

长期施用氮、磷和有机肥对不同种植体系土壤有效硫累积的影响

危锋^{1,2}, 郝明德^{1*}

(1 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 以 22 年定位试验为基础, 研究了长期施用氮、磷和有机肥(NPM)对不同种植体系土壤有效硫在剖面上分布与累积状况。结果表明, 在 60—80 cm 土层各处理出现第一个累积峰, 累积峰值为粮饲轮作 31.3, 玉米连作 29.2, 小麦连作 27.9, 粮豆轮作 25.6, 苜蓿连作 24.0 mg/kg; 在 140—180 cm 土层各处理又出现有效硫的第二个累积峰, 累积峰值为粮饲轮作 44.7, 粮豆轮作 43.1, 小麦连作 41.0, 玉米连作 39.7, 苜蓿连作 36.5 mg/kg。第二累积峰值均大于第一累积峰值。0—200 cm 土层有效硫总累积量粮饲轮作高达 746.3 kg/hm², 其次为玉米连作 640.6, 粮豆轮作为 638.3, 小麦连作为 622.4, 苜蓿连作最小为 557.3 kg/hm²。长期施用磷肥和有机肥是有效硫在土壤中累积的主要因素, 有效硫在土壤剖面上有向深层迁移的趋势。不同作物对硫的吸收利用差异和不同种植方式对有效硫的累积与分布产生影响。

关键词: 长期试验; 氮、磷和有机肥; 种植体系; 有效硫累积

中图分类号: S158.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2009)03-0613-05

Soil available sulfur accumulation in a long-term N, P and organic fertilizer experiment under the different cropping systems

WEI Feng^{1,2}, HAO Ming-de^{1*}

(1 Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Graduate School of CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: Available sulfur accumulation and distribution in soil profile were studied based on the 22 years' location experiments under the different cropping systems with continuous application of N, P and organic fertilizer(NPM). The results show that there are two peaks of available sulfur in soil profiles. The first peak is at 60–80 cm soil depth with the values of 31.3, 29.2, 27.9, 25.6 and 24.0 mg/kg under the grain-forage rotation, maize succession, wheat succession, grain-legume rotation and alfalfa succession systems, respectively. The second peak is at 140–180 cm soil depth, and the values in the grain-forage rotation, grain-legume rotation, wheat succession, maize succession and alfalfa succession are 44.7, 43.1, 41.0, 39.7 and 36.5 mg/kg, respectively, which are higher than those of the first peak. The accumulation of available sulfur in soil profiles (0–200 cm) under the grain-forage rotation, maize succession, grain-legume rotation, wheat succession and alfalfa succession are 746.3, 640.6, 638.3, 622.4 and 557.3 kg/ha, respectively. The results also indicate that long-time application of P and M fertilizer is the principal factor of influencing the distribution of available sulfur in soil profile under the different cropping systems, and soil available sulfur is transported to deep soils. The results suggest that the differences of sulfur uptake and utilization caused by the different crops and cropping systems have effects on accumulation and distribution of available sulfur in soil profile.

Key words: long-term experiment; N, P and organic fertilizer; cropping systems; available sulfur accumulation

收稿日期: 2008-04-18 接受日期: 2008-08-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-424-3); 国家科技支撑计划(2006BAD05B07);

中国科学院重大项目(KSCX1-YW-09-07); 中科院农业项目(ksex1-yw-N-15-04)资助。

作者简介: 危锋(1978—), 男, 陕西汉中, 博士研究生, 主要从事土壤养分循环与平衡方面的研究。

* 通讯作者 Tel: 029-87012322, E-mail: haodong@public.xa.sn.cn

硫是植物必需的营养元素,需求量和磷相当^[1]。随着含硫少的高浓度复合肥的发展、有机肥的施用减少,复种指数提高、农作物产量增加,硫的携出量增加、归还量减少,导致土壤含硫量下降^[2-3]。据估计,到2012年世界农业缺硫量每年达1100万t^[4]。土壤缺硫不但导致作物减产,而且农产品品质下降^[2]。许多研究表明,施硫肥对多种作物具有增加产量、改善品质和提高水分利用率等作用^[5-7],但这些研究大多集中在短期施用硫肥的土壤及作物效应方面。

