

黄思宇, 陈水森, 李丹, 刘尉, 王重洋, 姜浩. 基于 NDVI 物候特征的华南地区冬种马铃薯遥感提取方法[J]. 热带地理, 2016, 36(6): 976-984.

HUANG Siyu, CHEN Shuisen, LI Dan, LIU Wei, WANG Chongyang, JIANG Hao. Remote Sensing Method Based on Multi-temporal NDVI Phenological Characters for Winter Potato Planting Area in South China[J]. Tropical Geography, 2016, 36(6): 976-984.

基于 NDVI 物候特征的华南地区 冬种马铃薯遥感提取方法

黄思宇^{1,2,3}, 陈水森², 李丹², 刘尉^{1,2,3}, 王重洋^{1,2,3}, 姜浩²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640; 2. a. 广东省地理空间信息技术与应用公共实验室;
b. 广东省遥感与GIS应用重点实验室; c. 广州地理研究所, 广州 510070; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 马铃薯是华南地区的特色冬种农作物, 其地块的“早稻—晚稻—冬种马铃薯”三季种植模式具有特有的植被指数时间序列曲线特征。利用这一特征, 提出一种基于 NDVI 时间序列数据和 SAM 的冬种马铃薯种植面积提取方法。以广东省惠州市稔平半岛为研究区, 冬种马铃薯面积为研究对象, 采用 2011 年 HJ-1 A/B CCD 遥感数据为主要数据, 计算每一景影像的 NDVI 后以时间为坐标轴排列成 NDVI 时间序列数据集, 在此提取冬种马铃薯种植区的 NDVI 时间序列参考曲线, 使用光谱角度匹配 (SAM) 方法, 计算每个像元的 NDVI 时间序列曲线与 NDVI 时间序列参考曲线的光谱夹角值, 根据 Rule 图像的统计参数确定夹角阈值, 达到快速有效地在遥感影像上提取冬种马铃薯对应像元的目的。结果表明: 研究区总体提取精度为 82.70%, 重点种植区域提取精度为 93.75%, 可见基于 NDVI 物候特征的 SAM 方法能够有效提取研究区冬种马铃薯的种植面积。

关键词: 冬种马铃薯; 种植面积; 光谱角度匹配; NDVI 特征曲线; 物候; 遥感

中图分类号: S53; TP7

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2016)06-0976-09

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.002892

马铃薯是广东省的特色冬种农作物, 其种植区域和规模不断扩大推动着南方农业的可持续发展。2007 年广东省惠东县已成为全国马铃薯冬种面积最大、产量最高的县区^[1]。但是, 目前广东省大量的农情信息, 依赖的还是传统的统计汇报或信息员报送, 政府部门所得到的农情信息并不准确, 而且无法提供农作物种植的空间分布状况^[2], 因此农业管理部门对监测冬种作物有迫切需求^[3]。

监测农作物种植信息的前提是确定作物的面积及空间分布。国内外学者通过对 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 的特征值及其物候意义分析, 把 NDVI 应用在物候特征提取、地物覆盖类型识别等方面^[4-5], 这为本文利用 NDVI 物候特征提取农作物面积信息提供理论依据。自上世纪 80 年代

开始, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) 时间序列数据也被广泛用于农作物产量估计和耕地面积提取^[6-10]。随后, Aqua/Terra Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer (MODIS) 传感器发射, 它能够提供更高分辨率和更完善的处理系统^[4,11-15]。然而, 这些低空间分辨率的数据不适用于监测小尺度范围的地区, 特别是华南地区的耕地(田块直径通常 < 1 hm²)。由于具有 30 m 的空间分辨率和 16 d 重访周期的特点, 美国陆地卫星 (Landsat) 系列的 TM、ETM+ 和 OLI 被认为是土地覆盖类型制图的可靠数据^[16-18]。把 Landsat 系列不同传感器的数据相结合, 时间分辨率理论上可以达到 8 d。但是, 在考虑到华南地区多云多雨的气候状况, 加上 2003-05-31 之后 Landsat 7 的数据都是异常的,

收稿日期: 2016-02-24; 修回日期: 2016-04-11

基金项目: 广东省科技计划项目 (2012A020200018、2013B020501006、2016A020210060)

作者简介: 黄思宇 (1990-), 女, 广州人, 硕士研究生, 研究方向为环境遥感, (E-mail) siyu_huang@hotmail.com

通信作者: 陈水森 (1965-), 男, 江西人, 研究员, 博士生导师, 主要从事环境遥感与 GIS 模拟研究, (E-mail) css@gdas.ac.cn。

