

# 桑园土壤 桑叶 蚕茧系统硫素 相关规律研究\*

赵言文 曹志洪 胡正义 刘 勤 张 新 徐成凯

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘 要** 采用典型地区桑园面上调查取样和实验室分析相结合的研究方法对长江中下游地区典型桑园的硫素状况进行研究。结果表明: 表土(0~20cm)有效硫含量为  $2.51 \sim 87.73 \text{ mg kg}^{-1}$  (均值  $18.34 \pm 15.25 \text{ mg kg}^{-1}$ ), 底土有效硫含量比表土有所增加, 二者极显著正相关。缺硫土样占 55.77%, 以皖、赣、鄂、闽等省红砂岩、花岗岩母质形成的土壤为典型缺硫土壤, 其次为赣、湘、苏的河流冲积物母质土壤。桑园土壤有效硫含量与桑叶全硫含量呈极显著二次曲线相关( $R^2 = 0.1773^{**}$ ,  $n = 52$ ,  $a < 0$ ); 桑叶全硫含量与茧层全硫含量呈显著二次曲线相关( $R^2 = 0.2101^*$ ,  $n = 26$ ,  $a < 0$ ), 与蛹全硫含量呈极显著直线正相关( $R^2 = 0.2515^{**}$ ,  $n = 27$ )。高产桑园土壤有效硫含量及桑叶、茧层、蛹、蚕沙全硫含量均比低产桑园高。

**关键词** 桑园土壤, 桑叶, 蚕茧, 硫素营养

**中图分类号** S158.3

桑叶是蚕的粮食, 提高桑叶营养品质是提高蚕丝质量主要途径之一<sup>[1-3]</sup>, 国内外已就桑园矿质营养及其对桑叶和蚕茧产量影响进行了许多较深入研究。但过去主要就 N、P、K、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe 等元素进行研究<sup>[4,5]</sup>, 而作为动植物必需元素的硫, 在桑园土壤硫状况及其对桑叶和蚕茧产量影响方面的研究仅国外有零星报道<sup>[5,6]</sup>。认为缺硫桑园土壤施用硫肥后, 可提高桑叶产量, 增加桑叶蛋白质含量, 提高蚕茧产量和单粒茧重与茧层率; 硫在蚕体中主要以含硫氨基酸(胱氨酸、蛋氨酸、半胱氨酸、羊毛硫氨酸、胱硫醚等)、蛋白质和其他含硫化合物的形式存在; 含硫氨基酸对蚕的生长发育起着重要的生理作用。茧层含硫量可能直接或间接对茧质有影响<sup>[6]</sup>。

蚕的硫素营养状况决定于桑叶硫含量及其转化效率, 桑叶硫含量又与桑园土壤硫状况有关。我们以占全国蚕桑产区 70% 以上的长江中下游地区为背景, 研究典型桑园土壤-桑叶-蚕茧系统硫素相关规律, 为桑园硫素营养调控、硫素营养平衡和科学施肥, 提高桑叶和蚕茧产质量, 提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 面上调查取样

在 1999 年春季于江苏(JS)、江西(JX)、安徽(AH)、湖南(HN)、湖北(HB)、福建(FJ)等省典型桑园土

\* 江苏省博士后研究基金、国家自然科学基金(49771051)资助

收稿日期: 2000-03-30; 收到修改稿日期: 2000-11-15

壤,包括7个不同母质的土壤类型,采集表土(0~20cm)及桑叶样各52个,对应底土20~40cm土样40个、40~60cm土样27个,相应蚕茧样30个和蚕沙样13个。并调查各样点蚕桑生产状况、施肥种类及水平。2000年春季对部分典型桑园进行重复取样。

根据大面积生产上常年单位面积桑园桑叶、春茧产量的高、中、低划分方法<sup>[4]</sup>,对所有调查样点按产量高、中、低进行归类、统计。在本研究取样范围内高、中、低产桑园春茧产量(烘干重)分别为330.12、274.5kg hm<sup>-2</sup>、260.21、236.5kg hm<sup>-2</sup>、182.40、364.8kg hm<sup>-2</sup>。本文所述产量水平高产、中产、低产参考此值。