为深入了解施肥对土壤中硫素状况的影响,本试验利用长期定位试验,在黄土高原旱地22年长期氮、磷和有机肥配施条件下对不同种植体系土壤剖面有效硫累积与分布情况进行研究,探讨不同作物以及不同种植体系下土壤剖面有效硫的累积与分布特征。以期深入了解旱地土壤硫素的变化规律,为指导平衡施肥、提高农田养分管理水平提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

定位试验区位于黄土高原中南部陕西省长武县十里铺村无灌溉条件的塬面旱地,属暖温带半湿润大陆型季风气候,农业生产全部依赖天然降水,为典型的旱作农业区。试验地海拔1200 m,试验区年平

均气温9.1℃,多年平均降水量578.5 mm,无霜期171 d,≥0℃活动积温3866℃,≥10℃活动积温3029℃,热量供作物一年一熟有余。试验地土壤为粘化黑垆土,母质是深厚的中壤质马兰黄土,全剖面土质均匀疏松,通透性好。1984年秋季试验前耕层土壤有机质含量10.5 g/kg,全氮0.80 g/kg,速效氮37.00 mg/kg,全磷0.659 g/kg,速效磷3.0 mg/kg,速效钾129.3 mg/kg,有效硫12.9 mg/kg, CaCO₃ 108.4 mg/kg, pH 8.3,肥力水平较低。试验地的土壤养分含量、地貌特征在黄土高原同类地区具有典型代表性。

1.2 试验设计

长期轮作培肥试验开始于1984年,共36个处理,108个小区,小区面积66.67 m²,3次重复,随机排列。本研究选取其中5个处理:苜蓿连作;小麦连作;玉米连作;粮豆轮作:豌豆—小麦(2年)+糜子;粮饲轮作,即玉米—小麦(2年)+糜子。各处理N、P、M施肥量相同,即N 120 kg/(hm²·a)、P₂O₅ 60 kg/(hm²·a)、有机肥(M)75 kg/(hm²·a)。氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙(含S量12%),厩肥(含S量约0.02%),按设计要求施肥;22年共随施入土壤中硫素总量达1210 kg/hm²。所有肥料在播种时一次性施入,定期进行除草和松土,田间管理同大田。供试作物品种及其生育期见表1。

表1 供试作物品种及其生育期

Table 1 Experimental varieties and their growth stages

作物 Crop	品种 Cultivars	播种时间 Seeding date	收获时间 Harvest date
小麦 Wheat	秦麦4号 Qinmai 4 (1984—1985); 长武131 Changwu 131 (1986—1995); 长武134 Changwu 134 (after 1996)	9月中旬 Mid Sep.	次年6月下旬 Late Jun.
玉米 Maize	中丹二号或丹玉13 Zhongdan 2 or Danyu 13	4月中旬 Mid Apr.	9月中旬 Mid Sep.
糜子 Millet	当地农家品种 Native	7月上旬 Early Jul.	10月上旬 Early Oct.
豌豆 Pea	白豌豆 White pea	3月中旬 Mid Mar.	7月上旬 Early Jul.
紫花苜蓿 Alfalfa	本地种 Native		6月上旬与8月下旬各一次 Early Jun. and Late Sep.

1.3 样品采集与分析

2006年9月采集0—200 cm 分层土样(每20 cm为一层),风干后磨碎过1 mm筛,用0.15% CaCl₂ (25℃, 1 h, 液土比5:1)浸提, BaSO₄ 比浊法测定有效硫^[8]。

数据采用SAS软件中相应程序进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面中有效硫的分布特点

本试验中的硫是随磷肥和厩肥的投入而进入土壤的,因为试验施用的过磷酸钙中有硫酸钙含S量12%,厩肥中含S量约0.02%。施入的硫除部分被作物吸收外,其余残留于土壤中。硫主要以SO₄²⁻