Landsat 系列的实际时间分辨率可能远 > 16 d。因此, 尽管 Landsat 系列拥有合适的空间分辨率和 16 d 时间分辨率 (理论上) 的特点, 但却不适用于多云多雨地区 (如华南地区) 基于 NDVI 物候特征规律的研究需求。

目前, 中国利用遥感监测的农作物主要为小麦、水稻、玉米、大豆^[2,4,19-20]等大宗作物, 研究区域集中在华北^[2,4,20-23]、华东^[24-25]以及东北^[26], 也有一部分研究区在西北和西南, 并且种植地块多是连片大范围的。然而, 对多云多雨、耕地地块破碎的华南地区冬种农作物遥感监测还鲜有研究。此外, 很多利用时间序列物候特征的土地覆盖制图的研究是借助高时间分辨率传感器的数据, 如 AVHRR 和 MODIS; 或借助中空间分辨率的传感器数据, 如 SPOT 和 Landsat。然而, 这些数据要么空间分辨率太低, 要么时间分辨率太低以致于不适用于华南地区耕地遥感监测。而搭载在中国环境与灾害预报卫星上的 HJ-1 A/B CCD 传感器由于具有 2 d 重访周期的高时间分辨率和 30 m 空间分辨率的特点, 能够为多云多雨且地块破碎的华南地区土地覆盖制图研究提供合适的数据源^[27-29]。鉴于此, 本文提出一种基于 NDVI 时间序列数据和 SAM (Spectral Angle Mapping) 的冬种马铃薯种植面积提取方法, 基于多时相的 HJ-1 A/B CCD 数据, 对华南地区稔平半岛的冬种马铃薯种植区面积进行提取和验证, 以期为进一步准确快速监测多云多雨、地块破碎的华南地区耕地的其他农情信息打下基础。

1 研究区概况

广东省惠东县地处南海之滨, 属亚热带海洋性气候, 全年无霜, 冬季少雨、阳光充足、气候暖和, 是冬种马铃薯的理想之地, 已成为全国冬种面积最大、产量最高的县区^[1]。全县 0.867 万 hm^2 马铃薯基本集中在沿海^[30], 即本研究区稔平半岛 (图 1)。稔平半岛包括稔山镇、铁涌镇、平海镇、巽寮镇和港口镇 5 个镇。根据实地调研情况, 港口镇种植冬种马铃薯的地方极少, 因此本研究区不包括港口镇。

近 10 a 以来, 稔平半岛采用“早稻—晚稻—冬种马铃薯”3 季种植模式, 早稻是清明后 (4 月上旬, 约第 95 d) 抛秧, 7 月底 (约第 206 d) 收割; 晚稻是 8 月上中旬 (约第 214~227 d) 抛秧, 10 月底 (约第 298 d) 收割; 冬种马铃薯一般在 11 月初 (约第 312 d) 至 11 月下旬 (约第 331 d) 播种, 次年 3 月底 (约第 85 d) 前全部完成收割。

