法】**采集陕南 8 个县(西乡县、南郑县、勉县、城固县、宁强县、紫阳县、平利县和商南县) 99 个茶园土壤样品,对其 pH 值、有机质和速效 N、P、K 含量进行测定,分析土壤 pH 值、有机质含量与速效养分含量的相关性。**【结果】**陕南茶园土壤有机质含量总体较低,为 0.96~43.34 g/kg,未达到优质高产茶园的要求;pH 为 4.08~6.93,均能满足茶叶生长的基本土壤酸碱度条件。西乡县茶园土壤 pH 值显著高于其他 7 个县($P<0.05$),宁强县和勉县土壤 pH 值有减小的趋势。pH 值与有机质含量、速效 N 含量、速效 K 含量呈显著负相关或极显著负相关,与速效 P 含量呈显著正相关;有机质含量与速效 N 和速效 K 含量呈显著或极显著正相关,与速效 P 含量呈极显著负相关。**【结论】**陕南茶园应合理施用有机肥,以增加土壤有机质和速效养分含量,改善土壤酸碱度。陕南茶园土壤有机质含量、pH 值与土壤速效养分含量之间相关性达到显著或极显著水平。土壤有机质含量和 pH 值影响着土壤速效养分的含量。

[关键词] 茶园;陕南;土壤有机质;pH 值;速效养分

[中图分类号] S571.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2009)01-0182-07

Spatial variability of soil organic matter and pH and the correlation to available nutrients in the tea garden of southern Shaanxi

CHEN Chan-chan,XIAO Bin,YU You-ben,GONG Xue-feng
(College of Horticulture,Northwest A&F University,Yangling ,Shaanxi 712100,China)

Abstract: 【Objective】 The research studied the relationship between soil pH value,spatial distribution of organic matter and available nutrients for the tea garden accurate management.**【Method】** Soil pH,organic matter,available N,available P,and available K of soil samples were measured in 99 tea gardens from 8 counties (Xixiang, Nanzheng, Mianxian, Chenggu, Ningqiang, Ziyang, Pingli, Shangnan) of southern shaanxi. The correlation between soil pH,organic matter and available nutrients was analysed.**【Result】** The results showed that there were low contents of organic matter in tea gardens of southern Shaanxi,ranging from 0.96 to 43.34 g/kg,which couldn't meet the needs of high production;the pH values of soil ranging from 4.08 to 6.93 were suitable for the growth of tea. And the soil pH in Xixiang was higher than that of other 7 ccounties;a tendency of acidification was found in the soil of Ningqiang county and Mianxian county. The correlation between pH and organic matter,available N and available K was significantly or remarkably negative,the correlation between pH and available P was significantly positive;the correlation between organic matter and available N,available K was significantly positive or extremely positive,the

* [收稿日期] 2008-03-13
[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(2005C129);杨凌农业科技推广专项资金项目(YLTG2006-4,YLTG2007-4)
[作者简介] 陈婵婵(1983—),河南焦作人,在读硕士,主要从事茶叶生理研究。E-mail:achan2008@163.com
[通信作者] 肖 斌(1957—),陕西周至人,教授,主要从事茶叶生理和生态研究。E-mail:xiaoBin2008@163.com

correlation between organic matter and available P was significantly negative.【Conclusion】The use of reasonable organic fertilizer is beneficial for increasing the content of organic matter and available nutrition and improving the pH value. The pH value,organic matter and available nutrition content is significantly or very significantly correlated.

Key words: tea garden;southern Shaanxi;soil organic matter;pH value;available nutrient

陕南茶区主要位于陕西秦岭以南汉水流域的汉中、安康和商洛等地区^[1]。这一地区的气候具有亚热带气候特点,雨量充沛,水热同季,湿润多云低日照,全年水热条件匹配;土壤呈酸性,保水保肥性能良好,适宜优质茶生长。

