

西藏主要农区农田土壤肥力研究*

钟国辉¹ 田发益¹ 旺姆² 张红锋² 刘翠花² 次白²

(1 西藏农牧学院生物技术中心, 西藏林芝 860000)

(2 西藏农牧学院农学系, 西藏林芝 860000)

SOIL FERTILITY OF CROPLANDS IN MAJOR AGRICULTURAL AREAS IN TIBET

Zhong Guohui¹ Tian Fayi¹ Wang Mu² Zhang Hongfeng² Liu Cuihua² Ci Bai²

(1 *BioTechnology Center, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China*)

(2 *Department of Agriculture, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China*)

关键词 土壤肥力; 农田; 主要农区; 西藏

中图分类号 S158.2 文献标识码 A

西藏地质历史比较年轻, 因而土壤的形成也较晚。由于喜马拉雅山造山运动和多次的冰期和间冰期的发生, 青藏高原不断加速抬升, 气候变干变冷。洪积物、坡积物、冰积物、湖积物和冰水沉积物在气候、生物、物理、化学和人类活动的作用下不断演变, 在不同的地型部位形成多种类型的土壤, 且具有鲜明的高原特色。耕地是土壤资源的精华, 它是在自然土壤的基础上, 经过长期的人类耕作、灌溉、施肥等措施逐步演化而成的, 由于各地气候、成土母质、成土条件、耕作方式、栽培历史等的不同, 耕地的类型、质量、肥力状况差异较大^[1,2]。

西藏全区共有耕地约 32 万 hm^2 , 日喀则、拉萨、山南、林芝约占 77%, 其中日喀则约占 39%, 拉萨约占 16%, 山南约占 15.4%, 林芝约占 7%^[3]; 西藏是青藏高原的主体, 素有“世界屋脊”之称, 整体海拔高, 境内高山耸立, 江河贯流其间, 切割深度较大, 地势多起伏且高差悬殊, 气候类型多样, 由藏东南河谷至藏西北部的高原地带, 温度由高至低, 气候带由湿润、半湿润向半干旱、干旱过渡, 土壤水平分布类型各异, 拉萨、山南、日喀则宽谷地带以耕种亚高山草原土、耕种山地灌丛草原土和耕种草甸土为最多, 耕种棕壤、黄棕壤、耕种淋溶褐土主要分布在林芝地区, 在山南、日喀则等地也有分布。而土壤肥力受土

壤质地、砾石含量、土体厚度、水分、养分、有机质和气候、植被、海拔高度等因素的影响; 西藏耕地多数土层薄, 砂砾成分多, 保水、保肥性能差。充分了解西藏主要农区耕地的土壤肥力状况, 对科学用地、合理施肥、提高农作物产量和品质有极其重要的指导意义。

2002 年至 2004 年期间, 我们对区内主要农业区的林芝、拉萨、日喀则和山南等地(市)的耕地土壤进行了采样, 并分析它们的肥力状况。

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集

在林芝、拉萨、日喀则、山南四地(市)选取面积较大的成片的农田区, 随机布点, 采取耕作层土壤样品, 按片组成混合样, 每地(市)采集混合土壤样品 6 份。采样点主要分布于林芝地区的林芝县、工布江达县(海拔 2 900~ 3 100 m); 拉萨市的达孜县、墨竹工卡县、林周县、堆龙德庆县、曲水县(海拔 3 600~ 4 000 m); 日喀则地区的日喀则市、白朗县(海拔 3 800~ 4 100 m); 山南地区的贡嘎县、扎囊县、琼结县(海拔 3 600~ 3 700 m)等。分别测定它们的 pH、有机质、全氮、速效氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾和

* 国家自然科学基金项目(30160049)资助

作者简介: 钟国辉(1964~), 男, 汉族, 教授, 主要从事植物营养化学的教学与科研工作, 发表论文 30 余篇

收稿日期: 2004-09-15; 收到修改稿日期: 2005-04-05

全量铜、锌、铁、钙、钼、锰、硼。

1.2 分析方法

pH 值用酸度计法, 全氮用半微量凯氏定氮法, 速效氮用 Zr 硫酸亚铁还原—半微量凯氏定氮法, 全磷用氢氟酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色分光光度法, 有效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色分光光度法, 全钾用氢氟酸—高氯酸消煮—火焰光度法, 速效钾用酸铵浸提—火焰光度法, 有机质用重铬酸钾—硫酸氧化外加热法, 铜、锌、铁、钙、钼、锰、硼用浓硫酸—高氯酸消化—原子吸收分光光度法^[4]。

