

陕西省果园磷素投入特点及磷负荷风险分析

赵佐平^{1,2}, 同延安², 刘智峰^{1,2}, 段敏¹, 李琛¹, 王彦民¹

(1. 陕西理工学院, 陕西 汉中 723001; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以陕西果园调查数据为基础,采用盈余法从果树种类和区域尺度分析果园生产体系中的磷素输入输出特点及盈余状况。结果表明:陕西果园磷肥投入过量与不足并存,调查中 55.8%果园施肥处于过量,不足占 27.8%。化学磷肥平均投入量为 366.1 kg/hm²,通过有机肥投入的磷仅为 72.8 kg/hm²。果园土壤磷盈余与亏缺并存,80.3%的果园处于盈余,其盈余量超过 300 kg/hm²,占 43.1%。19.7%的果园处于亏缺,平均亏缺量为-25.8 kg/hm²。不同类型果园比较,猕猴桃果园盈余量较高,为 472.3 kg/hm²,而葡萄园和苹果园盈余量分别为 365.9 kg/hm²,355.6 kg/hm²。不同区域比较,关中灌区盈余量(351.8 kg/hm²)高于渭北旱塬(315.5 kg/hm²)。调查区果园磷肥的不合理投入将会给果园土壤环境带来较大的环境负荷。

关键词:果园; 磷素投入; 磷负荷; 风险分析; 陕西省

中图分类号:X147.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0025-05

Analysis of Phosphorus Inputs and Phosphorus Load Risk in Major Orchard Regions of Shaanxi Province

ZHAO Zuoping^{1,2}, TONG Yanan², LIU Zhifeng^{1,2}, DUAN Min¹, LI Chen¹, WANG Yanmin¹

(1. Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China;

2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Accurate information about current soil nutrient concentrations in orchards is necessary for making recommendations about future fertilizer application rates. Additional information is needed about the amount of soil P surplus in the orchards of Shaanxi Province, which is the main apple and kiwi production region in China. Analysis of P inputs and P loading is important for P management in orchards. The objective of this study was to quantify both the P application rates and the amount of surplus P in orchards in Shaanxi Province. The information was collected from farmer interviews and an agricultural statistics database. The data were analyzed using the P balance method. The results showed that P fertilizer application had the excess and deficiency phenomenon. The P fertilizer application rates averaged 366.1 kg/hm² among the orchards surveyed in this study. Manure application accounted for 72.8 kg P₂O₅/hm², nearly 20% of the orchards existed phosphorus deficiency, more than 80% of the orchards had phosphorus surplus. Nearly, 43.1% of the orchards had a phosphorus surplus of more than 300 kg P₂O₅/hm². Among the different kinds of orchards, kiwi orchards had the highest rate of surplus phosphorus 472.3 kg P₂O₅/hm², the grape orchards and apple orchards had the rates of phosphorus surplus of 365.9, 355.6 kg P₂O₅/hm², respectively. In irrigated areas of central Shaanxi Province, the P₂O₅ surplus averaged 351.8 kg/hm² which was greater than the surplus amount in the Weibei rainfed region. High phosphorus inputs to orchards in some regions of Shaanxi Province led to high phosphorus loading, which will increase environmental risks in the region.

Keywords: orchards; phosphorus inputs; phosphorus load; risk analysis; Shaanxi Province

磷肥对果树生产的可持续发展和土壤生态环境具有重要影响。适量施磷能够促进果实增产增收。肥料在促进水果增产的同时,也是造成农业面源污染的主

要来源^[1]。在 20 世纪 70 年代中后期我国磷素开始出现持续盈余状态^[2]。与此同时,很多科研人员在该领域进行了相关研究^[3-8]。研究发现各地区土壤磷不同

