

文章编号: 1007-4619(2007)03-0414-06

银川平原土壤盐渍化与中低产田遥感应用研究

吴加敏^{1,2}, 姚建华^{1,2}, 张永庭^{1,2}, 王志有²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 宁夏遥感测绘勘察院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 土壤盐渍化是影响农业生产与生态环境的一个重要因素。长期以来, 宁夏银川平原的次生土壤盐渍化问题十分突出, 形成了许多盐渍型中低产田, 影响和制约了区域农业的可持续发展。主要采用遥感解译方法提取了银川平原土壤盐渍化的分类与分布的现状信息。在此基础上, 依据中低产田的分类标准, 将相关的耕地类型、土壤肥力、作物产量、灌排水指标等因子转化成数字化专题图层, 采用多源信息复合分类的方法, 通过“综合分析, 主导因子判定”实现了 GIS 辅助下的中低产田分类, 为遥感和地理信息系统技术在土壤盐渍化和中低产田调查研究中的应用, 探索出了一条可行的途径。

关键词: 土壤; 盐渍化; 中低产田; 遥感; 多源数据; 复合分类; 银川平原

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

Remote Sensing Application Study on the Soil Salinity and the Medium & Low Yield Croplands in Yinchuan Plain (YCP)

WU Jia-min², YAO Jian-hua², ZHANG Yong-ting², WANG Zhi-you²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

2. Ningxia Institute of Remote Sensing Survey and Mapping, Ningxia Yinchuan 750021, China)

Abstract: The soil salinity is an important problem to agriculture production and ecological environment. The salinity has been a key factor to form a lot medium & low yield croplands and to affect the sustainable agriculture development in Yinchuan Plain (YCP), Northwest China. In the study the suitable time for receiving the remote sensing data (TM) is selected. Based on the remote sensing data and the some soil investigation, the soil salinity has been extracted and their classification is made. It is found that the soil salinization degree and the total distribution area of soil salinity are being alleviated remarkably from 1985. With the support of the RS and GIS, the thematic information related to the formation of the medium & low yield croplands such as the types of farmland, soil salinity degree, fertility, crop yield etc., are extracted and are put into the compound classification. Through this method, the present situation including their classification and distribution of the medium & low yield croplands in the area is determined clearly. Finally, some analyses on the causes of the soil salinity change in YCP are brought forward.

Key words: soil salinization; medium & low yield croplands; RS; multi sources data; compound classification; Yinchuan Plain

1 引 言

在许多地区, 尤其是干旱半干旱地区, 土壤盐渍

化是影响农业生产与生态环境的一个重要因素。世界上 100 多个国家和地区都有盐渍土的分布, 总面积约为 9.6 亿 hm^2 , 并且有逐年扩大的趋势。中国约有 670 万 hm^2 盐渍地分布于农田之中, 占耕地面

收稿日期: 2006-09-01; 修订日期: 2006-11-21

作者简介: 吴加敏 (1965—) 男, 中国地质大学博士研究生, 教授级高级工程师。主要从事遥感和地理信息系统在国土资源、水文环境地质、农业方面的调查和应用研究。已发表论文 10 篇。E-mail: jiaminwo@sina.com

积的 7% 左右, 主要分布在新疆、甘肃、宁夏、内蒙和东部沿海一带^[1]。严重的盐渍化, 影响植被生长并间接造成生态环境恶化, 使土地的利用率降低, 农作物低产、减产或绝收, 不但每年直接造成数十亿元的经济损失, 而且加深了中国人多地少的矛盾, 对粮食安全形成威胁。

宁夏银川平原的土壤盐渍化问题十分突出, 已成为银川平原农业生产的主要制约因素和区域生态问题。准确掌握土壤盐渍化现状和成因规律是治理盐渍化, 尤其是改造盐渍型中低产田, 提高粮食生产能力的一个重要途径。

“3S”技术在农田土地资源调查、土壤调查、农作物估产与监测等领域已得到了广泛的应用, 在快速准确获取农业资源的空间信息、判读提取专题信息、编绘各种资源要素图件等方面, 实现对农业资源的现状、潜力和质量的调查与评估^[2]。遥感由于能大面积、重复获取区域多波段、多时相的信息, 为大面积盐渍土的调查和监测提供了有效手段。同时, 农学、地学的专家知识和各种辅助信息, 也可以通过多源数据的复合分类方法, 大幅度提高中低产田分类的准确性^[3]。