2 结果与分析

2.1 土壤酸碱性

从测定所采集的林芝、拉萨、日喀则、山南四地

(市)的土壤的酸碱度来看, 林芝地区的土壤显中性偏弱酸性(pH6.5~7), 由于受孟加拉暖湿气流的影响, 是西藏暖湿气流最活跃, 水气来源最充沛的地区^[3], 农田土壤又主要以耕种棕壤、黄棕壤和耕种淋溶褐土为主, 使其具有一定的淋溶条件, 因此, 土壤偏酸性; 拉萨市土壤显中性偏弱碱性(pH7.0~7.3), 日喀则地区为碱性偏强碱性土壤(pH8.1~9.0), 山南地区的为碱性土壤(pH8.3~8.7), 因为这些地区由于海拔高度变化, 水热条件的差异, 森林分布少, 植被类型简单, 土壤带谱属温带半干旱型, 耕种土壤主要以耕种亚高山草原土、耕种山地灌丛草原土和耕种草甸土为主, 土体淋溶较弱, 因此, 广泛分布着中性至碱性土壤, 尤其是日喀则地区, 由于钙盐等强碱性盐类的沉积(见表1), 因而形成了局部的强碱性土壤。

表1 西藏主要农区农田土壤常量元素状况

地区	样点代号	pH	有机质 (g kg ⁻¹)	全氮 (g kg ⁻¹)	速效氮 (mg kg ⁻¹)	全磷 (g kg ⁻¹)	有效磷 (mg kg ⁻¹)	全钾 (g kg ⁻¹)	速效钾 (mg kg ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)
林芝	LZ1	6.77	33.09	1.26	169.0	0.71	130.0	4.63	153.1	54.60
	LZ2	6.76	24.01	0.97	53.2	0.49	37.3	3.47	140.3	17.94
	LZ3	6.45	27.62	0.65	53.0	0.42	119.5	3.48	86.8	15.49
	LZ4	7.08	50.97	1.69	110.6	1.42	133.0	5.49	379.9	101.2
	LZ5	6.88	35.85	1.59	95.2	0.91	57.8	6.27	118.6	22.13
	LZ6	6.73	57.52	3.66	224.1	1.15	100.3	5.04	154.6	15.47
拉萨	LS1	7.25	40.32	2.50	116.9	0.86	37.9	4.98	207.0	131.7
	LS2	6.96	39.17	1.89	87.2	0.22	73.8	3.48	146.6	52.14
	LS3	7.54	31.54	1.06	92.0	0.70	27.1	4.58	255.9	84.82
	LS4	7.97	26.59	1.03	127.9	0.27	29.2	4.39	155.9	112.3
	LS5	7.12	37.54	1.57	79.1	0.69	56.12	4.18	144.1	35.88
	LS6	7.21	25.50	0.93	133.9	0.39	38.0	4.94	88.6	13.36
日喀则	R1	8.95	5.54	0.25	41.1	0.32	16.4	2.23	251.5	109.8
	R2	8.45	13.78	0.46	101.4	0.38	19.4	5.47	1080	290.1
	R3	8.37	24.81	0.68	76.8	0.49	18.1	5.75	1290	1315
	R4	8.13	6.28	0.27	30.2	0.46	14.6	1.89	208.9	102.9
	R5	8.16	11.16	0.73	79.5	0.50	3.1	2.74	32.3	5387
	R6	8.32	8.49	0.55	27.7	0.39	1.1	2.36	27.5	6702
山南	S1	8.71	18.24	0.73	43.8	0.67	63.7	11.13	255.7	55.04
	S2	8.69	21.00	0.92	74.0	0.79	54.8	12.23	483.5	54.85
	S3	8.61	10.64	0.32	46.6	0.55	22.3	6.95	296.6	39.95
	S4	8.48	10.82	0.67	27.4	0.61	30.4	9.85	362.9	31.57
	S5	8.46	27.03	1.60	75.5	0.75	7.8	11.95	39.2	247.3
	S6	8.34	38.82	2.30	89.5	0.82	11.4	10.43	38.6	226.5