程度盈余和流失现象,作为我国东部著名农业区,太湖流域每年磷的径流流失量占当年施肥量 1.93%^[3-4]。在我国东部地区农田磷素单位耕地盈余 38.7 kg/hm²。而鲁中山区的桃园土壤处于磷素盈余状态,河北省主要果园土壤有效磷含量大于 20 mg/kg 的样本比重占 32.2%,陕西黄土区土壤磷平衡和有效磷变化呈显著相关关系,每 100 kg/hm² 磷素累积可使陕西黄土区土壤有效磷增加 2.75 mg/kg。出现此现象的主要原因是近年来磷肥的大量投入所致,特别是果园中磷肥投入有增长趋势。张维理等^[9]指出太湖流域农业面源污染的原因是农田化肥磷过高施用和畜禽养殖中有机磷的大量排放所致。尤其果树、蔬菜等经济作物面积大幅度增长引起的磷素增加对环境总磷的贡献约占 60%。而陕西是中国水果生产第一大省,目前苹果和猕猴桃产业发展已经具有很大规模。2012 年陕西苹果种植面积达到 64.5 万 hm²,苹果产量 965.1 万 t^[10]。陕西猕猴桃产业成为继苹果之后陕西果业的又一亮点,截至 2012 年底,全省猕猴桃面积达到 5.76 万 hm²,产量 82.3 万 t,比 2011 年增长 11.8%(陕西统计年鉴 2013)。有关陕西果园施肥报道相对较多,但有关果园生产体系磷素养分平衡及环境负荷分析研究相对较少。因此,在该区域研究果园生产体系的磷素养分平衡状况及磷负荷风险分析具有一定的代表性。研究结果可以为区域磷素有效管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

调查采样区主要在陕西关中灌区和渭北旱塬区,该区域属暖温带气候,平均气温 8~16℃,自北向南渐高;年降水量 275~874 mm,时空分布极不均匀,自北向南渐多;光能资源丰富,年均日照时数 1 270~2 829 h,属日照条件较好地区;无霜期 140~316 d,自北向南渐长^[11]。主要种植小麦、玉米、蔬菜和果树,其中果树种植面积为 1.14×10⁶ hm²,约占耕地面积的 23.81%。苹果、猕猴桃种植面积名列全国首位。以其为调查区域研究中国北方果园磷素投入特征具有较强的代表性。

1.2 调查内容及分析方法

调查分别在 2008 年和 2009 年 10—11 月进行,每年调查 400 户果农。选取陕西苹果主产区具有代表性的合阳、白水、洛川 3 个县及猕猴桃生产区有代表性的周至县和眉县为调查对象,葡萄园调查选在扶风县、杨陵区进行。调查内容包括:建园基本情况、果园面积、果树品种、树龄、种植密度、施肥情况及产量、肥料品种、施肥时期、施肥方法、灌水情况等果园基本

管理情况。调查果农近 800 户,最后确定的调查有效样本量为 766 个。

1.3 参数选择及计算方法

磷素平衡的计算:磷素平衡=输入项(化肥磷+有机肥磷)-输出项(果实携出量)^[2]。

农户投入的磷肥量(化肥和有机肥)按照调查点的实际值计算(注:磷肥投入量均转换为以 P₂O₅ 计);不同果树产量、面积按照农户调查实际值和统计年鉴参考数据计算;不同果树产量吸收磷养分量按照《肥料实用手册》、《中国肥料实用手册》和《果树栽培学各论》^[12]结合前人研究结果^[13-15]等参考计算。

1.4 数据处理与统计方法

采用 Excel 2007 方法进行数据处理和用 DPS 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 调查区果园生产体系磷养分投入状况

2.1.1 磷肥投入总体特征 姜远茂等^[16]2007 年研究指出,果园合理的磷肥推荐量为 100~200 kg/hm²,本研究以此为合理施肥标准,对调查区果园磷肥投入特点进行分析,结果显示(图 1,2),调查区果园磷肥投入水平不足与过量并存。化学磷肥投入量在合适范围(100~200 kg/hm²)的样本为 16.4%;施用量不足占 27.8%,过量占 55.8%,其中施磷量在 300~400 kg/hm² 和 400 kg/hm² 以上的样本分别为 10.4%,31.4%,施用量分别达到 344.5 kg/hm²,842.1 kg/hm²,平均磷肥投入量为 366.1 kg/hm²。不施化学磷肥的占调查样本的 11.2%。通过有机肥投入的磷相对较低,平均为 72.8 kg/hm²,不施有机肥的高达 65.2%。由此可知,调查果园磷肥投入主要依靠化学磷肥提供。