2 研究区概况

银川平原位于中国宁夏北部, 西靠贺兰山, 东邻鄂尔多斯台地, 东经 $105^{\circ} 51' - 106^{\circ} 54'$, 北纬 $37^{\circ} 36' - 39^{\circ} 14'$ 。面积 7790 km^2 , 由贺兰山洪积斜平原、黄河冲洪积和河湖积平原组成, 海拔 $1100 - 1150 \text{ m}$, 地势自西南向东北微倾。地处中温带干旱区, 属大陆性气候。其气候特征是干旱少雨, 日照充足, 蒸发强烈, 风大沙多。年平均气温 9°C , 年平均降水量 185 mm , 蒸发量 1825 mm , 干旱指数 6.5。原生地表植被类型为荒漠草原, 现以人工绿洲植被为主; 主要分布耕地灌淤土、灰钙土和沼泽土等。地势较为平坦, 土地肥沃, 利于灌溉与垦殖, 农作物以水稻、小麦、玉米为主, 是宁夏农业发展的精华地带。土壤盐渍化是影响区域农业生产的第一障碍性问题, 研究和治理该地区的土壤盐渍化, 对于确保宁夏经济社会可持续发展和保障粮食安全至关重要。

3 土壤盐渍化遥感解译

3.1 盐渍土分类

有易溶盐盐分积累的土壤称为盐渍土。按照地

表土 ($0 - 20 \text{ cm}$) 平均含盐量和地表盐霜盐斑分布特征分为: 轻盐渍土, 全盐量 $0.15\% - 0.3\%$, 盐霜盐斑 $1/10 - 1/3$; 中盐渍土, 全盐量 $0.2\% - 0.5\%$, 盐霜盐斑 $1/3 - 1/2$; 重盐渍土, 全盐量大于 $0.3\% - 1.0\%$, 盐霜盐斑大于 $1/2$ 常见盐结皮。

3.2 土壤盐渍化调查

土壤调查是确定土壤盐渍化的常规方法。其基本做法是按照一定密度网格在调查区域的平面上布点, 在各点土壤剖面的垂向上采取土样, 分析化验其可溶盐含量, 并结合分析地表盐霜盐斑分布和作物生长状况, 来圈定不同程度盐渍化土壤分布面积和等级。1958—2005年, 在银川平原先后共进行过 5 次调查。

3.3 卫星数据最佳时相的确定

土壤盐渍化现象季节性很强, 遥感影像最佳时相的选择对盐碱地的调查研究非常重要, 只有时相合适才能提取较多的有用信息^[4]。根据对银川平原土壤水盐动态的监测与研究, 区内周年水盐动态的基本特征是季节性强烈积盐和灌溉脱盐的循环交替, 具体表现为蒸发—积盐—淋溶—脱盐 and 相对稳定等。其中, 春季, 尤其是春灌前的时段, 气温升高, 降雨量很少, 蒸发量加大, 没有灌溉, 同时土层冻土融化, 致使潜水位升高, 是一年中蒸发强度很大、土壤积盐最强烈的时期。据此, 将遥感研究的卫星数据的最佳时相限定在 3 月下旬至 4 月上旬。

土壤盐渍化在地表主要以盐霜、盐斑的形式表现出来。盐霜是由较为均匀分布的细小的白色浮盐组成的, 含盐量较低且对作物危害不大。盐斑是含盐量较高并造成缺死苗现象的局部不均匀斑块, 常出现白色片状高含盐土壤组成的盐结皮, 盐害甚大^[5]。盐斑以及盐霜的多少, 可以表征土壤盐渍化的程度等级, 也是地表光谱特征的主要物理基础。

3.4 盐渍土壤的色彩和纹理特征

研究采用 2005 年 3 月 29 日的 TM 数据。国内外对土壤盐碱化的大量遥感研究发现, 可见光、近红外和短波红外波段是识别盐碱化土壤的关键波段。从信息量来衡量, TM 数据 1、3 和 5 波段组合所含信息量最大^[6]。据此, 采用能够反映土壤盐渍化最佳色调和纹理等光谱特征的 5 3 1 波段合成方案作为解译的基础图像。