## 1.2 测定项目及方法

土壤有效硫用P500 g ml<sup>-1</sup> Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>浸提<sup>[7]</sup>,桑叶、茧层、蛹和蚕沙经5:1浓HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消化<sup>[8]</sup>。浸提液和消化液中硫用ICP-AES法测定<sup>[7,8]</sup>。

# 2 结果与分析

## 2.1 典型桑园土壤硫素营养状况

### 2.1.1 表土(0~20cm)有效硫含量

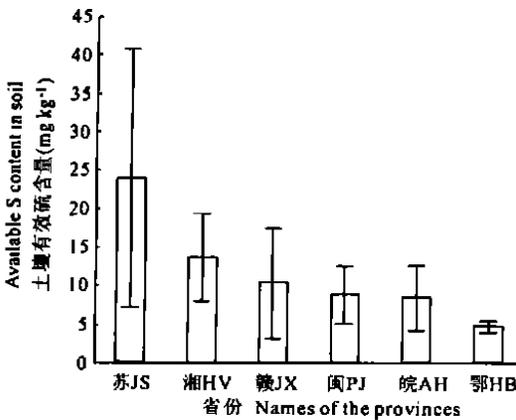


图1 不同省份桑园表土有效硫含量变化

Fig. 1 Changes in sulfur content of topsoils of mulberry garden in different provinces

长江中下游地区6省典型桑园表土(0~20cm)有效硫含量(ASC)变化范围为2.51~87.73mg kg<sup>-1</sup>,平均值为18.34、15.25mg kg<sup>-1</sup>,变异系数为83.15%。依据农田土壤有效硫丰缺划分标准<sup>[9-11]</sup>,本研究发现该地区桑园缺硫土壤占55.77%,供硫潜力不大的土壤占26.92%,硫丰富土壤占17.31%。不同桑园土壤有效硫含量差异很大。这可能是成土母质、产量水平、施肥水平、大气硫干湿沉降等影响所致。

六省典型桑园土壤中,江苏省桑园表土平均含硫量最高,差异最大(图1),除土壤母质和土壤肥力影响外,可能来自海洋和工业排放的大气硫沉降影响很大,江苏桑园土壤有效硫含量具有明显的沿海>苏南>苏

北之趋势;但该省桑园缺硫土壤较少,仅占37.50%。其他五省典型桑园土壤平均含硫量都比江苏低,六省典型桑园土壤平均含硫量依次为:江苏>湖南>江西>福建>安徽>湖北(图1)。这种差异和变化趋势可能主要是以下三个原因造成的。其一,成土母质不同。其二,土壤肥力差别。其三,离海洋的距离不同,例如同是花岗岩母质发育的土壤,其平均有效硫含量依次为:福建>安徽>湖北,这与前人研究的结果<sup>[9,12]</sup>基本相符。

### 2.1.2 桑园土壤剖面有效硫含量

桑园土壤平均有效硫含量随土层加深有增加趋势,底土20~40cm层、40~60cm层平均有效硫含量分别比表土高33.70%、68.21%(表1)。这可能是由于桑园表土有效硫利用与淋失较多而通过施肥与大气硫沉降补充不足导致硫缺乏。表土有效硫含量变异系数大于底土层,可能与表土受土壤耕作培肥等农艺措施和环境因素影响较大有关。

表 1 桑园土壤不同剖面有效硫状况

Table 1 Available sulfur in soil profile of mulberry garden

项目 Items	表土 Topsoil		底土 Subsoil	
	0~ 20cm	20~ 40cm	20~ 40cm	40~ 60cm
变化范围 (mg kg <sup>-1</sup> )	2. 51~ 87. 83 (52) <sup>(1)</sup>		4. 75~ 69. 38 (40)	7. 42~ 108. 72 (27)
均值 (mg kg <sup>-1</sup> )	18. 34	15. 25	24. 52	16. 31
变异系数 C. V. (%)	83. 15		66. 52	77. 83
缺硫土壤比率 <sup>(2)</sup> (%)	55. 77		42. 50	40. 74

(1) 样本数 Number of samples. (2) 以有效硫含量小于 16mg kg<sup>-1</sup> 计为缺硫土壤 The samples of soil available sulfur < 16mg kg<sup>-1</sup> were S deficient soils.

