

# 基于 GIS 网络分析的耕地表土剥离与再利用布局研究\*

邱龙霞<sup>1</sup>, 黄希垚<sup>2</sup>, 邢世和<sup>3</sup>

(<sup>1,3</sup> 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002;

<sup>2</sup> 福建省福州市闽清县国土局, 福州 350002)

**摘要** 研究目的: 探讨规划期建设占用耕地表土剥离与再利用的可行性, 并研究再利用的最优布局。研究方法: GIS 网络分析、空间分析、Hakanson 生态指数法。研究结果: 规划期可剥离耕地以中产耕地占优势, 可剥离表土再利用率达 100%。74.05%可剥离表土再利用运输距离在 3km 范围内, 63%表土再利用为相同土壤质地间的调配, 接收表土耕地耕层增厚 4cm。再利用区参与接收可剥离表土的耕地以接收相同或相近质量等级的耕地剥离表土为主。研究结论: 基于精准数据库, 在污染风险评价的基础上, 利用 GIS 网络分析, 能够为规划期耕地表土剥离体系研究与过程风险防控、再利用最优布局提供有力的数据支撑。

**关键词** 土地利用; 污染风险评价; 表土剥离; GIS 网络分析;

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号:

## 1 引言

耕地表土层是自然界风化并凝结人类劳动的物质资源, 是土地的精华和不可再生的基础资源, 是耕地生产力的核心, 为人类生命活动提供了 80% 的热量和 75% 的蛋白质<sup>[1]</sup>。在经济社会快速发展的今天, 城市建设占用耕地, 特别是占用郊区优质农业用地已是不争的事实, 而且多数被占用耕地耕层土壤处于废弃或者作为填方, 这是一种极大的资源浪费。为避免浪费, 更为合理保护耕地, 提升耕地质量, 国内外提倡开展耕地表土剥离工程, 即表土剥离 (topsoilstripping) 主要指耕作层土壤剥离, 是指将建设用地或露天开采用地 (包括临时性用地) 所涉及到的适合耕种的表层土壤剥离出来, 用于原地或异地土地复垦、土壤改良、造地及其他用途<sup>[2-3]</sup>。国外的表土剥离常见于矿产资源开发、提高土地质量和治理土壤污染中, 普及程度较高, 表土剥离的政策<sup>[4-5]</sup>、制度<sup>[6]</sup>以及保育技术<sup>[7-8]</sup>等方面的研究与应用实证相对成熟。国内的表土层剥离工作及其研究尚处于起步阶段, 最早研究主要集中在矿区建设与污染修复治理方面<sup>[9-11]</sup>, 近年来随着耕地占补平衡难度的加大, 吉林、浙江、福建、河南等国土管理部门率先推广建设占用耕地耕层土壤剥离造地

---

收稿日期: 2014-8-18

修稿日期:

基金项目: 福建省教育厅科技项目 (K8011050), 福建农林大学青年教师基金 (2010014)

第一作者简介: 邱龙霞 (1983-), 女, 福建泉州市人, 硕士, 实验师。主要研究方向为 GIS 与土地资源评价。Email: [58583238@163.com](mailto:58583238@163.com)

通讯作者: 邢世和 (1962-), 男, 福建连江县人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为土地 (壤) 生态环境评价以及陆地生态系统碳氮循环研究。Email: [fafuxsh@126.com](mailto:fafuxsh@126.com)

工作,使宝贵的耕层土壤得以保存并实现永续利用,且在土地开发整理实践中对耕层表土剥离的技术、组织管理和资金制度进行了积极探索<sup>[12-14]</sup>。受客观因素影响,耕地表土剥离与再利用工作在考虑剥离表土肥沃性的同时,还得关注剥离表土的健康性问题,同时要测算剥离表土再利用过程中的存储技术、总量、区域与距离成本<sup>[15]</sup>。因此,在充分考虑耕地污染风险的前提下,对建设占用的耕地耕层表土剥离进行可行性研究,通过土方量测算,借助 GIS 网络分析技术对可剥离表土再利用最优布局进行研究,可为有效提高现有耕地质量和确保耕地占补数量质量平衡提供有力的理论支撑,并具有一定的实践意义。