为确定耕地中不同盐渍化程度的盐渍土与其影

像特征之间的对应关系,在春灌前开展了野外踏勘调查,共选线 11条,调查点 106个,实地对照卫星影像图,对土壤盐渍化特征图斑的影像色彩、纹理、形

态、相邻关系等进行了详细的校验,填写野外遥感调查表,实地拍照并以 GPS定位,系统建立了土壤盐渍化遥感解译标志(表 1)。

表 1 不同等级盐渍土壤的色彩和纹理特征

Table 1 The color and texture of soil salinity in different degree

| 分类 | 色彩 | 纹理 | 形态 | 地表覆盖特征 |
|------|------------|--------|-----|------------|
| 轻盐渍土 | 黄绿色 暗绿色 | 条块状格纹 | 较规则 | 高位旱地 |
| 中盐渍土 | 棕色夹白色星点 | 质粗隐约条纹 | 有规则 | 地势较低旱地 |
| 重盐渍土 | 暗棕色间夹白色斑块 | 隐约片状 | 不规则 | 常年稻田或在湖泊周围 |
| 盐荒地 | 亮白色夹暗蓝或绿色块 | 无规则纹理 | 不规则 | 低洼荒地和沼泽鱼塘等 |

3.5 盐渍土遥感解译

运用遥感软件(PCD)依据遥感解译标志,分非(0)、轻(1)、中(2)、重(3)4级,采用人工目视解译的方法提取耕地土壤盐渍化等级和面积信息,将大于 6 hm²的图斑逐一勾出。同时,考虑到解译对象的复杂性和遥感技术的局限性,按照一定密度在调

查区域的平面上和土壤剖面的垂向上采取土样,分析化验可溶盐含量,并结合地表盐霜盐斑分布、作物生长状况、地下水水位和矿化度、土壤类型等非遥感数据辅助信息,修正错漏图斑,从而准确获取了各级土壤盐渍化的面积分布和图斑信息,见表 2。经过 8%图斑抽样的实地验证,结果误差为 7%,总精度达到了 90%的预期指标。

表 2 银川平原盐渍化土壤调查和解译成果表(1958—2005年)

Table 2 The investigation result of soil salinity of YCP(1958—2005)

| 年份 | 轻盐渍化 | | 中盐渍化 | | 重盐渍化 | | 合计 | |
|-------|------|------------------------------------|------|------------------------------------|------|------------------------------------|------|------------------------------------|
| | 比例/% | 面积/10 ⁴ hm ² | 比例/% | 面积/10 ⁴ hm ² | 比例/% | 面积/10 ⁴ hm ² | 比例/% | 面积/10 ⁴ hm ² |
| 1958 | 35.6 | 10.18 | 16.5 | 4.72 | 4.6 | 1.32 | 56.7 | 16.21 |
| 1962 | 33.1 | 9.46 | 20.7 | 5.92 | 13.6 | 3.89 | 67.4 | 19.27 |
| 1979 | 22.3 | 6.38 | 12.5 | 3.57 | 7.5 | 2.14 | 42.3 | 12.09 |
| 1983 | 21.9 | 6.26 | 12.5 | 3.57 | 7.5 | 2.14 | 40.2 | 11.96 |
| 1985 | 22.2 | 6.35 | 13.1 | 3.75 | 7.5 | 2.14 | 42.8 | 12.24 |
| 2005* | 21.3 | 9.39 | 7.8 | 3.42 | 4.5 | 1.98 | 33.6 | 14.79 |

* 本次遥感解译成果

4 中低产田复合分类的实现

4.1 中低产田划分标准、类型及其影响因子的确定

4.1.1 中低产田划分标准

中低产田的概念,主要基于土壤的障碍因素和改造措施两方面来认识。从土壤障碍因素的角度讲,国内多数学者认为,中低产田是指那些环境条件不良、综合农业技术措施不高、农作物全部环境因素配合不相协调、产量水平低的耕地^[7]。

根据《全国中低产田类型与改良技术规范》(NY/T310-1996)确定的划分标准见表 3。

4.1.2 中低产田的类型

根据主导障碍因素,将研究区中低产田分为 5

个类型:盐渍型、贫薄型、风沙型、缺水型和其他型。

4.1.3 中低产田影响因子的分析与确定

中低产田分区指标的选取,必须满足全面性、概括性和真实性的要求^[8]。以高中低产田划分标准为依据,确定的影响因子为耕地类型、土壤盐渍化程度、土壤肥力指标、土壤灌淤熟化程度产量指标、灌排水保证程度、沟渠田林路综合治理及灌溉设施水平等。其他判读标准,包括春灌前地下水位埋深及矿化度等作为参考因子。