形态被作物吸收利用, SO_4^{2-} 带负电荷, 在土壤溶液中随水运动, 易于淋失^[9]。结果表明, 各处理耕层土壤(0—20 cm)有效硫含量(SO_4^{2-})顺序为: 小麦连作 15.2, 粮饲轮作 13.5, 玉米连作 12.1, 粮豆轮作 11.7, 苜蓿连作 10.6 mg/kg。分析表明, 耕层土壤有效硫含量小麦连作与粮饲轮作差异不显著, 与其余处理间差异显著; 粮饲轮作与玉米连作、粮豆轮作差异不显著, 与苜蓿连作差异显著; 玉米连作、粮豆轮作、苜蓿连作间差异不显著。其原因可能是不同作物对硫的吸收利用不同。残留于土壤中的有效硫, 部分可能被下季作物吸收利用; 部分可能被化学固定形成无机硫酸盐, 也可能被生物固定形成有机硫; 还有一部分可能已经被淋溶至下层土壤。

经过 22 年的连续施肥之后, 硫素随施肥进入土壤, 5 个种植体系土壤剖面均出现了有效硫不同程度的累积峰, 同时各种种植体系剖面有效硫及其累积峰的剖面深度均存在差异。对比各种种植体系剖面有效硫的分布(图 1)可以看出, 各种种植体系有效硫在土壤剖面上出现双累积峰。在 60—80 cm 土层出现有效 S 的第一个累积峰, 累积峰值大小顺序为: 粮饲轮作 31.3, 玉米连作 29.2, 小麦连作 27.9, 粮豆轮作, 苜蓿连作 24.0 mg/kg。经分析, 有效硫在土壤剖面上出现第一累积峰值中粮饲轮作与玉米连作、小麦连作差异不显著, 与粮豆轮作、苜蓿连作差异显著; 玉米连作与小麦连作、粮豆轮作差异不显著, 与苜蓿连作差异显著; 小麦连作、粮豆轮作、苜蓿连作间差异不显著。其原因可能是在长期施硫肥下, 除过被作物吸收利用的硫素外, 以及土壤吸附固定一部分硫素, 剩余的硫素会随降水的作用而被淋溶。由于不同作物对硫肥的吸收利用量不同, 从而在土壤剖面上形成累积峰值差异。

有效硫的第二个累积峰粮豆轮作与小麦连作出现在 140—160 cm 土层, 其峰值为: 粮豆轮作 43.1, 小麦连作 41.0 mg/kg; 而粮饲轮作, 玉米连作, 苜蓿连作的累积峰出现在 160—180 cm 土层, 峰值分别为粮饲轮作 44.7, 玉米连作 39.7, 苜蓿连作 36.5 mg/kg。有效硫在土壤剖面上出现第二累积峰值各处理间差异均不显著。其原因可能是上层土壤作物根系密度大, 作物根系对硫素的吸收也主要集中在上层土壤, 下层土壤作物根系密度小, 作物根系对硫素的吸收有限。在根系密集的上层土壤发生有效硫的累积, 说明施入的硫肥已超过作物的吸收利用, 残余在土壤中的硫素则随降水的作用继续向下淋溶, 在长期的淋溶累积过程中造成各处理有效硫第二个

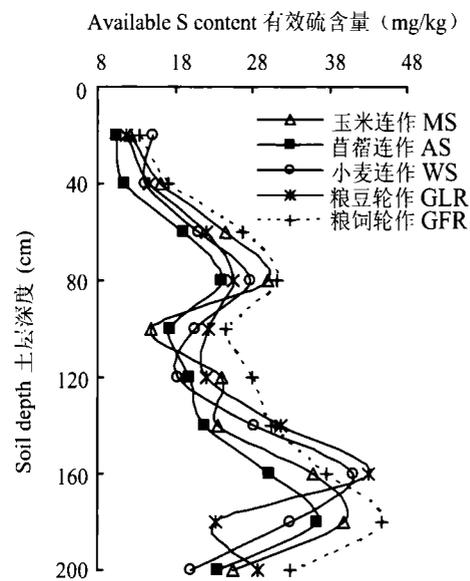


图 1 不同种植体系 NPM 肥处理土壤剖面有效硫的分布
Fig.1 Available sulfur distribution in soil profiles with NPM fertilizer treatments under the different cropping systems

[注 (Note): MS—Maize succession; AS—Alfalfa succession; WS—Wheat succession; GLR—Grain-legume rotation; GFR—Grain-forage rotation]