土壤是茶树生长的基础,准确掌握土壤的酸碱性及有机质含量等是茶树合理施肥的前提条件^[2]。土壤有机质含量在很大程度上决定着土壤肥力的高低^[3]。我国对茶园土壤的研究比较深入,王凯荣^[4]对湖南山区茶园土壤的肥力状况进行研究发现,高产茶园耕层土壤有机质平均含量大于 30 g/kg,碱解氮大于 150 mg/kg,是低产茶园的 2 倍,速效磷的平均含量大于 30 mg/kg。但目前对陕南茶区土壤养分的系统研究尚未见报道。为此,本研究对陕南产茶区 8 个县 99 个茶园调查点土壤的 pH 值、有机质含量及速效养分含量进行了系统分析,以期为陕南茶区茶园土壤的水肥管理和茶叶品质的提高提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

在陕南茶区,根据不同海拔高度、坡向及周边环境等立地条件,选取 33 个样地,每样地选取有代表性、生长正常的茶园 3 块,每块茶园以 10 m×10 m 区域随机布设样方,按照“S 型”采样法布 5 点并挖取 1 m×1 m 的剖面,每点各选取 3 个层次(0~20, 20~40 和 40~60 cm)采集土壤样品。所取土样在室内风干,去杂,研磨,过 0.15 mm 孔径(100 目)筛后放入玻璃瓶中,常温保存待测。本试验共选采样茶园 99 个,布点 495 个,试验结果为 3 个相似立地条件下茶园土壤测定值的平均值。

1.2 测定方法^[5]

土壤 pH 值用酸度计测定($m(\text{水}):m(\text{土})=5:1$);有机质用重铬酸钾-硫酸氧化外加热法测定;速效 N 采用康卫皿法测定;速效 P 采用钼锑抗显色分光光度法测定;速效钾采用醋酸铵浸提火焰光度法测定。

1.3 数据处理

对试验数据采用新复极差法进行分析。

2 结果与分析

2.1 陕南茶园土壤有机质的空间分布特征

土壤有机质含量是土壤肥力分级的重要指标和肥力高低的综合表现,影响有机质含量的因素很多,其中包括耕作模式、施肥状况、降水量、海拔和温度等^[6]。陕南茶园土壤有机质含量如表 1 所示,从表 1 可以看出,陕南茶园的土壤有机质含量平均为 4.94~36.70 g/kg,其中 0~20 cm 土层为 9.71~43.34 g/kg,20~40 cm 土层为 2.90~21.55 g/kg,40~60 cm 土层为 0.96~17.78 g/kg。8 个县茶园土壤有机质含量大小顺序为:紫阳(20.97 g/kg)>勉县(19.36 g/kg)>城固(17.97 g/kg)>宁强(14.70 g/kg)>西乡(11.92 g/kg)>平利(10.77 g/kg)>南郑(10.54 g/kg)>商南(9.16 g/kg)。紫阳和勉县茶园土壤有机质含量处于较高水平,其原因可能是因为这 2 个县茶园有机肥施用量较其他县高,有机质积累量高;另外这 2 个县的茶园海拔较高(500~1 200 m),气温低,土性冷凉,微生物活动弱,有机质分解慢,这也有利于有机质的积累。经方差分析,紫阳县茶园土壤有机质含量与其他 7 个县差异均达到显著水平($P<0.05$)。城固县茶园 20~40 cm 和 40~60 cm 土层有机质含量均较其他 7 个县茶园相同土层高,但 0~20 cm 土层土壤有机质含量位居第 3,表明城固县茶园土壤表层有人为搬运或破坏的迹象。

土壤有机质含量是决定茶叶品质和产量的重要因素,高产优质茶园土壤有机质含量一般要达到 20 g/kg 以上^[7-8]。参照唐剑锋等^[2]的研究结果,本试验将陕南茶园土壤有机质含量分为 5 个等级,不同等级有机质含量分布比例如表 2 所示。从表 2 可以看出,陕南不同土层土壤有机质含量为 0~20 g/kg 的茶园所占比例较高,其中 0~20 cm 土层占 54.55%,20~40 cm 土层占 96.98%,40~60 cm 土层占 100%。由此可以看出,陕南茶园土壤有机质含量整体水平较低,其中紫阳县茶园(20.97 g/kg)