4.2 中低产田分类的实现

本次研究收集整理了研究区的基础地理图、灌排系统图、盐渍化分布图、土壤图、有机质含量图、不同时期的中低产田分布图、历史和本次取样分析的

表 3 高中低产田划分标准

Table 3 The classification standard of high, medium, low yield crop lands

| 项目 | 指标 | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-------|
| | 高产田 | 中产田 | 低产田 | |
| 总产量 / (kg/hm ²) | 11250—9000 | 9000—7500 | <7500 | |
| 小麦产量 / (kg/hm ²) | >6000 | 6000—3750 | <3750 | |
| 沟渠田林路综合治理 | 彻底 | 不彻底 | 未治理 | |
| 灌淤熟化程度 / cm | >60 | 60—40 | <40 | |
| 灌溉设施水平 | 齐全 | 一般 | 差 | |
| 灌水保证程度 | 好 | 一般 | 差 | |
| 排水保证程度 | 好 | 一般 | 差 | |
| 地下水矿化度 / (g/l) | <2.0 | 2.0—3.0 | >3.0 | |
| 土壤肥力指标 | 有机质 / (g/kg) | >15.0 | 10.0—15.0 | <10.0 |
| | 全氮含量 / (g/kg) | >0.9 | 0.7—0.9 | <0.7 |
| | 速效磷含量 / (mg/kg) | >15.0 | 10.0—15.0 | <10.0 |
| 土壤盐渍化 | 非 | 轻 | 中、重 | |
| 耕地等级 | 3 4 | 4 5 6 7 | 7 8 9 10 | |

土壤盐分、作物产量的农业调查资料、地下水位、水质等图件和调查数据,进行数字矢量化后,形成了必要的多个专题图层。

4.2.1 耕地专题信息的提取与引入

以 SPOT5 卫星 7—9 月份的遥感数据作为主要信息源,遥感图像处理软件为 GEO Image 等;采用《全国土地分类(过渡期间适用)》系统;以 GPS 技术实地定位建立解译标志;以目视判读为主,野外调查为辅的方法提取耕地信息并填写地类属性;形成专题成果并在 ARCGIS 软件中统计和成图。

工作分 5 个步骤完成:(1)屏幕解译勾绘面状图斑;(2)屏幕解译勾绘大于 15m 并小于 50m 的线状地物,同时在遥感影像上量测线状地物宽度;(3)图斑中小于 15m 的线状地物的面积采用样方实测折算系数的方法求取后扣除;(4)实地校核解译初步成果并修改完善;(5)成果图件数据汇总统计。

研究区经遥感提取并核实的耕地总面积为 33.8 万 hm²。数字化耕地分布图转化进入 GIS 平台,成为中低产田分区分类的主要基础图层。

4.2.2 耕地土壤盐渍化的提取与引入

土壤盐渍化是形成青铜峡灌区中低产田最主要的障碍性因子。采用遥感解译成果作为专题图层,以矢量化格式引入。

4.2.3 土壤肥力指标

肥力指标是灌区贫瘠型中低产田的主要判读指

标与障碍性因子,采用 2005 年 4 月采样化验资料,结合土壤有机质含量分布图确定。

4.2.4 土壤灌淤熟化程度

灌区的主要耕种土壤为灌淤土。灌淤熟化土层厚度可以作为评价耕地地力的一项重要指标。一般来说,高产田熟化土层厚度应大于 60cm,中产田在 60—40cm 之间,低产田小于 40cm。判读以 1985 年宁夏土壤图中的资料及耕地所处的灌排系统与具体位置综合确定。

4.2.5 作物产量指标

本次产量指标的标准以小麦单产为标准。其他农作物产量及套种产量均换算成小麦单产产量进行评价。产量资料来源于 2003—2005 年自治区农业调查获得的平均产量。调查样地进行 GPS 定位后输入图层,每个点位代表该区域的产量。

4.2.6 灌排水保证程度

主要判读依据为耕地所处的灌排系统及其位置、沟渠清淤整治情况等。主要方法为将影像图及灌排系统图叠加,进行直观判读并结合专家校验。灌水保证程度主要判定耕地的缺水情况,灌水保证程度差的耕地一般属缺水型中低产田;排水保证程度差的耕地一般属低洼盐碱型耕地。