2. 1. 3 桑园土壤剖面有效硫含量的相关性 底土 20~ 40cm 层有效硫含量与表土 (0~ 20cm) 呈极显著直线正相关 (图 2) ( $y = 0.7503x + 2.5984$ ,  $R^2 = 0.5719^{**}$ ,  $n = 40$ ); 底土 40~ 60cm 层有效硫含量与表土及底土 20~ 40cm 层有效硫含量均呈极显著幂函数曲线正相关 (图 3、图 4), 回归方程分别为:  $y = 3.6663x^{0.5344}$  ( $R^2 = 0.4769^{**}$ ,  $n = 27$ ) 和  $y = 2.1297x^{0.7469}$  ( $R^2 = 0.7302^{**}$ ,  $n = 27$ )。

桑园土壤不同剖层有效硫含量呈极显著正相关表明, 表层土壤有效硫含量很大程度上依赖于底土和成土母质的硫状况; 同时, 由于桑树根系与土壤微生物活动、淋溶、土壤耕作等因素影响, 桑园土壤有效硫含量可能存在纵向动态平衡机制。

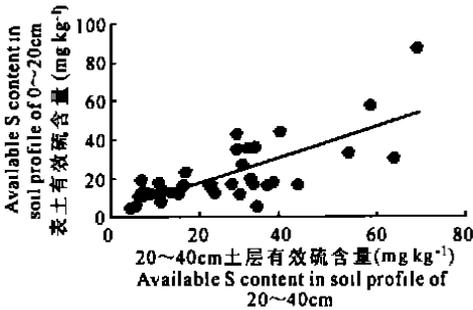


图 2 底土 20~ 40cm 剖层有效硫含量与表土有效硫含量的关系

Fig. 2 Relationship between contents of soil available sulfur in profiles of 20~ 40cm and 0~ 20cm

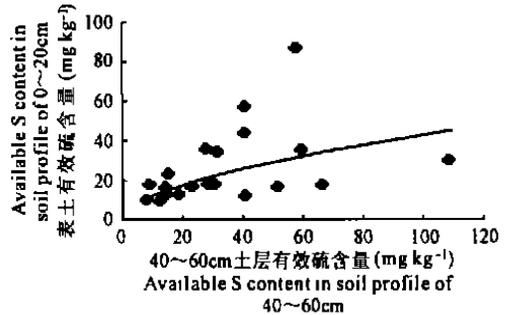


图 3 底土 40~ 60cm 剖层有效硫含量与表土有效硫含量的关系

Fig. 3 Relationship between contents of soil available sulfur in profiles of 40~ 60cm and 0~ 20cm

2. 1. 4 成土母质对桑园土壤有效硫含量的影响 从图 5 可看出, 不同成土母质的桑园表土平均有效硫含量不同, 同一成土母质的桑园土壤有效硫含量差异也很大。河(江)海冲积物母质 > 残(洪)积物母质 > 下蜀系黄土母质 > 河流冲积物母质 > 红砂岩母质。花岗岩母质和红砂岩母质桑园土壤缺硫最明显, 次之为河流冲积物母质土壤; 其他类型成土母质土壤因地理环境、耕作培肥管理等因素而存在不同程度的缺硫或供硫潜力不大的状况。

2. 1. 5 桑园土壤肥力对土壤有效硫含量的影响 桑园土壤有效硫含量随土壤肥力的提高而增加 (表 2、表 3)。高产桑园土壤有效硫含量分别比中、低产桑园高 88.28%、

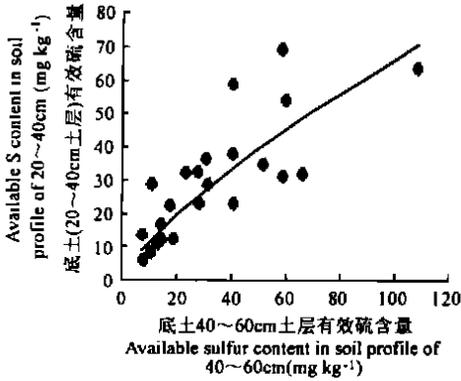


图 4 底土 40~60cm 剖层有效硫含量与 20~40cm 剖层有效硫含量的关系

Fig. 4 Relationship between contents of soil available sulfur in profiles of 40~60cm and 20~40cm