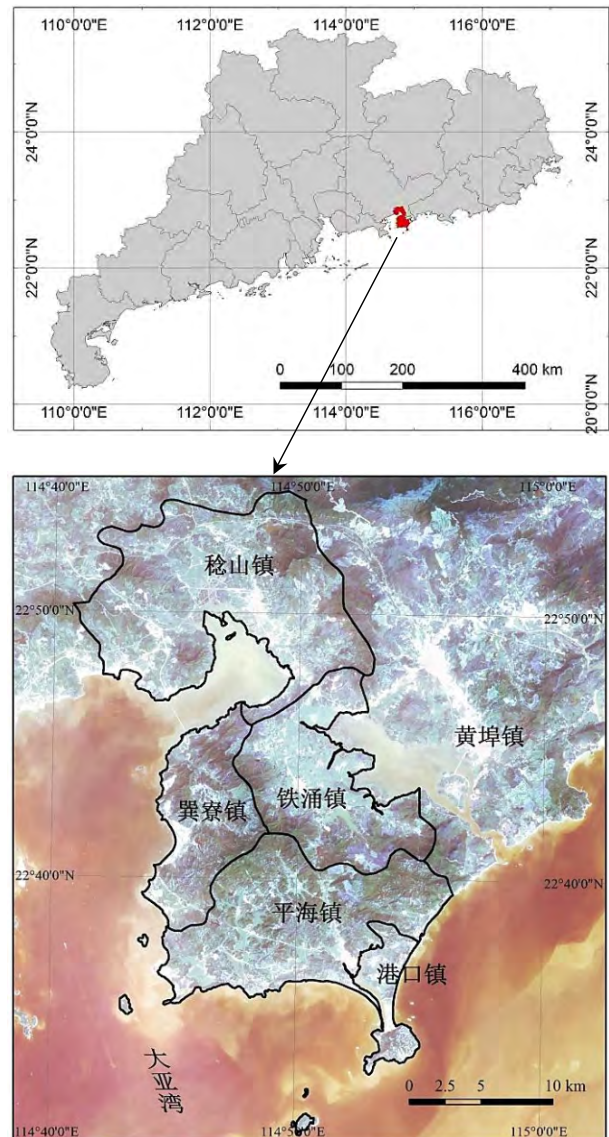


图 1 研究区地理位置示意图及其真彩色合成遥感影像
Fig. 1 Location of the study area and its true-color composited imagery for the Renping Peninsula

2 数据来源和研究方法

2.1 物候依据和 NDVI 数据集

采用的影像数据是由中国资源卫星应用中心 (China Centre For Resources Satellite Data and Application, <http://www.cresda.com/>) 提供的 HJ-1 A/B CCD 传感器数据。为了有效体现研究区全年的种植模式, 选择 2011 年研究区无云或者云少的数据为主要数据, 用 2010 或 2012 年的数据补充缺少数据的月份。使用的 HJ-1 A/B CCD 传感器数据见表 1, 选择影像的物候依据见表 2。

表1 本文使用的HJ-1 A/B CCD传感器数据

Tab.1 The list of HJ-1 A/B CCD images used in this study

编号	传感器	时相	年度天数/d
1	HJ1A-CCD1	2011-01-08	8
2	HJ1A-CCD1	2011-01-31	31
3	HJ1A-CCD1	2011-02-08	39
4	HJ1B-CCD2	2012-03-26	85
5	HJ1A-CCD2	2011-04-11	105
	HJ1A-CCD2	2011-04-19	
6	HJ1B-CCD1	2010-05-24	144
7	HJ1A-CCD2	2012-08-02	214
8	HJ1B-CCD1	2011-09-18	261
9	HJ1B-CCD1	2011-10-16	289
10	HJ1B-CCD1	2010-11-08	312
11	HJ1A-CCD1	2011-11-27	331
12	HJ1B-CCD2	2011-12-10	344
13	HJ1B-CCD2	2011-12-18	352
14	HJ1A-CCD1	2011-12-25	359

其中, 2011年4月的数据均有云层覆盖部分研究区, 但4月是一个表现研究区物候规律的重要时间节点, 使用2011-04-11和2011-04-19两景时间相近、物候情况差异较小的影像中无云部分进行镶嵌, 得到2011年4月研究区的影像数据。因此, 在分析过程中, NDVI时间序列曲线中有14个时间节点。

按照以下步骤在ENVI5.0软件中处理HJ数据: 1) 辐射定标; 2) FLAASH大气校正; 3) 几何校正; 4) 裁剪研究区数据; 5) 镶嵌或拼接有云或不完整的数据(本文中, 仅有2011-04-11和2011-04-19两景数据由于有云, 需要把两景数据进行镶嵌, 得到无云的影像用于代表4月份研究区的种植情况); 6) 按照公式(1), 计算得到各时相NDVI数据; 7) 把NDVI数据以时间为坐标轴排列成NDVI时间序列数据集。