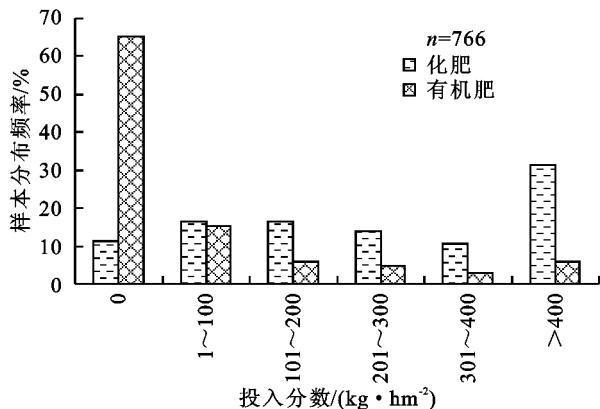


图 1 果园磷肥不同投入分级下样本分布频率

从施肥调查还可知,其他养分投入氮肥、钾肥施用量分别为 N 927.2 kg/hm²,K₂O 243.9 kg/hm²,氮磷

钾肥投入比例为 N : P₂O₅ : K₂O=1 : 0.40 : 0.26,总体来看,钾肥投入偏低,氮磷钾养分比例失调。

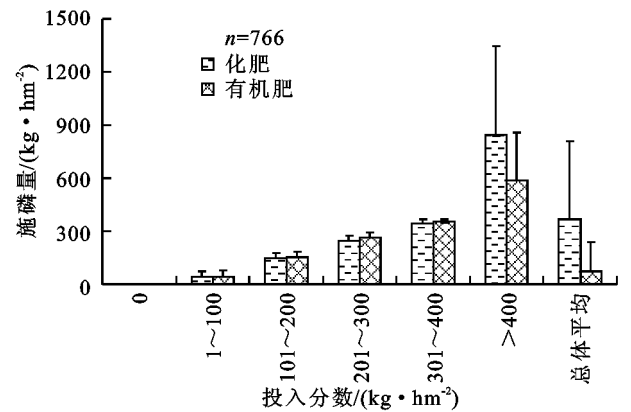


图 2 果园磷肥不同投入分级下平均施用量

2.1.2 不同果树种类果园磷肥投入特点 由于果树种类、立地条件和社会经济因素存在较大差异,果园磷肥投入特点也显著不同。调查区所有果树磷肥平均施用量为 366.1 kg/hm²。从表 1 看出,不同果树比较可知,磷肥投入量以猕猴桃园最高,为 445.5 kg/hm²。其次是苹果园,投入量 336.7 kg/hm²。葡萄园投入量相对较低,为 305.4 kg/hm²。有机肥提供的磷素投入水平总体较低,苹果园为 62.4 kg/hm²,猕猴桃园 73.9 kg/hm²,葡萄园 82.1 kg/hm²。该调查研究结果与前人^[17]研究结果基本一致,有机肥投入量呈逐年降低趋势。造成当前现状有两方面的原因:一方面由于近年来调查区种植绿肥和养殖业的农户逐渐减少,有机肥源短缺;另一方面是由于使用有机肥费工费时效果不明显,导致农民过分依赖化肥,忽视对有机肥的利用。

表 1 不同果园磷肥投入特点

果园	样本数/个	肥料	磷肥投入量	
			平均值/(kg·hm ⁻²)	标准差
苹果园	336	化肥磷	336.7	257.3
		有机肥磷	62.4	96.1
猕猴桃园	318	化肥磷	445.5	651.1
		有机肥磷	73.9	141.1
葡萄园	112	化肥磷	305.4	226.1
		有机肥磷	82.1	113.7

表 3 不同果园土壤磷养分平衡状况

果园类型	样本数/个	P ₂ O ₅ 投入/(kg·hm ⁻²)		平均产量/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ 输出/(kg·hm ⁻²)		P ₂ O ₅ 盈余量/(kg·hm ⁻²)	养分平衡指数
		化肥磷	有机肥磷		休眠期吸收量	带走量		
苹果园	336	336.7	62.4	22814	10.4	22.8	365.9	12.0
猕猴桃园	318	445.5	73.9	39312	10.9	36.2	472.3	11.0
葡萄园	112	305.4	82.1	28470	9.7	22.2	355.6	12.1