## 2 研究区概况

闽侯县地处福建东南部,素有“八闽首邑”之称,东连福州,南及东南与福清、长乐毗邻,西同永泰、闽清县接壤,北界古田县,呈月牙形拱卫省城,区位优势十分明显。境内属于中亚热带季风气候区,闽江沿岸低海拔区域兼具南亚热带气候特征。气候温和,雨量丰沛,年平均气温 19.5℃,年平均降水量为 1673.9mm,年降雨量 1200~2100mm。地形地貌错综复杂,境内中山、低山、丘陵、盆谷地、平原兼之,福建最大河流闽江由西往东横贯其中。2008 年闽侯县耕地总面积 28487.06 hm<sup>2</sup>,占全县土地总面积的 13.34%。

## 3 研究方法

### 3.1 数据来源

收集闽侯县统计年鉴(2008)及相关自然条件和社会经济资料,以及闽侯县 2006 年耕地土壤环境调查样点空间信息与数据分析测试资料(闽侯县农业局)。收集闽侯县土壤类型分布图(1:5 万)(二次土壤普查资料,闽侯县农业局)、闽侯县 2008 年耕地地力评价成果数据库(闽侯县农业局)、闽侯县 2008 年土地利用现状图及行政区划图(1:5 万)(闽侯县国土局)、闽侯县土地利用总体规划数据库(2006-2020 年)(闽侯县国土局)等数据库与图件资料。

### 3.2 研究方法

#### 3.2.1 研究区评价对象底图数据库建立

借助 ARC/GIS 软件从 1:5 万闽侯县土地利用现状数据库中提取出耕地利用现状图斑矢量数据,并空间叠加研究区土壤类型数据库和行政区划图数据库,建立研究区耕地利用现状底图基础数据库,以耕地土种类型为评价单元,研究区耕地总面积 28487.06 hm<sup>2</sup>,共划分为 4921 个评价单元。

#### 3.2.2 耕地土壤重金属污染风险评价

根据闽侯县 2006 年耕地土壤环境调查样点空间信息与数据分析测试资料,研究区共布设 226 个耕地地块样点,通过调查样点 GPS 坐标与研究区 1:5 万土地利用现状数据库链接,建立闽侯县耕地土壤调查样点空间及属性数据库。借助地统计分析模块,利用最优空间插值模型实现研究区耕地土壤重金属元素(Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Hg 和 As)由点到面的栅格化,建立研究区耕地土壤重金属含量空间分异栅格数据库。

采用污染指数法和潜在生态风险指数法对土壤重金属进行评价。以国家《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)<sup>[16]</sup>为土壤重金属含量评价标准,计算耕地土壤评价单元重金属单项污染指数,采用尼梅罗指数计算综合污染指数,采用确定污染等级<sup>[17]</sup>。在此基础上,借助 Hakanson 生态指数法<sup>[18]</sup>计算单因子生态危害系数和多因子综合潜在生态危害指数;以潜在生态危害风险评价指数及其分级标准<sup>[19-21]</sup>为依据,划分

研究区耕地土壤重金属污染的风险等级，形成土壤环境质量评价成果数据库。

### 3.2.3 规划期可剥离耕地空间属性数据库建立

以闽侯县土地利用总体规划图（2006-2020 年）和耕地利用现状底图为数据基础进行空间叠加分析，提取并建立研究区规划期内非农建设占用耕地空间数据库，将规划期非农建设占用耕地空间数据库与耕地土壤环境质量评价空间属性数据库进行叠加分析，遵循以下标准提取规划期可剥离的耕地图斑：（1）重金属单项无污染；（2）污染水平清洁（安全）或尚清洁（警戒线）；（3）单因子和多因子潜在生态风险为低度危害；（4）剔除潜育型水稻土类耕地，建立研究区规划期可剥离耕地空间与属性数据库。

### 3.2.4 规划期可剥离表土再利用区域空间属性数据库建立

以闽侯县耕地地力等级空间属性数据库为基础，与耕地土壤环境质量评价空间属性数据和土地利用总体规划数据进行空间叠加分析，遵循下列标准提取建立剥离表土再利用区域空间数据库：（1）选取重金属单项无污染、污染水平清洁（安全）或尚清洁（警戒线）、单因子和多因子潜在生态风险为低度危害和耕层浅薄（即耕层厚度未达 20 cm）的耕地，（2）剔除规划期非农建设占用的耕地以及潜育型水稻土类耕地，建立规划期可剥离耕地再利用区域空间与属性数据库。