处于中等水平,商南县茶园(9.16 g/kg)处于极低水平,达不到优质高产茶园的要求。因此,应加大有机肥施用量,提高茶园土壤的有机质含量。

表 1 陕南茶园土壤有机质的空间分布情况

Table 1 Spatial distributional of soil organic matter in the tea garden of southern Shaanxi							
取样点 Spots	海拔/m Latitude of sampling pots	样点数 Sample quantity	土层深度/cm Soil layer	有机质/ (g · kg ⁻¹) Organic matter	平均值/ (g · kg ⁻¹) Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Cv
西乡县 Xixiang county	575~980	69	0~20	9.71~27.17	21.52 d	0.06	0.3
			20~40	2.90~16.67	8.83 f	0.05	0.6
			40~60	1.47~11.98	5.74 f	0.10	1.7
南郑县 Nanzheng county	800~1 000	63	0~20	14.34~17.07	15.38 ef	0.38	2.4
			20~40	9.24~10.97	9.90 e	0.33	3.3
			40~60	6.04~6.84	6.38 e	0.05	0.8
勉县 Mianxian county	850~1 200	69	0~20	27.88~36.66	32.99 b	0.25	0.8
			20~40	13.33~21.55	16.53 b	0.17	1.0
			40~60	3.20~13.98	8.60 c	0.04	0.5
城固县 Chenggu county	700~920	60	0~20	23.30~27.55	25.21 c	1.07	4.2
			20~40	16.23~19.38	17.64 a	0.27	1.5
			40~60	8.69~13.27	11.09 a	0.17	1.5
宁强县 Ningqiang county	780~1 000	66	0~20	17.08~27.33	22.10 d	0.28	1.3
			20~40	9.36~19.07	13.10 d	0.72	5.1
			40~60	7.65~8.47	8.02 d	0.22	2.7
紫阳县 Ziyang county	500~800	54	0~20	29.76~43.34	36.70 a	0.15	0.4
			20~40	10.56~20.45	15.79 c	0.25	1.6
			40~60	4.86~17.78	10.43 b	0.80	7.7
平利县 Pingli county	550~700	63	0~20	9.85~18.46	16.03 e	0.26	1.6
			20~40	2.93~14.78	10.05 e	0.30	3.0
			40~60	0.96~11.75	6.26 ef	0.16	2.6
商南县 Shangnan county	500~650	51	0~20	12.04~17.68	14.76 f	0.21	1.4
			20~40	5.30~10.63	7.80 g	0.20	2.6
			40~60	3.75~6.44	4.94 g	0.21	4.3

注:同列数据后标不同小写字母者表示同层土壤有机质含量差异显著。下表同。

Note:Data in each column with the different letter are denotation. The mean of organic matter is significant in a same soil layer. The same below.

表 2 陕南茶园土壤有机质含量的等级分布

Table 2 Percent of each grade soil organic matter in the tea gardens of southern Shaanxi				
等级 Grade	有机质含量/(g · kg ⁻¹) Content of organic matter	有机质含量等级分布比例/% Percent of each grade soil organic matter		
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
极低水平 Extremely low level	0~10	0.00	51.52	84.85
较低水平 Low level	10~20	54.55	45.46	15.15
中等水平 Medium level	20~30	36.36	3.03	0.00
高等水平 Higher level	30~40	6.06	0.00	0.00
极高水平 Extremely high level	>40	3.03	0.00	0.00

2.2 陕南茶园土壤酸碱度的空间分布特征

土壤酸碱性是土壤的一个重要属性,也是影响土壤肥力的一个重要因素,是土壤在其形成过程中受生物、气候、地质、水文等因素综合作用所产生的重要属性^[1]。茶树为喜酸性植物,其适宜生长的pH值为4.0~6.5,最适pH值为4.5~5.5。在碱性土壤中,茶树生长逐渐停滞,甚至死亡;pH值低于4.0的土壤会对茶树生长产生抑制,且会给茶叶品质带来不良影响^[7]。从表3可以看出,陕南茶园土壤pH

值主要集中在5.0左右,均在适宜的pH范围之内;西乡县茶园土壤3个土层pH与其他7个县差异均达到显著水平;南郑县3个土层pH的变异系数处于相对较低的水平;勉县茶园0~20 cm土层pH最小,比西乡县低1.03;宁强县茶园20~40 cm和40~60 cm土层的pH均最小,分别比西乡县低1.09和0.98;就陕南整个茶区而言,勉县和宁强县茶园土壤pH值偏低。