2.2 土壤有机质

林芝地区地处藏东南低海拔地区,气候湿润,植物生长茂密,每年都有大量的动、植物残体通过微生物分解,形成有机质进入土壤^[6],加之土壤潮湿,呈厌气状态,有机物积累多,分解少,因此,相对其余三地(市)土壤有机质含量普遍较高,最高达 57.5 g kg^{-1} 以上,最低也在 24.0 g kg^{-1} 以上。拉萨、山南地处西藏中部地区,海拔升高,气候半干旱,植物生长量较低,有机质积累较少,土壤有机质含量较林芝地区低,拉萨在 $25.5 \sim 40.3 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,山南在 $10.6 \sim 38.8 \text{ g kg}^{-1}$ 之间(表1)。日喀则地处藏西北地区,海拔高,气候极端干旱,基本已无森林分布,另外土壤砂粘比大,砂性重,矿化度高,有机质积累少,因此,土壤有机质含量较其余三地(市)低,在 $5.5 \sim 24.8 \text{ g kg}^{-1}$ 之间(表1)。

2.3 土壤氮素

2.3.1 土壤全氮 从表1可以看出,林芝地区土壤全氮在 $1 \sim 3 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,拉萨的在 $1 \sim 2 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,山南的在 $0.3 \sim 2 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,而日喀则的在 $0.2 \sim 0.7 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,其含量变化与各地(市)有机质含量变化呈正相关。土壤全氮含量相对比较稳定,它的消长决定于氮的积累和消耗的强弱,特别取决于土壤中有机质的生物积累和分解作用的相对强弱。土壤中氮素绝大部分以有机态形式存在,它的含量和分布与土壤有机质密切相关。而有机质的积累与分解又受气候、生物等自然因素的影响^[5]。

2.3.2 土壤速效氮 在对四地(市)所采集的农田土壤进行分析,土壤中速效氮在 $20 \sim 80 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,个别土壤高达 $100 \sim 200 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,总体评价,林芝地区土壤速效氮含量高于其余三地(市),尤以日喀则地区土壤速效氮含量为最低(表1)。不同土类的耕种土壤,速效氮的含量不同,一般以棕壤、暗棕壤、灰褐土为高,亚高山草原土、潮土、灌淤土含量较低,另外土壤酸碱性、种植制度、土壤有机质等对速效氮含量均有影响。

2.4 土壤磷素

2.4.1 土壤全磷 四地(市)中,林芝地区土壤全磷含量变幅为 $0.43 \sim 1.42 \text{ g kg}^{-1}$,拉萨市在 $0.22 \sim 0.86 \text{ g kg}^{-1}$,山南在 $0.67 \sim 0.82 \text{ g kg}^{-1}$,日喀则的则在 $0.32 \sim 0.50 \text{ g kg}^{-1}$ 之间(表1)。土壤磷素含量有明显的地带性分布:藏东南部,森林资源丰富,以热带、亚热带植被为主,年生长量高于中、西部地区,每年有大量的有机物回归土壤,因而土壤有机质含量高,全磷含量比较丰富;西部地区植被稀疏,生长量