累积峰值。

硫从表层向下层土体的累积取决于土壤溶液中 SO_4^{2-} 浓度、土壤水活动状况、土壤对其的吸附等因素^[10], 关于本区土壤剖面有效硫的淋溶累积影响因素已报道^[11]。本试验的气候条件、土壤质地、田间管理等均一致。可见, 长期施肥下投入的硫素, 会使土壤剖面有效硫发生淋溶累积现象, 有效硫在土壤剖面出现了两个累积峰, 且第二累积峰值均大于第一累积峰值。

2.2 土壤剖面有效硫的长期累积量

为研究长期施肥条件下各处理土壤剖面累积的硫量, 采用以下公式: $A_s = p \times h \times s$ 将土壤剖面 SO_4^{2-} 浓度换算为累积的硫量。式中 A_s 为土层中有有效硫 (SO_4^{2-}) 的累积量 (kg/hm^2), p 为土壤容重 (g/cm^3), h 为土层深度 (cm), s 为有效硫浓度 (mg/kg)。表 2 看出, 不同种植体系在不同土壤剖面深度有效硫累积量存在差异。各种种植体系在 0—200 cm 土壤剖面有效硫的累积总量, 粮饲轮作高达 746.3 kg/hm^2 , 与其他 4 个种植体系相比差异均显著; 粮豆轮作为 638.3 kg/hm^2 , 玉米连作为 640.6 kg/hm^2 , 与苜蓿连作 557.3 kg/hm^2 差异显著; 小麦连作为 622.4 kg/hm^2 , 与粮豆轮作、玉米连作和苜蓿连作差异不显著。0—200 cm 土壤有效硫的累积量大小顺序为粮饲轮作 > 玉米连作 > 粮豆轮作 > 小麦连作 > 苜蓿连作; 连作与轮作体系有效硫累积量差异产生

的原因可能与种植方式不同有关。

0—200 cm 土壤有效硫的累积量,在 3 个作物连作体系中,玉米连作与小麦连作差异不显著,与苜蓿连作差异显著,小麦连作与苜蓿连作差异不显著; 2 个作物轮作体系中,粮饲轮作与粮豆轮作差异显著,

原因可能是种植作物不同对硫的吸收利用不同。而且在轮作中前茬作物有效硫的残留与累积,对后季作物有效硫的吸收利用产生影响,从而可能会对土壤中硫素的淋溶与累积造成一定的影响。

表 2 不同种植体系长期施氮、磷和有机肥情况下土壤剖面有效硫的累积量 (kg/hm²)

Table 2 Cumulative amounts of available sulfur in soil profiles after the long-term N, P and organic fertilizer treatments under the different cropping systems

土层 (cm) Soil depth	玉米连作 Maize succession	苜蓿连作 Alfalfa succession	小麦连作 Wheat succession	粮豆轮作 Grain-legume rotation	粮饲轮作 Grain-forage rotation
0—20	31.4 bc	27.4 c	39.5 a	30.5 bc	35.0 ab
20—40	41.9 a	29.6 b	36.7 ab	38.3 ab	44.7 a
40—60	63.8 ab	49.6 c	54.8 c	57.7 bc	69.7 a
60—80	77.8 ab	62.5 c	72.4 abc	66.6 bc	81.4 a
80—100	38.8 c	45.1 bc	53.2 abc	58.0 ab	63.7 a
100—120	62.5 ab	51.7 bc	47.6 c	57.2 bc	73.1 a
120—140	61.4 b	56.7 b	73.6 a	82.3 a	79.0 a
140—160	93.5 ab	78.4 b	106.7 a	112.0 a	97.9 a
160—180	103.3 ab	94.8 bc	85.6 c	60.8 d	116.3 a
180—200	66.2 bc	61.5 cd	52.5 d	74.9 ab	85.5 a
合计 Total	640.6 b	557.3 c	622.4 bc	638.3 b	746.3 a

注 (Note): 同一行中不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters in the same row indicate significant difference among treatments at 5% level.