2.2 果园生产体系磷素负荷状况

2.2.1 调查园磷素负荷总体状况 如前所述,果园合理的磷肥推荐量为 100~200 kg/hm²^[16],过量则会带来环境负荷。结合前人果园施肥研究结果及不同种类树体磷素吸收情况,采用 P₂O₅ 300 kg/hm² 和 P₂O₅ 600 kg/hm² 两不同水平评价土壤磷的环境效应。由表 2 可知,磷盈余量超过 300 kg/hm² 的样本共 330 个,占总调查样本量的 43.1%。而盈余量超过 600 kg/hm² 的样本占 18.7%。调查果园平均磷盈余量高达 338.8 kg/hm²。而表现亏缺的样本占 19.7%。这与前人^[17]在渭北旱塬苹果园调查结果相似,果园磷肥施用量不足与过量并存。土壤磷养分与土壤氮有相似之处,盈余量越高其土壤相应负荷程度越高,对果园环境质量的影响越大。而在石灰性土壤条件下,磷还可以被石灰质物质通过固定作用而无效化,不仅对环境质量有较大影响,同时也是一种资源浪费。

表 2 果园磷养分平衡总体状况

分级/(kg·hm ⁻²)	样本量/个	样本分布频率/%	P ₂ O ₅ 盈余量/(kg·hm ⁻²)	变异系数/%
<0	151	19.7	-25.8	68.9
0~300	285	37.2	149.7	55.1
300~600	187	24.4	424.9	20.7
>600	143	18.7	1075.2	49.8
总计	766	100	338.8	129.3

2.2.2 不同种类果园土壤磷素负荷 从不同种类果园磷肥投入来看,猕猴桃园化肥磷施用量最高,达到 445.5 kg/hm²,而通过有机肥投入的磷则葡萄园施用量较高,为 82.1 kg/hm²。果园磷肥盈余量均在 300~600 kg/hm² 之间,且较为接近,不同种类果园比较则猕猴桃果园盈余量较高,为 472.3 kg/hm²,而葡萄园和苹果果园盈余量分别为 365.9 kg/hm²,355.6 kg/hm²。另外,从养分平衡指数来看,即果园养分投入量与养分吸收量之比均在 10 以上。高义民等^[18]在渭北苹果园中研究指出,果园土壤速效磷与土壤速效氮的淋洗有相似之处,随土层深度增加而增加。从调查果园来看(表 3),陕西果园磷素投入量高于果树果实携出量,大量残留于土壤中,将会造成果园土壤磷养分高量盈余,土壤磷负荷程度增高,对果园环境质量的影响加大。

2.2.3 不同区域果园磷养分盈余状况 不同区域果园磷肥投入差异造成果园磷养分盈余程度不同(表 4)。关中灌区盈余量较高,平均值达到 351.8 kg/hm²,渭北旱塬相对较低,平均 315.5 kg/hm²。

表 4 不同区域果园磷养分盈余情况

区域	磷素分级/(kg·hm ⁻²)				盈余量/ (kg·hm ⁻²)
	<0	0~300	300~600	>600	
	样本数/个	样本数/个	样本数/个	样本数/个	
渭北旱塬	46	127	75	52	315.5(-42~1324.5)
关中灌区	95	178	102	91	351.8(-101.2~3389.14)

2.3 其他管理措施

调查果园磷肥主要由过磷酸钙、磷酸二铵和三元复合肥提供。过磷酸钙所占比例最大,各果园施用量都在 40%以上。而三元复合肥和磷酸二铵所占比例相当。且三元复合肥品种很多,分别由云南、江苏、山东、福建、陕西、山西、四川等地生产。

调查果园基肥多,追肥少,基肥占施肥总量的 85.0%以上,且大多都在果实采收后一次性施入。王琳等^[17]研究表明,基追肥比例对果树生长有较大影响。前人研究指出果树养分吸收主要集中在果实膨大期和果实采收至休眠期,因此有关调查果园施肥时期和施肥方式是否正确有待于试验进一步验证。