少,土壤有机质含量低,全磷也就比较贫乏。

2.4.2 土壤有效磷 从表1中可以看出林芝地区土壤有效磷普遍较高,在 $37 \sim 133 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,拉萨市的在 $16 \sim 74 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,山南的在 $11 \sim 64 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,日喀则的在 $1 \sim 20 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间;影响磷的有效性的因素很多,如磷的形态、土壤性质、土壤有机质含量和氧化还原状况等。一般土壤都具有很强的固磷能力,主要是化学固定和吸附固定;土壤 pH 值对磷的有效性影响很大,过酸或过碱都会发生很强的化学固定而使磷失去有效性,在酸性土壤中磷以铁磷和铝磷为主,石灰性土壤则以钙磷为主^[6,8];而土壤中的钙含量以日喀则普遍偏高,变幅 $100 \sim 6700 \text{ mg kg}^{-1}$,然后是山南 $31 \sim 247 \text{ mg kg}^{-1}$ 、拉萨 $13 \sim 131 \text{ mg kg}^{-1}$ 、林芝 $15 \sim 101 \text{ mg kg}^{-1}$ 。另外,土壤有机质含量与供磷强度呈正相关。林芝地区和拉萨市农田土壤的酸碱性为中性偏弱酸或弱碱性,而山南地区农田土壤显碱性,日喀则地区农田土壤则显强碱性;土壤有机质含量以林芝为最高,其次是拉萨、山南,最低为日喀则。

2.5 土壤钾素

2.5.1 土壤全钾 林芝地区土壤全钾含量在 $3.5 \sim 6.3 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,拉萨市在 $3.5 \sim 5.0 \text{ g kg}^{-1}$ 之间,而日喀则地区和山南地区分别在 $1.9 \sim 5.8 \text{ g kg}^{-1}$ 和 $6.9 \sim 12.2 \text{ g kg}^{-1}$ 之间(表1),以山南地区的含量稍高,拉萨和林芝的次之,日喀则的为最低;土壤全钾含量与成母质有较为密切的关系,一般风积母质发育的土壤含量最高,其次是湖积物、碳酸盐岩类、中酸性岩类、洪积物、洪冲积物等^[7,10]。

2.5.2 土壤速效钾 表1显示林芝、拉萨两地土壤速效钾含量较为均衡,均在 $80 \sim 250 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,山南与日喀则两地土壤速效钾含量变幅较大,分别在 $38 \sim 484 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间和 $28 \sim 1290 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间;土壤速效钾与气候、土壤类型、土壤质地、成土母质以及土地利用方式有着较为密切的关系:气候干旱,则矿物风化产生的钾基本保留在土壤中,而降雨充沛,则流失量大;不同的土壤类型和土壤中的粘粒含量以及土壤利用中的灌溉、耕种方式、施肥、作物品种等均会影响土壤中的速效钾含量。

2.6 土壤微量元素

土壤中的铜一般分为水溶态、吸附态、闭蓄态、矿物态、有机螯合物等^[1]。其中水溶性铜和交换性铜对植物有效。土壤有机质、粘土矿物的性质、pH 值和氧化还原条件是影响铜的有效性重要因素。四地(市)土壤中铜含量在 $10 \sim 50 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间(表2),

整体表现铜不缺乏。

土壤中的锌大致可分为有机态、矿物态、沉淀态、代换吸附态和水溶态^[1]。其中水溶态锌和代换吸附态锌对植物有效。一般而言,土壤有机质与锌的有效性呈正相关,石灰性土壤、淋溶较强的酸性土壤以及过量施用磷肥等都有可能诱化植物缺锌;此外,温度、通气性、粘土矿物类型等也会影响锌的有效性。四地(市)土壤中锌含量变幅在 47~266 mg kg⁻¹之间(表 2)。

土壤中的铁大多以矿物态的形式存在,如辉石、角闪石、黑云母以及铁的氧化物、硫化物和磷酸盐等所含的铁,这些铁植物均难以利用,只有代换性铁和水溶性铁(Fe²⁺、Fe³⁺及铁的有机络离子)可供植物吸收利用^[5]。影响土壤中铁的有效性的因素主要是

pH 值、Eh 值、螯合作用、石灰及磷肥的施用等。酸性土壤使 Fe³⁺ 活性增加,碱性条件促使 Fe(OH)₃ 形成,从而降低铁的有效性,向土壤中施用大量的石灰和磷肥会使铁产生沉淀而使铁不同程度地失效。表 2 中四地(市)土壤中铁的变幅在 1 880~7 550 mg kg⁻¹之间,含量非常丰富。