表 3 陕南茶园土壤 pH 值的空间分布情况

Table 3 Spatial distributional of soil pH in the tea garden of southern Shaanxi

取样地点 Site	土层深度/cm Soil layer	pH	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数/% Cv
西乡县 Xixiang county	0~20	5.08~6.22	5.67 a	0.02	0.35
	20~40	5.24~6.69	5.98 a	0.02	0.33
	40~60	5.38~6.93	6.12 a	0.02	0.33
南郑县 Nanzheng county	0~20	5.33~5.73	5.52 b	0.01	0.18
	20~40	5.49~5.81	5.65 b	0.01	0.18
	40~60	5.62~5.83	5.74 c	0.01	0.17
勉 县 Mianxian county	0~20	4.08~5.25	4.64 e	0.03	0.65
	20~40	4.41~5.62	4.93 f	0.03	0.61
	40~60	4.66~5.86	5.13 g	0.02	0.39
城固县 Chenggu county	0~20	4.44~5.56	5.01 c	0.01	0.20
	20~40	4.51~5.70	5.09 d	0.03	0.59
	40~60	4.71~4.75	5.22 f	0.02	0.38
宁强县 Ningqiang county	0~20	4.48~4.89	4.65 e	0.04	0.86
	20~40	4.53~5.23	4.89 g	0.01	0.20
	40~60	4.65~5.69	5.14 g	0.04	0.78
紫阳县 Ziyang county	0~20	4.38~5.13	4.77 d	0.01	0.21
	20~40	4.73~5.32	5.05 e	0.02	0.40
	40~60	5.15~5.47	5.31 e	0.00	0.00
平利县 Pingli county	0~20	4.42~5.58	5.01 c	0.00	0.00
	20~40	4.72~5.69	5.31 c	0.03	0.57
	40~60	5.22~5.80	5.53 d	0.01	0.18
商南县 Shangnan county	0~20	4.77~6.27	5.54 b	0.02	0.36
	20~40	4.63~6.52	5.65 b	0.02	0.35
	40~60	5.49~6.67	5.95 b	0.04	0.67

2.3 陕南茶园土壤速效养分的空间分布特征

多酚的积累和水浸出物的增加;K 不参与茶树物质

茶园土壤的 N、P、K 含量与茶叶品质的关系非

组成,但在加强光合作用、增加酶的活性以及促进 N

常密切,茶叶中的氨基酸和咖啡碱含量与土壤中的

的吸收、增加茶叶氨基酸含量等方面有重要意义^[9]。

N 素含量呈显著正相关;土壤中的速效 P 有利于茶

陕南茶园土壤的速效养分含量见表 4。

表 4 陕南茶园土壤速效养分含量的测定结果

Table 4 Data of soil available nutrients in tea garden of Southern Shaanxi

取样地点 Site	土层深度/cm Soil layer	速效 N/(mg·kg ⁻¹) Available N	速效 P/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效 K/(mg·kg ⁻¹) Available K
西乡县 Xixiang county	0~20	109.33	5.56	91
	20~40	51.01	6.26	46
	40~60	32.53	6.90	36
	平均 Mean	64.29 c	6.24 b	57.67 cd
南郑县 Nanzheng county	0~20	189.43	1.13	69
	20~40	126.47	1.21	54
	40~60	104.38	1.20	43
	平均 Mean	140.09 a	1.18 de	55.33 cd
勉县 Mianxian county	0~20	277.14	3.39	198
	20~40	143.34	0.96	127
	40~60	86.46	0.49	64
	平均 Mean	168.98 a	1.61 de	129.67 a
城固县 Chenggu county	0~20	174.54	4.10	68
	20~40	137.54	1.67	40
	40~60	87.53	0.98	31
	平均 Mean	133.20 ab	2.25 d	46.33 d
宁强县 Ningqiang county	0~20	141.53	0.71	119
	20~40	80.65	0.39	65
	40~60	57.50	0.35	49
	平均 Mean	93.23 c	0.48 e	77.67 bcd