4.2.7 沟渠田林路综合治理及灌溉设施水平

主要根据影像图反映出来的条田整治程度、沟渠林路的配套程度及农业综合开发情况等作出评价。

4.2.8 多源信息复合分类

应用 ARCGIS 软件将以上各类图层叠加,以叠加后的最小图斑为评价单元,在 GIS 支持下,按照高

中低产田划分标准,采用统一的流程(图 1)和“综合分析、主导因子判定”的确定方法^[9],从空间特性和属性两方面进行室内判读。

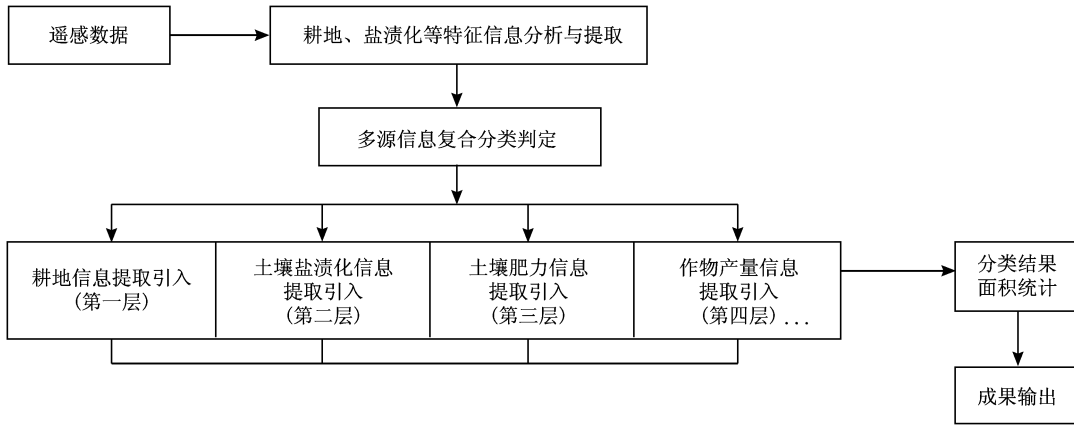


图 1 中低产田复合分类流程图

Fig 1 Flow chart of compound classification of medium & low yield croplands

高中低产田判读结果: 研究区耕地毛面积为 33.8 万 hm^2 。其中, 高产田面积 9.0 万 hm^2 , 占灌区耕地总面积的 26.7%; 中产田面积 15.4 万 hm^2 , 占耕地总面积的 45.6%; 低产田面积 9.4 万 hm^2 , 占总面积的 27.8%。分布状况见图 2 所示。

4.3 成果精度检验与分析

解译工作结束后, 采用野外实地验证方法, 对成果进行了总体精度评定。实际选择了 23 个片区和 31 个农业调查监测点, 共约 6% 的分类图斑, 对比分类结果与地面对应区域实际类型的一致性, 结果误差为 8.6%。其中, 总耕地面积成果精度为 96.6%, 土壤盐渍化 93.0%, 中低产田成果总精度达到了大于 90% 的预期指标。