土壤中的钼主要来源于含钼矿物,以难溶态(原生矿物、硅酸盐黏土矿物和铁铝氧化物所固定的钼)、有机结合态、吸附代换态和水溶态等形式存在。其中水溶态钼和吸附代换态钼对植物有效。土壤钼的有效性与 pH 值呈正相关,施用石灰和磷肥可减少 MoO₄²⁻ 的吸附,从而增加钼的有效性。林芝、拉萨、日喀则与山南四地(市)土壤中钼含量在 0.2~6.6 mg kg⁻¹之间(表 2)。

表 2 西藏主要农区农田土壤微量元素状况

地区	样品代号	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mo (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
林芝	LZ1	30.31	71.68	5 770	3.097	366.6	20.98
	LZ2	22.65	51.68	4 849	0.123	218.9	24.42
	LZ3	19.49	266.3	4 585	0.858	195.8	1.003
	LZ4	54.63	105.0	5 704	0.748	547.5	24.27
	LZ5	41.66	163.2	6 603	2.543	425.9	40.55
	LZ6	49.46	424.6	7 112	3.334	472.0	2.592
拉萨	LS1	56.74	98.40	7 552	0.315	342.1	23.29
	LS2	23.00	71.89	3 732	0.222	205.7	22.44
	LS3	35.41	82.32	4 798	0.452	330.5	9.937
	LS4	25.51	60.61	4 567	0.361	300.7	0.786
	LS5	27.86	69.64	5 478	0.408	272.0	0.456
	LS6	30.63	69.07	5 337	0.344	206.4	0.882
日喀则	R1	17.17	44.90	2 226	3.500	471.6	83.90
	R2	25.12	69.33	2 877	3.228	691.7	112.8
	R3	28.35	106.2	2 479	1.406	650.5	109.8
	R4	14.28	46.07	1 884	0.992	394.8	80.26
	R5	20.39	67.7	7 019	1.228	735.9	12.02
	R6	21.28	65.29	7 089	0.860	679.8	13.83
山南	S1	16.13	74.04	2 465	5.950	471.9	110.6
	S2	19.34	79.52	3 139	6.641	409.2	137.8
	S3	12.98	68.00	2 711	6.494	425.6	128.6
	S4	9.41	62.09	2 611	6.001	382.3	108.1
	S5	208.6	69.92	3 717	5.293	128.0	26.10
	S6	443.4	114.9	5 815	7.548	296.8	28.04

土壤总锰含量不能作为锰对植物有效性的指标,因为不少因素可影响它的吸收。其中最重要的是土壤 pH 值和氧化还原状况,主要是因为锰在土壤中的存在形态与其有明显的相关性。另外,土壤有机质特别是易分解的有机质有利于微生物的活动,促进锰的生物化学还原,可提高锰的有效性。我国土壤锰含量在 $42 \sim 3\,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间,表 2 中林芝的在 $196 \sim 547 \text{ mg kg}^{-1}$ 、拉萨的在 $206 \sim 342 \text{ mg kg}^{-1}$ 、日喀则的在 $395 \sim 736 \text{ mg kg}^{-1}$ 、山南的在 $128 \sim 472 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

植物缺硼多发生于 pH 值大于 7 的土壤上,我国土壤硼含量为 $0 \sim 500 \text{ mg kg}^{-1}$,土壤有效硼含量一般变动于 $100 \sim 300 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间。表 2 中,林芝土壤中硼含量在 $1 \sim 41 \text{ mg kg}^{-1}$,拉萨的在 $0.5 \sim 23 \text{ mg kg}^{-1}$,日喀则的在 $12 \sim 112 \text{ mg kg}^{-1}$,山南的在 $26 \sim 138 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间。

3 结 论

1) 土壤的酸碱性是气候、植被及母质条件共同影响的结果^[11]。林芝、拉萨、日喀则、山南四地(市)由藏东南河谷向藏西北高原地带,由湿润向半湿润、半干旱、干旱过渡,土壤由黄壤、黄棕壤、褐土、棕壤向山地灌丛草原土、亚高山草甸土、高山草甸土过渡,土壤淋溶条件由强至弱,土壤 pH 值由低至高。