续表 4 Continued table 4

取样地点 Site	土层深度/cm Soil layer	速效 N/(mg·kg ⁻¹) Available N	速效 P/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效 K/(mg·kg ⁻¹) Available K
紫阳县 Ziyang county	0~20	160.65	2.09	177
	20~40	76.27	0.52	81
	40~60	59.27	0.73	69
	平均 Mean	98.73 bc	1.11 de	109 ab
平利县 Pingli county	0~20	157.20	3.53	146
	20~40	76.99	3.89	84
	40~60	42.37	4.89	67
	平均 Mean	92.19 c	4.10 c	99 ab
商南县 Shangnan county	0~20	127.64	10.89	117
	20~40	60.62	9.63	83
	40~60	28.35	10.49	58
	平均 Mean	72.20 c	10.34 a	86 bc

参照土壤速效养分等级分布标准^[2],由表 4 可以看出,陕南茶园土壤速效氮含量整体水平较高,尤其是勉县茶园,含量最高,平均值达 168.98 g/kg,其次是城固县茶园(133.20 g/kg)、南郑县茶园(104.09 g/kg)、紫阳县茶园(20.97 g/kg)、宁强县茶园(93.23 g/kg)、平利县茶园(92.19 g/kg)、商南县茶园(72.20 g/kg),西乡县茶园最低(64.29 g/kg);速效磷含量整体水平较低,75%的茶园土壤

速效磷都处于极低水平^[2];速效钾含量处于中等水平,但是各县茶园之间差异较大。

2.4 陕南茶园土壤有机质、pH 值与速效养分间的相关关系

对陕南 8 个县 33 个不同立地条件的茶园土壤有机质、pH 值与速效养分进行相关性分析,结果如图 1,图 2 所示。

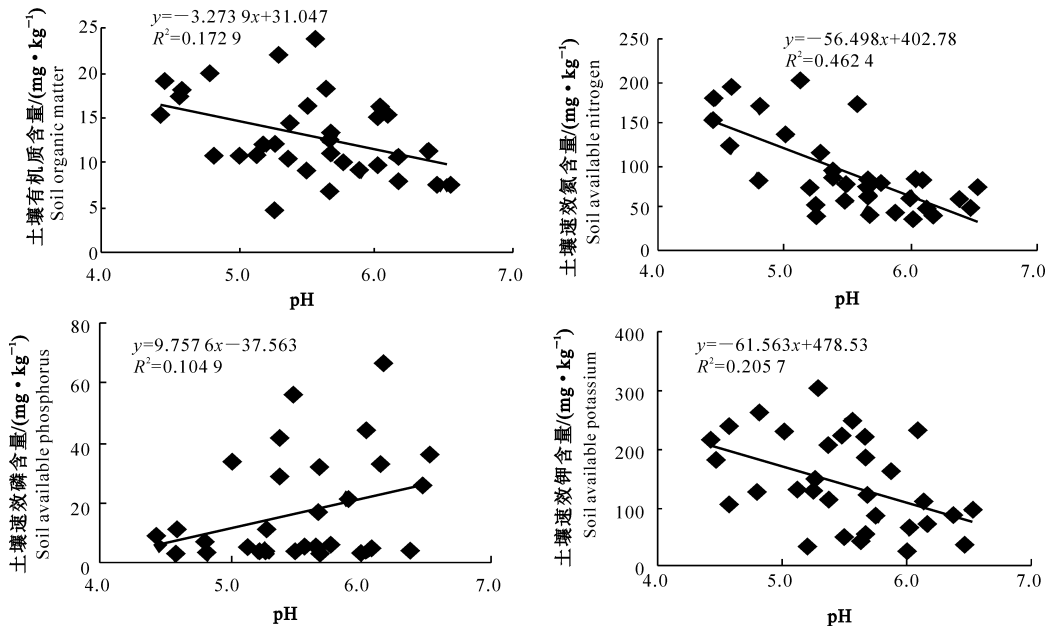


图 1 陕南茶园土壤 pH 与有机质及速效养分含量的相关关系

$r=31, P_{0.05}=0.325\sim0.349, P_{0.01}=0.418\sim0.449$

Fig. 1 Correlation between pH and organic, avaible nutrients in tea gardens of southern Shaanxi