### 3.2.5 基于网络分析的规划期可剥离表土再利用优化布局

利用研究区规划期可剥离表土空间属性数据库和规划期可剥离表土再利用区域空间属性数据库，运用 ARC/GIS 相关分析工具将可剥离表土抽象设为供给点，可剥离表土再利用区域当作需求点。然后以研究区道路属性数据库为基础，借助 ARC/GIS 网络分析的成本矩阵，建立供给点到对应需求点的属性信息数据库。以防止二次污染、现实可行性、质量相近且高产田优先、最小费用、客土改良等 5 大原则为前提制约条件，依据以下规则进行规划期可剥离表土再利用优化分析：（1）基于耕地地力评价数据库，将研究区规划区可剥离表土和规划期可剥离表土再利用区域的一、二等耕地归并为高产田，三、四等耕地归并为中产田，五、六等地归并为低产田；（2）质量相近且高产田优先，即优先安排规划期可剥离高产、中产、低产耕地土壤分别对应优先回填至再利用区高产、中产、低产耕地上。同时，遵循高产耕地土壤优先利用且优先回填至高产田的薄耕层区；（3）在质量相近且高产田优先的前提下，选择距离最短的运输路线；（4）在质量相近、高产田优先以及运距最短的情况下，考虑砂掺粘、粘掺砂的客土改良原理。建立规划期可剥离表土再利用优化数据库。最后，基于研究区道路属性数据库，运用 ARC/GIS 网络分析的路径分析，建立规划期可剥离表土再利用优化布局数据库。

## 4 结果与分析

### 4.1 闽侯县规划期耕地表土剥离与再利用的必要性分析

鉴于福建省耕地资源短缺且总体质量不高这一基本省情，区域耕地表土剥离再利用应以尽量少的成本实现优质表土资源的再利用，努力提高区域耕地的质量。闽侯县规划期非农建设累计占用耕地面积 1083.18 hm<sup>2</sup>，占全县耕地总面积的 3.80%，占用耕地以高、中产田为主，合计面积为 981.03 hm<sup>2</sup>，占全县规划期占用耕地总面积的 90.57%，主要分布于经济相对发达、交通便利的青口镇、南屿镇、上街镇和荆溪镇。这些乡镇地处闽江沿岸，与福州市区毗邻，地势平坦，农业相对发达，土地肥沃，耕地质量较高。近年来，由于福州市“东扩西进”城市战略的实施，非农建设占用了不少耕地，规划期内或用于教育配套建设以及文化旅游用地，或以工业园区和独立工矿用地的形式建设占地，占用优质城郊耕地已是无法避免的事实。因

此，科学合理地将优质且无污染的表土层资源予以剥离再利用，不但可以有效提高区域耕地质量，还能有效避免珍贵表土资源的浪费。规划期可剥离耕地面积、表土土方量分别为 611.05 hm<sup>2</sup> 和 992083.09 m<sup>3</sup>，可剥离耕地总体质量以中产耕地占优势，其面积、土方量分别占全县规划期可剥离表土总面积、总土方量的 74.78% 和 73.79%。

## 4.2 闽侯县规划期耕地表土剥离与再利用的可行性分析

### 4.2.1 耕地表土可剥离与再利用的运距分析

刘明松等研究表明<sup>[22]</sup>，耕地表土剥离再利用的成本与运距大小关系密切，在一定运距范围内（一般为 3 km 以内），耕作层剥离费用与耕地开垦费比较，约占耕地开垦费的 1/3，而超出 3 km 运距，剥离费用就会增加更快。运距分析结果表明（如图 1），闽侯县规划期距离 ≤3 km、3-6 km 以及大于平均运距（6 km）的可剥离表土土方运输量分别为 734598.31 m<sup>3</sup>、93270.02 m<sup>3</sup>、174214.76 m<sup>3</sup>，分别占全县可剥离土方运输总量的 74.05%、8.39% 和 17.56%。运距在 ≤3 km 范围内的可剥离表土主要是在同一乡镇内不同地块之间的调配，其中上街镇不同地块之间的运输量最大，青口镇次之，荆溪镇第三。全县运距在 3-6 km 运距范围内的土方运输量以同个乡镇内不同地块之间的调配量占多数，以青口镇不同地块之间的运输量最大，上街镇次之，南通镇第三。就乡镇而言，上街、青口、荆溪、南通镇地势平坦、交通发达，可剥离表土质量高且运输便捷，故运距相对较短，运输成本较低，表土剥离再利用的效益高。闽侯县规划期可剥离表土平均运距为 6 km，6-10 km、10-15 km 以及 >15 km 的可剥离土方运输量分别占全县大于平均运距的可剥离土方运输量的 40.74%、35.10% 和 24.15%。可剥离表土的再利用优化布局受行政管辖的限制，只考虑闽侯县可剥离表土在本县域范围内的再利用优化调配，而 >15 km 运距的可剥离表土再利用区多位于乡镇的边界区域，且部分乡镇内可剥离表土输出量远高于接收量，只得将其剩余的可剥离表土运往其他相对偏远乡镇的再利用区，因而提高了表土剥离再利用的费用。