3 讨论

调查果园磷肥施用量过量与不足并存,55.8%的果园处于过量,施肥不足占 27.8%。化学磷肥平均投入量为 366.1 kg/hm²,通过有机肥投入的磷仅为 72.8 kg/hm²。不同区域磷肥投入水平高低不仅与果树生产经济效益有关,而且与当地社会、经济发展水平有关。如猕猴桃的产量经济收益较高,其施肥量高于苹果树和葡萄树。关中灌区总体经济发展水平高于渭北旱塬,相应地关中灌区果园施磷水平也较高。过量施肥的另一主要原因是果农尚不清楚果树年生长周期内吸收磷量及吸收时期。樊红柱等^[13]曾报道,苹果树年周期内磷素吸收主要集中于果实膨大期和休眠期;而王建等^[14]曾报道称,猕猴桃树年周期猕猴桃树体吸收磷素的总量为 36.95 kg/hm²,进入果实收获期的 9 月 8 日以后和结果前的 5 月 18 日前共吸收 10.92 kg/hm²,整个果实生长期吸收 26.03 kg/hm²,分别占总吸收量的 29.55%和 70.45%。马文娟等^[15]报道,葡萄树年周期树体吸收磷素的总量为 33.1 kg/hm²,其中吸收量最大的时期在 8 月 20 至 9 月 30 日,吸收量为 15.39 kg/hm²。而调查果园中果农对各个时期果树所需的磷肥量掌握不清,导致

在调查果园中,磷养分盈余的样本占 80.3%。说明两个区域果园磷养分盈余负荷都较大,尤其关中灌区果园磷肥投入引起面源污染的可能性最高,对土壤环境构成的威胁最大。

果农“一炮轰”等传统施肥习惯依然存在。且施肥量远远超过了各果树所需的年吸收量。李贵美等^[6]在山东桃园中研究指出,当年施磷量超过 1 000 kg/hm²,土壤中有效磷含量超过了环境风险值 50 mg/kg。调查果园磷素投入量高于果树果实带走量,大量残留于土壤中,造成果园土壤磷养分高量盈余,土壤磷负荷程度增高,对果园土壤环境污染日益加大,同时由于在渭北旱塬等石灰性土壤条件下,磷还可以被石灰质物质通过固定作用而无效化,不仅可能造成果园土壤环境污染,同时也是一种资源浪费。

近年来,农田土壤中磷素淋失及其导致水体富营养化问题越来越受到人们的关注。有研究结果表明^[19-22],土壤磷素的淋溶会对地下水环境产生影响,土壤磷素淋溶存在“突变点”,即土壤磷阈值,并且指出在 pH 值大于 5.8 的土壤上,阈值为 120 mg/kg Olsen-P。也有研究^[23-24]指出北方石灰性土壤磷淋失风险临界值平均为 50 mg/kg,并指出在 pH 6.5 左右临界值最高。果园生产体系土壤磷环境风险阈值与果树立地条件有很大关系。土层厚度、土壤酸碱性、土壤质地、土壤有机质含量、地形等因素均影响土壤磷的淋失。Hughes 等^[21]研究认为土壤有机质含量影响土壤磷的吸附与解吸,在有机质含量低于 10%的农田,Olsen-P与土壤磷吸附指数比值可以很好预测土壤磷吸附状态,并指出土壤磷淋洗临界值为 35~40 mg/kg。陕西调查果园有机质含量偏低,这种立地条件可能加大磷的淋洗风险,相应地淋失阈值将降低。

因此,目前应加大测土配方施肥的力度,根据土壤养分供应状况、不同果树需求状况以及果树立地条件,制定适宜目标产量,优化高效栽培技术,合理调配磷肥资源,尽量提高磷肥肥效,以减轻果园磷素的环境负效应。