2) 气候、海拔、植物生长量、土壤质地以及耕作方式都是土壤有机质含量的影响因素,尤其以气候、海拔和植物生长量影响最大^[10]。林芝地区海拔相对较低,气候温暖、湿润、多雨,植物生长量大,有机质积累丰富,土壤中有机质含量相对较高,拉萨和山南次之,而日喀则最低。

3) 土壤氮素的含量和分布与土壤有机质的积累和分解密切相关,影响进入土壤有机物质的数量和有机物质分解速率的因素都将对土壤有机质和氮素含量产生显著影响。因此,林芝、拉萨、日喀则、山南四地(市)土壤全氮含量与其有机质含量呈现正相关。

4) 一般土壤都有很强的固定磷的能力,酸性和石灰性土壤的化学固磷的能力更强。另外,土壤有机质含量与土壤中的有效磷呈正相关。因此,四地(市)中林芝地区土壤有效磷含量最高,拉萨、山南次之,日喀则为最低。

5) 土壤有机质含量高、熟化程度高、质地黏重,

全磷含量比较高。由藏东南至藏中、西部地区,森林资源和植被生长量的变化,影响土壤中有机的积累,因而使得全磷含量由高向低逐渐变化。

6) 西藏土壤中微量元素比较丰富,基本能满足植物对微量元素的需要,但影响微量元素的有效性的土壤因素很多,主要有 pH 值、Eh 值、吸附作用、固定作用(不可逆吸附和沉淀)、有机络合、石灰与磷肥的施用等。因此,无论是土壤因素的调节或是微量元素肥料的使用都必须注意这些因素。

7) 西藏耕种土壤养分基本状况为氮素偏低,缺乏磷素,钾素和微量元素比较丰富。土壤中主要营养元素的协调状况对各元素的有效利用影响很大,如磷素的缺乏,影响氮素的利用,因此,必须采取有利措施,促进各养分的协调平衡,合理地满足作物对各种营养元素的需求。另外,影响土壤耕性最主要的因素是土壤质地、土壤水分与土壤有机质的含量。土壤质地决定着土壤比表面积的大小;水分决定着土壤一系列物理机械性的强弱;土壤有机质除影响土壤的比表面积外,其本身疏松多孔,又影响土壤物理机械性的变化。所以应当通过增施有机肥、合理排灌、适时耕作等方法改良土壤耕性。

参 考 文 献

- [1] 陈爱莲主编. 土壤监测修复技术与有毒有害物质残留分析改良评价标准实用手册. 北京: 北京伯通电子出版社, 2002. 11, 54~ 82, 121~ 124, 683~ 812
- [2] 李萍. 藏东南耕作棕壤养分模糊综合评价. 土壤, 2003, 35(5): 435~ 437
- [3] 胡颂杰主编. 西藏农业概论. 成都: 四川科学技术出版社, 1995. 2, 107~ 127
- [4] 刘光崧主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996. 6, 53~ 68, 123~ 125, 154~ 167, 171~ 173
- [5] 钦绳武, 刘芷宇. 土壤—根系微区养分状况的研究 VI. 不同形态肥料氮素在根际的迁移规律. 土壤学报, 1989, 26(2): 117~ 123
- [6] 裴海. 不同草甸植被类型下土壤有机磷类型及含量探讨. 土壤, 2002, 34(1): 47~ 50
- [7] 赵斌, 李静, 马丽, 等. 土壤不同形态钾含量与土壤颗粒的关系. 土壤, 2002, 34(3): 164~ 169
- [8] 李忠佩, 程励励, 林心雄. 红壤腐殖质组成变化特点及其与肥力演变的关系. 土壤, 2002, 34(1): 9~ 15
- [9] Zhang S X, Li X Y, Li X P, *et al.* Crop yield, N uptake and nitrates in a Fluvo Aquic soil profile. Pedosphere, 2004, 14(1): 131~ 136
- [10] 杨振明, 闫飞, 韩丽梅, 等. 我国主要土壤不同粒级的矿物组成及供钾特点. 土壤通报, 1999, 30(4): 163~ 167
- [11] 刘世全, 张世熔, 伍钧, 等. 土壤 pH 与碳酸钙含量的关系. 土壤, 2002, 34(5): 279~ 283