### 4.2.2 耕地表土可剥离与再利用的耕层改良分析

闽侯县规划期可剥离表土再利用区平均耕层厚度为 16 cm。按照设计耕层厚度为 20 cm 的标准，通过规划期可剥离表土的调运，全县规划期可剥离表土再利用区耕层厚度平均增加了 4 cm。耕作层厚度的增加，能够有效地提高土壤养分和水分的容量，提高土壤保肥供肥的能力，扩大作物根系发育的地下空间，为作物生长发育提供有利的土壤条件，达到耕地表土再利用与提高耕地土壤肥力的双赢目的。

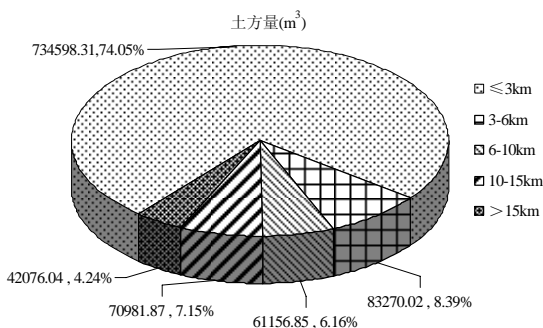


图 1 闽侯县规划期不同运距可剥离表土再利用分布图

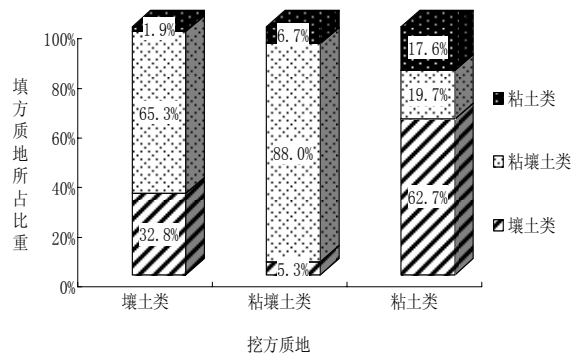


图 2 闽侯县规划期不同质地可剥离表土再利用分布图

### 4.2.3 耕地表土可剥离与再利用的质地改良分析

从挖填区耕地土壤质地改良来看（如表 1 和图 2），挖土区壤土类总土方量为 341551.66m<sup>3</sup>，占

挖土区总土方量的 38.3%，其中有 32.8% 的壤土类表土调配到壤土类填土区，挖土区壤土类表土调配到粘壤土类填土区占主要优势，其土方量超过壤土类挖土区总量的 65%，实现了客土调剂。挖土区粘壤土类总土方量 501147.60m<sup>3</sup>，占挖土区总土方量的 56.2%，其中 88% 的粘壤土类调配到粘壤土类填土区，余下 12% 的粘壤土类参与了客土调剂。挖土区粘土类总土方量 48958.30m<sup>3</sup>，仅占挖土区总土方量的 5.5%，挖土区粘土类的质地改良最为明显，其中仅 19.7% 的粘土类调配到粘土类填土区，超过 60% 的粘土类壤质粘土表土回填至壤土，余下 17.6% 的粘土类表土调配到粘壤土类填土区。由此可见，在闽侯县耕地表土剥离与再利用过程中，挖土区粘壤土类多为相同质地之间的调配，减少了对原耕地土壤的扰动，而壤土类多数分配至粘壤土类填土区实现客土改良，粘土类半数以上调配至壤土类填土区，通过掺粘改良了填土区土壤质地。