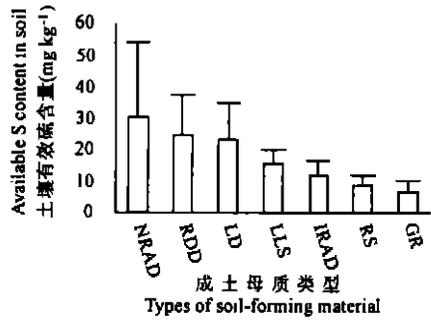


图 5 不同母质桑园土壤硫含量变化

Fig.5 Changes in ASC in mulberry garden topsoils of different parent material

注 Note: MRAD- 海相冲积物 Marine and river alluvial deposit; RDD- 残(洪)积物 Residual or diluvial deposit; LD- 湖积物 Lacustrine deposit; LLS- 下蜀系黄土 Xiashu loess-like sediment; IRAD- 内河冲积物 Inland river alluvial deposit; RS- 红砂岩 Red sandstone; GR- 花岗岩 Granite

表 2 桑园土壤肥力状况

Table 2 Soil fertility in mulberry gardens

项目 Items		高产桑园(High-yield)		中产桑园(Middle-yield)		低产桑园(Lower-yield)	
春茧产量	均值(kg hm <sup>-2</sup> )	330.12	27.45	260.21	23.65	182.40	36.48
	变异系数 CV(%)	8.32		9.09		20.00	
土壤有机质含量	范围(g kg <sup>-1</sup> )	10.33~ 35.76		10.10~ 28.55		7.93~ 27.33	
	均值(g kg <sup>-1</sup> )	19.86	6.73	18.10	6.11	15.74	6.26
	变异系数 CV(%)	33.89		33.76		39.77	
土壤速效氮含量	范围(mg g <sup>-1</sup> )	98.61~ 386.00		82.65~ 224.24		63.06~ 181.36	
	均值(mg g <sup>-1</sup> )	186.10	106.55	142.91	47.56	111.29	35.58
	变异系数 CV(%)	57.25		33.28		31.97	
土壤速效磷含量	范围(mg kg <sup>-1</sup> )	12.00~ 40.73		10.75~ 30.81		8.57~ 22.28	
	均值(mg kg <sup>-1</sup> )	25.12	9.97	18.96	7.42	11.21	4.04
	变异系数 CV(%)	39.69		39.14		36.04	
土壤速效钾含量	范围(mg kg <sup>-1</sup> )	73.20~ 233.5		50.44~ 39.06		17.80~ 112.21	
	均值(mg kg <sup>-1</sup> )	129.78	31.28	110.64	22.19	81.45	29.91
	变异系数 CV(%)	24.1		20.06		36.72	

表 3 不同肥力桑园土壤有效硫含量比较

Table 3 Comparison in sulfur content of topsoils taken from mulberry gardens with various soil fertility

项目 Items	高产桑园 High-yield	中产桑园 Middle-yield	低产桑园 Lower-yield
样本数	13	15	24
范围(mg kg <sup>-1</sup> )	11.9~ 87.73	5.22~ 36.54	2.51~ 36.15
均值(mg kg <sup>-1</sup> )	30.69	22.7	16.30
变异系数 CV(%)	73.97	46.93	74.21

137 72%。不同产量的桑园土壤有效硫含量依次为: 高产桑园> 中产桑园> 低产桑园。



蚕茧层、蛹和蚕沙含硫量变化趋势均随桑园产量水平的提高而增加(表6)。高产桑园茧层和蛹含硫量均值分别比低产桑园的高16.44%、2.10%。高产桑园蚕沙含硫量值比中低产桑园的高14.22%。

#### 2.4 桑叶含硫量与桑园土壤含硫量的关系

从图6可知:总的来说,桑叶含硫量随土壤含硫量的增加而提高,但当土壤有效硫含量超过一定量(在本研究区域内为桑园土壤有效硫含量达 $85\text{mg kg}^{-1}$ )时,可能对桑树生长不利,影响硫的吸收与转化,导致桑叶硫含量有所降低的趋势。桑叶硫含量与土壤有效硫含量呈极显著正相关。其回归方程为: $y = -0.0001x^2 + 0.0179x + 1.7919$  ( $R^2 = 0.1773^{**}$ ,  $n = 52$ )。根据此方程,假设土壤有效硫含量为 $0\text{mg kg}^{-1}$ ,桑叶硫含量仍达 $1.79\text{g kg}^{-1}$ 。这可能是桑叶从大气干、湿沉降等别的途径中吸收一定量的硫。