从图 1 可以看出,pH 与有机质含量呈显著负相关,相关系数为 0.416;与速效 N 和速效 K 含量均呈极显著负相关,相关系数分别为0.680和0.454;与速效 P 含量呈显著正相关。由图 2 可以看出,土壤有机质含量与速效 N 含量呈极显著正相关,相关

系数为 0.503;与土壤速效 P 含量呈极显著负相关,相关系数为 0.435;与土壤速效 K 呈显著正相关,相关系数为 0.368。表明,土壤 pH 和有机质含量影响着茶园土壤速效养分的含量。

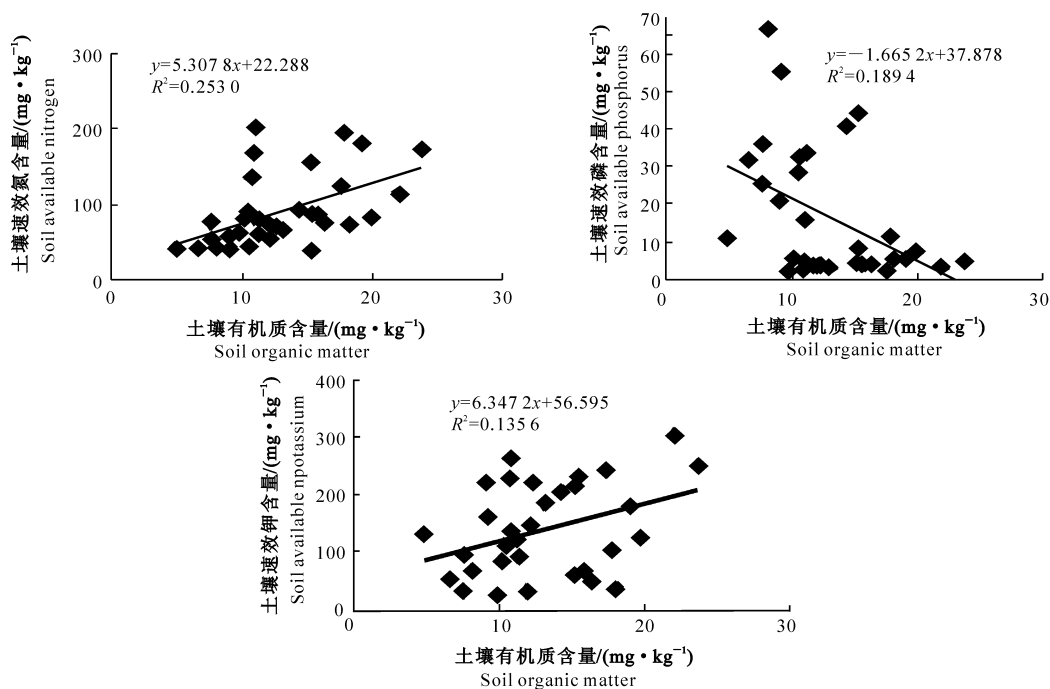


图 2 陕南茶园土壤有机质含量与速效养分含量的相关关系

$r=31, P_{0.05}=0.325\sim0.349, P_{0.01}=0.418\sim0.449。$

Fig. 2 Correlation between soil organic matter and the available nutrients in tea gardens of southern Shaanxi

3 讨论与结论

土壤是高度不均一的历史自然体^[10],其有机质含量、pH 值及速效养分含量受多种因素的影响,处于不断变化之中。茶园土壤是决定茶树生长状况及茶叶品质高低的重要因素。本研究结果表明:(1)陕南茶园土壤有机质含量较低,达不到优质高产茶园的要求。这与当地不够重视有机肥的施用有直接的关系。随着茶树树龄的增加,因茶园有机质含量较低,不能满足树体的生长发育,导致树势衰弱,进而影响茶叶的品质。因此连续施用有机肥,是显著提高陕南茶园土壤有机质含量的最佳措施。