#### 4.3 闽侯县规划期耕地表土可剥离与再利用的数量、质量与空间布局分析

如图 3 所示，闽侯县规划期可剥离表土再利用数量达 992083.09 m<sup>3</sup>，占规划期可剥离表土总数量的 100%。规划期表土再利用区耕地实际接收土方总量为 992083.09 m<sup>3</sup>，占再利用区耕地可接收土方量 11.52%，主要分布于上街、青口、荆溪、南通、祥谦、甘蔗、南屿和白沙镇，合计接收量为 896315.99 m<sup>3</sup>，占总接收量的 90.35%。

规划期表土再利用区高产耕地实际接收土方量为 75874.63 m<sup>3</sup>，为规划期表土再利用区高产耕地可接收土方量的 93.16%，其接收的土方以一等可剥离表土为主，其中一等耕地接收的土方有 74.83% 来自一等可剥离耕地；二等耕地有 58.23% 的土方也来自一等可剥离表土，这些表土就近增厚且肥沃了高产田薄耕层，为农作物的生长发育提供了有利条件。规划期表土再利用区中产耕地实际接收土方量为 800484.48 m<sup>3</sup>，为其理论可接收土方量的 16.42%，其接收表土以可剥离中产表土占优势，总共为 732027.45 m<sup>3</sup>，是再利用区中产耕地实际接收土方总量的 91.45%，这部分表土增厚了中产田薄耕层，改善了作物生长的立地条件。规划期表土再利用区低产耕地实际接收土方量为 115723.99 m<sup>3</sup>，仅为规划期表土再利用区低产耕地理论可接收土方量的 3.17%，其接收土方量以可剥离低产表土占优势，总共为 110287.84 m<sup>3</sup>，是规划期表土再利用区低产耕地接收土方总量的 95.30%，一定程度增加了低产田耕层厚度。

#### 4 结论

在污染风险评价的基础上,利用 GIS 网络分析对规划期建设占用耕地进行表土剥离再利用研究具有理论可行性,能够提供表土剥离再利用最优方案并提供数据支撑。研究数据表明:(1)规划期可剥离耕地面积、土方量为 611.05 hm<sup>2</sup>和 992083.09 m<sup>3</sup>,以中产耕地占优势;再利用区耕地实际接收土方总量为 992083.09 m<sup>3</sup>,可剥离表土再利用率达 100%,在避免土壤资源浪费的同时有效提升耕地生产力。(2)从表土剥离空间调配上看,74.05%可剥离表土再利用的运输距离在 3km 范围内,63%表土再利用为相同土壤质地间的调配,在就近增厚 4cm 耕层土壤的同时减少了对原耕地系统的扰动。(3)从表土剥离再利用布局上看,再利用区高产耕地以接收一等可剥离表土为主,中产耕地接收土方量以可剥离中产表土占优势,低产耕地实际接收土方量较少,符合土地整理当中建设高产稳产耕地土壤的要求。