3 讨论

土壤中硫的淋溶累积与迁移,受土壤、气候、施肥以及种植作物等多种因素影响。樊军等^[11-12]研究发现,在黄土高原旱地经过 15 年连续施用含硫肥料,对土壤剖面有效硫含量影响明显;有效硫在土壤剖面上只有一个累积峰,累积峰出现在 80—120 cm 土层之间。本研究发现经过 22 年连续施用氮、磷和有机肥,不同种植体系土壤有效硫 60—80 cm 和 140—180 cm 剖面上出现双累积峰,且第二累积峰值均大于第一累积峰值。有效硫在土壤剖面上的分布出现这种变化的原因: 1) 每年硫素定期施入土壤中,除过被作物吸收利用外,其余的残留在土壤中,为硫素的淋溶与迁移提供源头; 2) 本区土壤质地疏松,通透性好,为硫素在土壤剖面中迁移提供有利条件; 3) 本区降雨集中且多以暴雨形式出现,SO₄²⁻ 易随水运动,为硫素在土壤剖面中淋洗迁移提供介质等。连年硫的投入,使硫素在上层土壤形成新的累积峰,以前形成的累积峰会继续向深层推移,说明有效硫在土壤剖面上有向深层迁移的趋势。硫在土壤剖面中的淋溶累积是一个长期的动态变化过

程,其运移过程应与土壤水分运动结合起来做进一步研究。

施肥对促进黄土高原旱地粮食生产,提高水分利用效率,维持土地生产力做出重大贡献。然而不合理施肥也会对土壤生态环境造成负面影响。关于本区长期施肥造成硝态氮在土壤中累积已有系列研究^[13-14]。邹长明等^[15]研究表明,长期施用含硫肥料,会造成土壤酸化;累积的 SO₄²⁻ 因改变了土壤的化学性质而对水稻生长有显著的影响。刘益仁等^[16]认为,在施中、高量硫条件下,土壤硫素均有不同程度盈余;施用硫肥具有明显的后效,连续两年施用硫肥后,可以隔年或隔季不施。有效硫在土壤剖面上产生累积,表明长期硫的投入超过了作物的吸收利用量。为了避免 SO₄²⁻ 过多累积给土壤环境造成不良影响,在保证作物正常生长发育的条件下可减少含硫肥料用量或隔年施用含硫肥料,以减轻硫肥在土壤中的淋溶累积,保护土壤生态环境。

不同作物对硫的吸收利用不同,作物不同生育期对硫的需求也不相同。在作物生长初期,作物吸收利用硫肥有限,而耕层土壤中硫素含量高,易被淋失到下层土壤;在作物生长中期,作物对硫肥需求

量较大,而由于硫素淋失损失,耕层土壤中硫含量可能不能满足作物需求。应根据作物生长发育对硫的需求特征,制定相应的施肥措施,以提高肥料利用率、提高农田养分管理水平。

4 结论

长期施用氮、磷和有机肥,会造成有效硫在土壤剖面中的累积。不同种植体系有效硫在土壤剖面变化趋势基本一致,在 60—80 cm 和 140—180 cm 出现双累积峰,第二累积峰值大于第一个累积峰值,说明有效硫在土壤剖面上有向深层迁移的趋势。

经过 22 年连续施用氮、磷和有机肥后,有效硫总累积量以粮饲轮作最高,苜蓿连作最低。表明长期硫的投入超过了作物的吸收利用量。不同作物生长状况和吸收利用硫肥存在差异;不同的种植方式,对土壤剖面有效硫累积量和分布也会产生影响。

参考文献:

- [1] 刘崇群. 中国南方土壤硫的状况和对硫肥的需求[J]. 磷肥与复肥, 1995, 10(3): 14-18.
Liu C Q. Status of soil sulphur in south China and demand for sulphur [J]. Phosp. Comp. Fert., 1995, 10(3): 14-18.
- [2] 刘崇群,曹淑卿,吴锡军. 中国农业硫的概述[A]. TSI, CSAIA, CSFI. 中国硫资源和硫肥需求的现状和展望国际学术讨论会论文集[C]. 北京, 1993. 154-162.
Liu C Q, Cao S Q, Wu X J. Sulphur status in agriculture of China [A]. TSI, CSAIA, CSFI (eds). Proceedings of the international workshop on status and expectation of sulphur resource and demand in China [C]. Beijing, 1993. 154-162
- [3] 胡正义,徐成凯. 土壤中的硫与环境质量[A]. 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京:科学出版社, 2002. 283-307.
Hu Z Y, Xu C K. Soil sulphur and environment quality [A]. Chen H M (ed). Behavior of chemistry matter in soil and environment quality [M]. Beijing: Science Press, 2002. 283-307
- [4] 樊明宪, Messick D L, de Brey C, 等. 世界硫需求及硫肥状况[J]. 磷肥与复肥, 2005, 20(6): 5-8.
Fan M X, Messick D L, de Brey C *et al.* Global sulfur requirement and sulfur fertilizers [J]. Phosp. Comp. Fert., 2005, 20(6): 5-8.
- [5] 沈学善,朱云集,郭天财,等. 施硫对两种品质类型小麦光合物质积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 17-21.
Shen X S, Zhu Y J, Guo T C. Effects of sulfur application on accumulation and transportation of photoassimilate of two winter wheat cultivars with different gluten [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(1): 17-21.
- [6] 刘崇群,曹淑卿,陈国安. 中国南方农业中的硫[J]. 土壤学报, 1990, 27(4): 390-404.
Liu C Q, Cao S Q, Chen G A. Agricultural sulfur in South China [J]. Acta Pedol. Sin., 1990, 27(4): 390-404.
- [7] 刘更另,李绪花,秦道珠. 长期施用硫酸盐肥料对土壤性质和水稻生长的影响[J]. 中国农业科学, 1989, 22(3): 50-57.
Liu G L, Li X H, Qin D Z. Effects of long-term sulfate fertilizer application on rice growth and paddy soils [J]. Sci. Agric. Sin., 1989, 22(3): 50-57.
- [8] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
Liu G S. Soil physical and chemical analysis and description of soil profiles [M]. Beijing: Chinese Standard Press, 1996.
- [9] 钾磷研究所(加拿大钾磷研究所北京办事处编译). 土壤肥力手册[M]. 北京, 1992. 62-64.
Potash & Phosphate Institute (Chinese version). Soil fertility handbook [M]. Beijing, 1992. 62-64.
- [10] Farina M P W, Channon P. Acid-subsoil amelioration: II Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 49: 175-180.
- [11] 樊军,郝明德. 旱地长期定位施肥土壤剖面中有效硫累积及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 86-90.
Fan J, Hao M D. Accumulation of available sulfur in soil profile and affecting factors in a long-term fertilizer experiment of dry land farming [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(1): 86-90.
- [12] 樊军,郝明德. 长期不同施肥对土壤剖面中有效硫累积与分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 12(5): 971-973.
Fan J, Hao M D. Accumulation and distribution of available sulfur in soil profile in a long-term fertilizer experiment of dry land farming [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 12(5): 971-973.
- [13] 樊军,郝明德,党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 23-26.
Fan J, Hao M D, Dang T H. Distribution and accumulation of available sulfur in soil profile and affecting factors in a long-term fertilizer experiment of dry land farming [J]. Soil Environ. Sci., 2000, 9(1): 23-26.
- [14] 郭胜利,党廷辉,郝明德. 施肥对半干旱地区小麦产量、NO₃⁻-N 累积和水分平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 754-760.
Guo S L, Dang T H, Hao M D. Effects of fertilization on wheat yield, NO₃⁻-N accumulation and soil water content in semi-arid area of China [J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(4): 754-760.
- [15] 邹长明,高菊生,王伯仁,等. 长期施用含氯和含硫肥料对土壤性质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(1): 117-119.
Zou C M, Gao J S, Wang B R *et al.* Effects of long-term application of chloride-containing or sulfur-containing fertilizers on the soil property [J]. J. Nanjing Agric. Univ., 2004, 27(1): 117-119.
- [16] 刘益仁,李祖章,刘光荣,等. 稻-稻-油种植制硫肥效应及硫素平衡研究[J]. 江西农业学报, 2004, 16(4): 14-18.
Liu Y R, Li Z Z, Liu G R *et al.* Effect of sulphur fertilizer and soil sulphur nutrient balance in rice-rice-rapeseed cropping system [J]. Acta Agric. Jiangxi, 2004, 16(4): 14-18.