(2)陕南茶园土壤 pH 值约为 5.0,能够满足茶树生长的土壤酸碱度条件。相对于整个陕南地区来说,部分茶园土壤 pH 值偏小,这会导致以下情况:一方面在雨水充足的条件下,土壤养分淋失,土壤日趋贫瘠,致使土壤结构退化,同时释放出致害铝离子和重金属等污染物,使茶叶品质降低^[11-12];另一方面造成土壤有机物分解不完全,土壤中有机酸积累,使土壤的氧化还原电位降低,导致茶叶生长障碍^[13]。此外,随着土壤 pH 的减小,盐基离子会被淋失,尤其是镁离子。镁是茶树重要的营养元素,对绿茶品质有重要影响,已有研究表明,施镁不仅可提高茶叶产量,而且还能改善绿茶的品质^[14]。因此多施有机

肥和镁肥,不仅能改善茶园的酸碱度,而且也能明显改善茶叶的品质。

(3)土壤速效氮含量整体水平较高,速效磷含量基本处于极低水平,速效钾含量保持在中等水平。陕南茶园土壤速效氮含量明显偏高,这可能与当地茶农习惯大量施用氮肥有关。虽然施用氮肥可以提高茶园的产量,但是氮肥的过量施用会导致茶叶品质下降,同时也会加快茶园土壤的酸化^[15],而随着土壤酸化程度的加剧,土壤中重金属的活性增强,从而增加重金属向茶叶中转移的可能,危及人类健康^[16]。因此一定要合理施用氮肥,避免滥用氮肥造成土壤结构破坏,减少不必要的经济损失。陕南土壤速效磷含量明显偏低,这已成为茶树生长的重要制约因素。磷肥施入土壤后,不易被植物吸收利用,肥效很差^[17],所以作者建议,在施用磷肥时,应以有机肥和无机磷肥混合施用的方式来进行,以提高磷素水平。鉴于陕南茶园土壤的养分现状,建议在茶园施肥方面,尽量减少无机化肥的施用量,增加有机肥的施用量,同时要兼顾茶树生长所必需的各种元素的配比,以提高陕南茶叶的品质。

(4)土壤 pH 值、有机质含量与土壤速效养分之间关系密切。作为土壤重要组分和植物直接利用的有效成分,土壤速效养分含量受土壤 pH 值和有机质含量的影响较大。本研究发现,陕南茶园土壤 pH 值、有机质含量和速效养分间存在着较好的相

关性。pH 值与有机质含量相关系数为-0.416,相关性达到显著水平($P<0.05$)。土壤有机质含量与土壤速效 N、速效 P、速效 K 也存在着较好的相关性,且均达到显著或极显著水平,说明陕南茶园土壤中有有机质的转化与 N 素循环及 P 素转化关系密切,且相互影响^[18]。

志谢:本研究得到西北农林科技大学茶学实验室周天山老师、姚丽娟同学及资源环境学院付刚同学、测试中心张立柱老师的帮助,在此一并表示感谢。

[参考文献]

[1] 丁 文. 陕西茶史 [M]. 西安:陕西旅游出版社,2007.
Ding W. The tea history of shaanxi [M]. Xi'an:Shaanxi tourist press,2007. (in Chinese)

[2] 唐剑锋,胡孔峰,尹 健,等. 信阳市茶园土壤有机质和速效氮磷钾的分布 [J]. 河南农业科学,2007(5):81-84.
Tang J F,Hu K F,Yin J,et al. Distribution of organic matter and available N-P-K in the tea garden soil of Xinyang [J]. Henan Agricultural Science,2007(5):81-84. (in Chinese)

[3] 夏荣基. 土壤腐殖质化学 [M]. 北京:北京农业大学出版社,1994.
Xia R J. Soil humus chemistry [M]. Beijing:Beijing Agricultural Press,1994. (in Chinese)

[4] 王凯荣,龚惠群. 山区茶园土壤肥力性状及其对茶叶产量和品质的影响 [J]. 茶叶,1994,20(1):13-17.
Wang K R,Gong H Q. Soil fertility status in mountains of tea and effect on yield and quality of tea [J]. Tea,1994,20(1):13 - 17. (in Chinese)

[5] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil agricultural chemistry [M]. Beijing:China agricultural press,2000. (in Chinese)