4 结论

调查区果园磷肥投入不足与过量并存。施磷量

不足为 27.8%, 过量为 55.8%, 不施磷肥的占 11.2%。平均磷肥投入量为 366.1 kg/hm²。

果园磷盈余与亏缺并存, 亏缺的样本为 19.7%, 平均亏缺量为 -25.8 kg/hm²。80.3% 的调查园表现盈余, 其盈余量超过 300 kg/hm², 占 43.1%。

不同果园比较, 猕猴桃园的磷盈余量较高, 为 472.3 kg/hm², 而葡萄园和苹果园磷盈余量分别为 365.9 kg/hm², 355.6 kg/hm²。不同区域果园比较, 关中灌区磷养分盈余量(351.8 kg/hm²)高于渭北旱塬(315.5 kg/hm²)。

参考文献:

- [1] 刘侯俊, 巨晓棠, 同延安, 等. 陕西省主要果树的施肥现状及存在问题[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 38-44.
- [2] 曹宁, 曲东, 陈新平, 等. 东北地区农田土壤氮、磷平衡及其对面源污染的贡献分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(7): 127-133.
- [3] 张燕, 高翔, 张洪. 无锡各地农业活动对太湖总磷总氮的影响识别[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 37-43.
- [4] 黄玉洁, 张银龙, 李海东, 等. 太湖人工恢复湿地植物群落建群对沉积物中氮、磷空间分布的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 161-165.
- [5] 方玉东, 封志明, 胡业翠, 等. 基于 GIS 技术的中国农田氮素养分收支平衡研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 35-41.
- [6] 李贵美, 彭福田, 肖元松, 等. 鲁中山区桃园土壤养分状况评价与氮磷负荷风险分析[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2011, 42(3): 392-400.
- [7] 卢树昌, 陈清, 张福锁, 等. 河北省果园主要分布区土壤磷素投入特点及磷负荷风险分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3149-3157.
- [8] 卢树昌, 陈清, 张福锁, 等. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮素负荷分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 858-865.
- [9] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策Ⅲ: 中国农业面源污染控制中存在问题分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1026-1033.
- [10] 赵佐平, 同延安, 刘芬, 等. 长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2013,

24(11): 3091-3098.

- [11] 赵佐平, 闫莎, 刘芬, 等. 陕西果园主要分布区氮素投入特点及氮负荷风险分析[J]. 生态学报, 2014, 34(19): 5642-5649.
- [12] 张玉星. 果树栽培学各论[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2006.
- [13] 樊红柱, 同延安, 赵营, 等. 苹果树体磷素动态规律与施肥管理[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 73-77.
- [14] 王建, 同延安, 高义民. 关中地区猕猴桃树体周年磷素需量动态规律研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 119-123.
- [15] 马文娟, 同延安, 高义民, 等. 葡萄树主要生长期磷素吸收及累积规律[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(9): 89-94.
- [16] 姜远茂, 张宏彦, 张福锁. 北方落叶果树养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [17] 赵佐平, 同延安, 刘芬, 等. 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估[J]. 中国农业生态学报, 2012, 20(8): 1130-1138.
- [18] 高义民, 同延安, 路永莉, 等. 长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(3): 322-327.
- [19] 王琳, 王晶祥, 赵安福. 夏施基肥对国光苹果树生长和结果的影响[J]. 中国果树, 1995(4): 21-22.
- [20] Hesketh N, Brookes P C. Development of an index at or for risk of phosphorus leaching[J]. J. Environ. Qual., 2000, 29: 105-110.
- [21] Hughes S, Reynolds B, Bell S A, Gardner C. Simple phosphorus saturation index to estimate risk of dissolved P in runoff from arable soils[J]. Soil Use and Management, 2000, 16: 206-210.
- [22] 吕家珑, Fortune S, Brookes P C. 土壤磷淋溶状况及其 Olsen 磷“突变点”研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 142-146.
- [23] 赵小蓉, 钟晓英, 李贵桐, 等. 我国 23 个土壤磷素淋失风险评估Ⅱ: 淋失临界值与土壤理化性质和磷吸附特性的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3011-3017.
- [24] 钟晓英, 赵小蓉, 鲍华军, 等. 我国 23 个土壤磷素淋失风险评估. 淋失临界值[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2275-2280.