桑园土壤含硫量对桑叶全硫含量作用随土壤剖面的加深而减小,0~20cm表土>20~40cm底土>40~60cm底土(三个剖面土壤含硫量与桑叶含硫量的相关系数 $r$ 分别为 $0.325^{**}$ ,  $0.131$ ,  $0.024$ ;  $n = 27$ )。

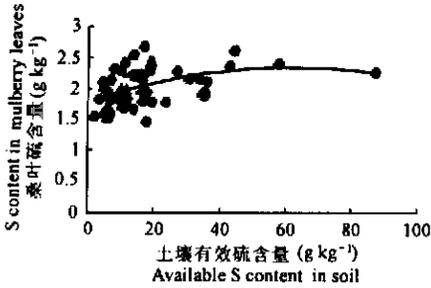


图6 桑叶硫含量与土壤有效硫含量的关系

Fig. 6 Relationship between sulfur contents in soil (0~20cm) and mulberry leaves

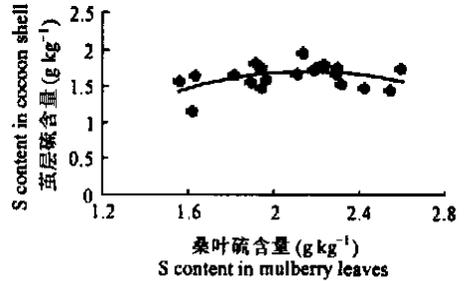


图7 茧层含硫量与桑叶含硫量的关系

Fig. 7 Relationship between sulfur contents in mulberry leaves and cocoon shell

#### 2.5 桑叶含硫量与蚕茧含硫量的相关性

桑叶含硫量与茧层含硫量呈显著二次曲线关系(图7),回归方程为: $Y = -0.6942x^2 + 2.996x - 1.5423$  ( $R^2 = 0.2101^*$ ,  $n = 26$ ),当桑叶含硫量为 $2.16\text{g kg}^{-1}$ ,茧层含硫量最高。

桑叶含硫量与蚕蛹含硫量呈极显著直线正相关(图8),回归方程为: $Y = 1.4554x + 3.2965$  ( $R^2 = 0.2515^{**}$ ,  $n = 27$ )。

桑叶含硫量与蚕沙含硫量呈显著二次曲线关系(图9),回归方程为: $Y = -6.8672x^2 + 30.647x - 31.497$  ( $R^2 = 0.3151^*$ ,  $n = 12$ )。当桑叶含硫量为 $2.23\text{g kg}^{-1}$ ,蚕沙含硫量最高。

本结果表明:当进入蚕体内的桑叶硫含量超过 $2.16 \sim 2.23\text{g kg}^{-1}$ 时,蚕营养可能不平衡,蚕不能将硫转移到茧层中,导致茧层含硫量有下降的趋势;同时,当进入蚕体内的桑叶硫含量超过 $2.23\text{g kg}^{-1}$ 时,蚕沙硫含量也将有降低的趋势,即随蚕沙排出体外的硫减少。在这种情况下蚕体硫不能正常排出,硫代谢不能平衡,使更多的硫被过量积累在蚕体内,导致蚕蛹硫含量随进入蚕体内的桑叶硫含量的增加而线性增加。蚕体内存在过量的硫不