[6] 钟国辉,田发益,旺 姆,等. 西藏主要农区农田土壤肥力研究 [J]. 土壤学报,2005,42(6):1030-1034.
Zhong G H,Tian F Y,Wang M,et al. Soil fertility of croplands in major agricultural areas in Tibet [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(6):1030-1034. (in Chinese)

[7] 廖万有. 我国茶园土壤的酸化及防治 [J]. 农业环境保护, 1998,17(4):178-180.
Liao W Y. The tea garden soil acidification and prevention in our country[J]. Agricultural Environmental Protection,1998, 17(4):178-180. (in Chinese)

[8] 吴乐知,蔡祖聪. 中国土壤有机质含量变异性与空间尺度的关系 [J]. 地球科学进展,2006,21(9):965-972.
Wu L Z,Cai Z C. The relationship between the spatial scale and the variation of soil organic matter in China [J]. Advances in Earth Science,2006,21(9):965-972. (in Chinese)

[9] 童启庆. 茶树栽培学 [M]. 农业出版社,1989.
Tong Q Q. The Cultivation science of tea [M]. China Agricul-

tural Press,1989. (in Chinese)

[10] 王绍强,周成虎,李克让,等. 中国陆地土壤有机碳库的估算 [J]. 地理研究,1999,18(4):349-355.
Wang S Q,Zhou C H,Li K R,et al. Estimating soil carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China [J]. Geographical Research,1999,18(4):349-355. (in Chinese)

[11] 唐鸿寿. 土壤酸化对油松生长的影响 [J]. 应用与环境生物学报,2001,1(7):21-23.
Tang H S. Soil acidification on the growth of Chinese pine [J]. Application and Environmental Biology,2001,1(7):21-23. (in Chinese)

[12] 肖辉林. 大气氯沉降对森林土酸化的影响 [J]. 林业科学, 2001,37(4):111-116.
Xiao H L. Chlorine. Atmospheric deposition on forest soil a-cidification impact [J]. Scientia Silvae Sinicae,2001,37(4): 111-116. (in Chinese)

[13] 张祖光,吴 云,谢德体. 重庆茶园土壤酸化特征研究 [J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2004,26(1):15-17.
Zhang Z G,Wu Y,Xie D T. On acidification of tea garden soils in Chongqing [J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition,2004,26(1):15-17. (in Chinese)

[14] 阮建云,吴 洵. 钾、镁营养供应对茶叶品质和产量的影响 [J]. 茶叶科学,2003,23(增刊):21-26.
Yuan J Y,Wu X. Productivity and quantity response of tea to balanced nutrient management including K and Mg [J]. Journal of Tea Science,2003,23(Suppl):21-26. (in Chinese)

[15] 马立锋,石元值,阮建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化 [J]. 土壤通报,2000,31(5):205-207.
Ma L F,Shi Y Z,Ruan J Y. Soil pH in the tea gardens in Jiangsu,Zhejiang,and Anhui provinces and changes of soil pH in the past decade [J]. Chinese Journal of Soil Science,2000,31 (5):205-207. (in Chinese)

[16] 章明奎,黄昌勇. 公路附近茶园土壤中铅和镉的化学形态 [J]. 茶叶科学,2004,24(2):109-114.
Zhang M K,Huang C Y. Chemical forms of lead and cadmium in soils from some tea gardens near highway [J]. Tea Science, 2004, 24(2):109-114. (in Chinese)

[17] 庞荣丽,介晓磊,谭金芳,等. 低分子量有机酸对不同合成磷源的释磷效应 [J]. 土壤通报,2006,37(5):941-944.
Pang R L,Jie X L,Tan J F,et al. Effect of low-molecular-weight organic acids on the release of P from synthetic phosphate compounds [J]. Chinese Journal of Soil Science,2006, 37(5):941-944. (in Chinese)

[18] 叶存旺,翟巧绒,郭梓娟,等. 沙棘-侧柏混交林土壤养分、微生物与酶活性的研究 [J]. 西北林学院学报,2007,22(5):1-6.
Ye C W,Zhai Q R,Guo Z J,et al. Soil nutrient,microorganism and enzyme activity of hippophae rhamnoides and platycladus orientalis mixed forest [J]. Journal of Northwest Forestry University,2007,22(5):1-6. (in Chinese)