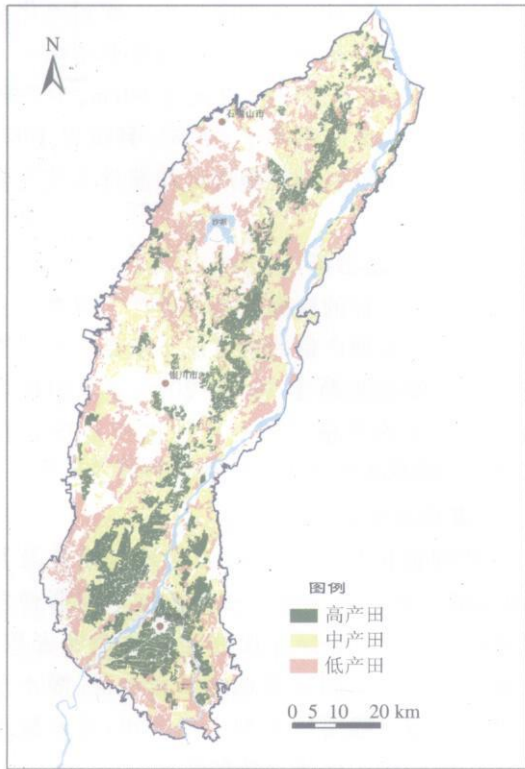


图 2 银川平原中低产田分布图

Fig 2 Distribution of high, medium and low yield croplands in YCP

5 结论与讨论

(1) 本文的研究中, 主要采用遥感解译方法提取银川平原土壤盐渍化的分类与分布信息; 在此基础上, 依据中低产田的分类标准, 将土壤肥力、作物产量、灌排水指标等因子转化成数字化专题图层, 采用多源信息复合分类的方法, 通过“综合分析, 主导因子判定”实现了 GIS 辅助下的中低产田分类。研究表明, 方法是有效的。这种方法, 弥补了以往主要依据单因子或人为划分中低产田方法的不足, 为在农业综合开发的中低产田调查和监测中应用 3S 技术做出了有益的探索。

(2) 研究表明, 自 1985 年以来, 引黄灌区土壤盐渍化总体减轻。到 2005 年, 平原土壤盐渍化面积降到历史最低水平, 仅占耕地的 33.6%。气候条件、地下水水位的上升和地下水含盐是土壤盐渍化的关键因素。概括而言, 银川平原土壤盐渍

化成因主要有严酷的干旱条件、不合理的灌溉模式, 以及较低的排水效能、不合理的土地利用和农业活动等。

(3) 银川平原共有中低产田 24.8 万 hm^2 , 占耕地总量的 73.4%, 其中, 又以盐渍型为主要类型, 改造和开发的潜力很大。

参考文献 (References)

- [1] Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P et al. China Salt Affected Soil [M]. Beijing: Science Press, 1995 [王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培等. 中国盐渍土 [M]. 北京: 科学出版社, 1995.]
- [2] Sha Z Y, Bian F L. The 3S Application in Agriculture and Precision Agricultural Engineering [J]. Communication of Survey and Mapping, 2003, 6(1): 29-31. [沙宗尧, 边馥苓. “3S”技术的农业应用与精细农业工程 [J]. 测绘通报, 2003, 6(1): 29-31.]
- [3] Qiao Y L. Study on Remote Sensing Classification Method of Classing High Medium and Low Yield Croplands and Their Forming Factors in the Loess Plateau [J]. Journal of Remote Sensing, 2002, 6(1): 70-74 [乔玉良. 黄土地区高中低产农田成因类型及遥感分类方法研究 [J]. 遥感学报, 2002, 6(1): 70-74.]
- [4] Guan Y X, Liu G H, Liu Q S et al. The Study of Salt affected Soil in the Yellow River Delta Based on Remote Sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(1): 46-52 [关元秀, 刘高焕, 刘庆生等. 黄河三角洲盐碱地遥感调查研究 [J]. 遥感学报, 2001, 5(1): 46-52.]
- [5] Wang J Z, Shen J Z, Wu Y D et al. Ningxia Soil [M]. Yinchuan: Ningxia People Press, 1990 [王吉智, 沈家智, 吴以德等. 宁夏土壤 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1990.]
- [6] Fu Q H, Ni S X, Li K L. Methods of Soil Salinization Monitoring by Remote Sensing [J]. Study on Agricultural Machinery, 2005, 1: 110-112 [扶卿华, 倪绍祥, 李开丽. 土壤盐碱化遥感监测方法 [J]. 农机化研究, 2005, 1: 110-112.]
- [7] Xia J G, Wei C F, Zhu Z Y et al. Study Review on The Reclaim of Medium and Low Yield Croplands in China [J]. China Communication of Agriculture, 2005, 21(4): 212-217 [夏建国, 魏朝富, 朱钟麟等. 中国中低产田土改造研究综述 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(4): 212-217.]
- [8] Zhao X M, Ai L H, Guo X. A Study on The Classification and Reclaim of Medium and Low Yield Croplands by GIS in Jiangxi Province [J]. Journal of Jiangxi Agriculture University, 2003, 25(4): 519-522 [赵小敏, 艾亮辉, 郭熙. 基于 GIS 的江西省中低产田等级评价和改造研究 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(4): 519-522.]
- [9] Dong F, Zhang W, Wu J M et al. The Investigation of Soil Salinization of Croplands and Salt resistant Plant Selection in Irrigated Area of Ningxia [M]. Yinchuan: Ningxia People Press, 2006 [董峰, 张伟, 吴加敏等. 宁夏引黄灌区耕地土壤盐渍化调查与抗盐植物选育 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2006.]