仅不利于蚕的生长发育, 而且对蚕茧的产质量有不利影响<sup>[4]</sup>。

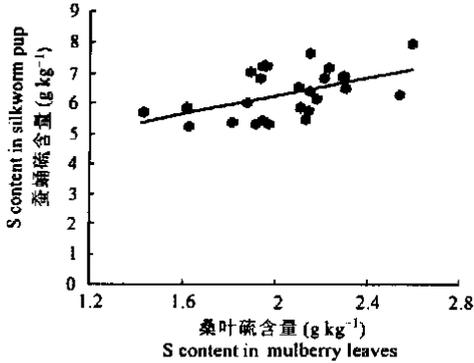


图8 蛹含硫量与桑叶含硫量的关系

Fig. 8 Relationship between sulfur contents in mulberry leaf and silkworm pupa

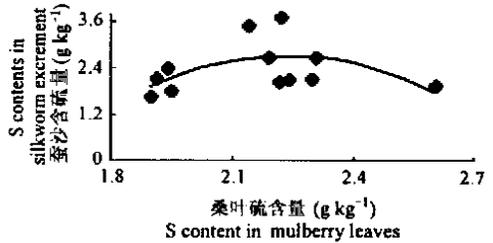


图9 蚕沙硫含量与桑叶硫含量的关系

Fig. 9 Relationship between sulfur contents in mulberry leaves and silkworm excrement

## 参 考 文 献

1. 李奕仁. 我国蚕业科技发展的途径与任务. 中国蚕业, 1997, 70(2): 4~ 7
2. 顾国达, 楼程富, 郭蕴华. 世界蚕丝生产的现状及趋势. 蚕业科学, 1996, 22(2): 99~ 103
3. 叶伟彬. 我国桑树栽培技术的现状及发展对策. 蚕业科学, 1996, 22(4): 235~ 239
4. 中国农科院蚕业研究所主编. 中国桑树栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 36~ 38, 251~ 252
5. 吴友良译. 综合蚕丝学. 福田纪文主编, 1979. 南京: 江苏蚕业 杂志社, 1984. 231~ 237, 246~ 251, 391~ 404, 436~ 452, 500
6. Shankar M A, Shivashankar K. Effect of feeding mulberry leaves deficient in secondary nutrients on larval growth, development, cocoon weight and silk quality. Sericologia, 1994, 34(3): 511~ 518
7. Holmberg M. Analysis of sulfur in cultivated soils by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. Acta. Agric. Scand., 1991, 41: 221~ 225
8. Johnson C M, Nishita H. Micro-estimation of sulfur in plant materials, soils and irrigation waters. Anal. Chem., 1952, 24: 736~ 742
9. 刘崇群. 中国南方农业中的硫. 土壤学报, 1996, 27(4): 222~ 225
10. 吕玉平, 陈光亚. 江苏省土壤有效硫状况与施肥预测. 土壤, 1998, 30(6): 324~ 327
11. 李书田, 林葆. 土壤中植物有效硫的评价. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 75~ 83
12. 胡正义, 曹志洪. 中国南方地区典型土壤有机硫矿化速率及供硫潜力. 中国农业科学, 1999, 32(6): 69~ 74

## RELATIONS OF SULFUR CONTENTS IN MULBERRY LEAVES AND SILKWORM COCOON WITH SULFUR NUTRIENT IN TYPICAL MULBERRY GARDEN SOIL

Zhao Yan-wen Cao Zhi-hong Hu Zheng-yi Liu Qin Zhang Xin Xu Cheng-kai

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

### Summary

The available S content, as measured with  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  extraction and ICP-AES, in topsoils (0~20cm) of mulberry gardens in the area of the middle and lower reaches of the Yangtze River was found to be 2.51~87.73  $\text{mg kg}^{-1}$  (Mean SE= 18.34 15.25  $\text{mg kg}^{-1}$ ). About 55.77% of the mulberry garden topsoils in six provinces of Jiangxi, Anhui, Hubai, Hunan, Jiangsu and Fujian have an available sulfur content below the critical value. The available sulfur content in the mulberry garden topsoil was commonly found to be lower than that of the subsoil. Significant two-power function correlation was found between the available sulfur content in soil of mulberry gardens and the total sulfur content of mulberry leaves ( $Y = -0.001x^2 + 0.0179x + 1.7919$ ,  $R^2 = 0.81773^{**}$ ,  $N = 52$ ). The curvilinear correlation (two-power function relationship) between sulfur contents in mulberry leaves and cocoon shell was significant ( $Y = -0.6942x^2 + 2.996x - 1.5423$ ,  $R^2 = 0.2101^*$ ,  $n = 26$ ). Sulfur concentration in cocoon shell, pupa and silkworm excrement from high-yielding mulberry gardens was higher than that from low-yielding mulberry gardens, respectively.

**Key words** Soil of mulberry garden, Sulfur nutrient, Mulberry leaves, Silkworm, Cocoon