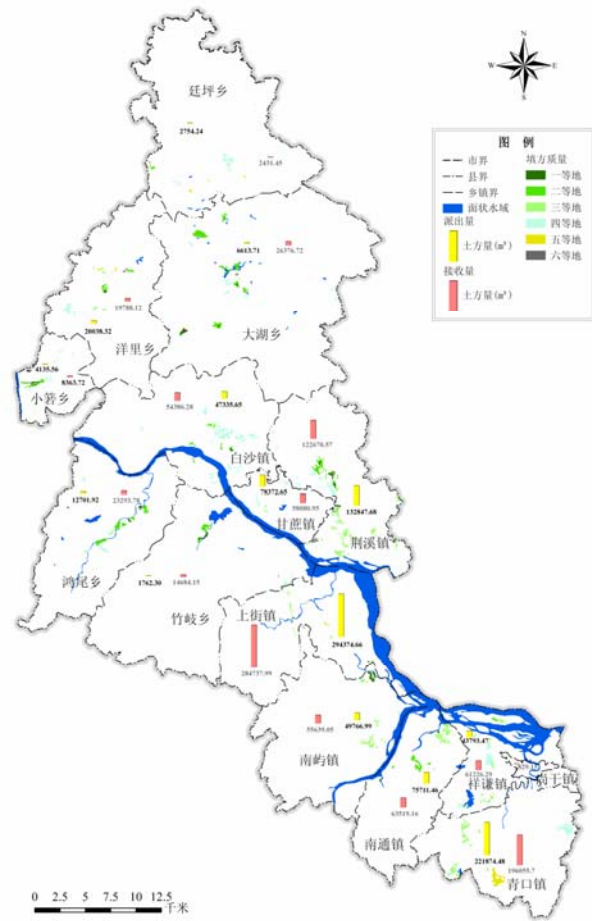


图 3 闽侯县规划期可剥离表土再利用优化布局

#### 参考文献 (References):

- [1] 谢钊,乐德明. 福建耕地资源可持续利用评价方法与结果分析 [J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版),2006,9 (3):39-42.
- [2] 颜世芳,王涛,窦森. 高速公路取土场表土剥离工程技术要点 [J]. 吉林农业,2010,249 (11):238.
- [3] 徐炳玉,王涛,窦森. 关于表土剥离技术的初步研究[J]. 吉林农业,2012,263 (1):18.
- [4] 李蕾. 美国煤矿区农用地表土剥离制度[J]. 国土资源情报,2011 (6):20-23.
- [5] 刘新卫. 日本表土剥离的利用和完善措施[J]. 国土资源,2008 (9):52-55.
- [6] 朱先云. 国外表土剥离实践及其特征[J]. 中国国土资源经济,2009,22 (9):24-26.
- [7] A W Abdul-Kareem, S G Mcrae. The effects on topsoil of long-term storage in stockpiles [J]. Plant and Soil, 1984, 76: 357-363.
- [8] Desiree Rivera, Berta M Jáuregui, Begoña Peco. The fate of herbaceous seeds during topsoil stockpiling: Restoration potential of seed banks [J]. Ecological Engineering, 2012, 44: 94-101.
- [9] 付梅臣,陈秋计. 矿区生态复垦中表土剥离及其工艺[J]. 金属矿山,2004, (8):63-65.
- [10] 傅广仁. 表土剥离再利用技术在尾矿库恢复耕植功能中的应用研究[J]. 科技创新导报,2008 (12):136-137.
- [11] 童洁,刘立忠,吴新恒. 低水位煤矿区土地复垦工程技术措施研究[J]. 矿山测量,2008, (4):66-68.
- [12] 国土资源部农业部关于加强占补平衡补充耕地质量建设与管理的通知[J]. 国土资源通讯,2009 (22):17-18.

- [13] 浙江省国土资源厅耕地保护处. 巧用"老娘土"再造肥沃田—余姚市临山镇建设用地耕层土壤剥离调研报告[J]. 浙江国土资源,2007, (8) :14—15.
- [14] 国土资源部 . 关于福建河南三地耕地耕层土壤剥离的调查报告 [N]. [http://www.mlr.gov.cn/xwdt/dfdt/200610/t20061026\\_77846.htm](http://www.mlr.gov.cn/xwdt/dfdt/200610/t20061026_77846.htm), 2006-10-26/2010-7-8.
- [15] 牛光辉,彭梓淦,谭晓.关于表土剥离有关问题的探讨[J].中国水土保持 SWCC,2014,(4):20-22.
- [16] 国家环境保护局. GB15618-1995 土壤环境质量标准[S].北京:中国标准出版社, 1995.
- [17] 李军辉,卢 瑛,张 朝,等. 广州石化工业区周边农业土壤重金属污染现状与潜在生态风险评价[J].土壤通报, 2011, 42(1): 1242-1245.
- [18] HAKANSON L. An ecological risk index for quality pollution control: a sediment geological approach[J]. Water Res, 1980, 35(14): 975-1001.
- [19] 刘勇,岳玲玲,李晋昌.太原市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J].环境科学学报,2011,31( 6) : 1285-1293.
- [20] 杨净,王宁.夹皮沟金矿开采区土壤重金属污染潜在生态风险评价[J].农业环境科学学报,2013,32 ( 3) :595-600.
- [21] 陈迪云,谢文彪,宋刚,等.福建沿海农田土壤重金属污染与潜在生态风险研究[J].土壤通报, 2010, 41(1): 194-199.
- [22] 刘明松,帅文波,陈秀欣.耕地保护的有益探索——关于福建河南三地耕地耕作层土壤剥离的调查报告 [N] .中国国土资源报,2006-10-26 ( 2) .
-