表2 影像选择的物候依据

Tab.2 Images selected based on the phenological rules

编号	日期	时间	物候依据
1	2011-01-08	第8d	研究区马铃薯均未收获, 处于茂盛阶段, NDVI高
2	2011-01-31	第31d	
3	2011-02-08	第39d	研究区马铃薯即将收获, 马铃薯叶逐渐变黄, NDVI稍有下降
4	2012-03-26	第85d	
5	2011-04-11、04-19	约第105d	研究区大部分马铃薯已收获, 早稻均未开始抛秧, 耕地处于闲置状态, NDVI较低
6	2010-05-24	第144d	研究区马铃薯均已收获, 早稻均未开始抛秧, 耕地处于闲置状态, NDVI低
7	2012-08-02	第214d	研究区早稻均已抛秧完毕, 并生长了一段时间, 水稻处于茂盛时期, NDVI高
8	2011-09-18	第261d	研究区早稻均已收获, 并且晚稻均未开始抛秧, 耕地处于闲置状态, NDVI低
9	2011-10-16	第289d	研究区晚稻均已抛秧完毕, 并生长了一段时间, 水稻处于茂盛时期, NDVI高
10	2011-10-16	第289d	研究区晚稻已成熟, 准备收割, NDVI较低
11	2010-11-08	第312d	研究区晚稻均已收获, 马铃薯播种前, 耕地处于闲置状态, NDVI低
12	2011-11-27	第331d	研究区马铃薯均已播种完毕, 马铃薯逐渐进入出苗期生长阶段, NDVI有所升高
13	2011-12-10	第344d	
14	2011-12-18	第352d	马铃薯生长了一段时间, 处于茂盛阶段, NDVI较高
	2011-12-25	第359d	

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

式中: ρ_{NIR} 是近红外波段的反射率; ρ_R 是可见光红光波段的反射率。

2.2 样本点实地测量

为了选择训练样本、制图和精度评价, 获取了130个马铃薯种植区样本点(铁涌镇50个、稔山镇40个、平海镇40个)。使用GPS准确地记录了样本点的经纬度, 并记录了农作物种类及其生长阶段, 这些数据将用于进一步的详细分析。对于每一个样本点, 记录了以下信息: 1) 记录时间, 样本点编号; 2) GPS位置(经纬度); 3) 农作物类型, 作物生长阶段和年度种植模式; 4) 电子相片(图2)。

2.3 年度NDVI时间序列特征参考曲线

从130个马铃薯种植区样本点中分别抽取20%(26个)、40%(52个)和60%(78个)的样本点作为训练样本点, 根据训练样本点经纬度数据, 确定它们在NDVI时间序列数据集上的位置, 使用ENVI5.0的Spectral Library Viewer中的Export功能, 提取所述位置对应的NDVI时间序列曲线, 得到训练样本点的NDVI时间序列曲线, 把训练样本点的NDVI时间序列曲线的平均值作为NDVI时间序列参考曲线。图3是20%(26个)的样本点、40%(52个)的样本点和60%(78个)的样本点作为训练样本点所得的3条NDVI时间序列参考曲线, 对比发



图 2 稔平半岛冬种马铃薯不同时期的生长情况

Fig.2 Pictures of winter potato in different growth stages in the Renping Peninsula

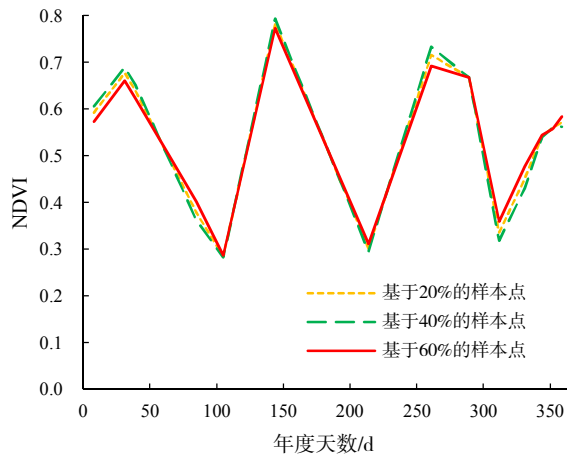


图 3 基于 20% (26 个) 的样本点、40% (52 个) 的样本点和 60% (78 个) 的样本点所得的 NDVI 时间序列参考曲线

Fig.3 NDVI time series reference curves respectively based on 20% sample points, 40% sample point and 60% sample points

现三者之间差异小。可见，从样本点中抽取 20% (26 个) 作为训练样本点足以构建 NDVI 时间序列参考曲线。因此，下文使用的 NDVI 时间序列参考曲线是基于 20% (26 个) 样本点的 NDVI 时间序列曲线。

图 3 表明 NDVI 时间序列参考曲线具有 3 个峰值和 3 个波谷的特征。NDVI 在 4 月中旬 (约第 105 d) 早稻刚播种是一个波谷，随着早稻生长，NDVI 开始上升，到了早稻生长一段时间的 5 月下旬 (约

第 144 d) NDVI 值达到峰值，之后一直下降，直到 7 月底 (约第 214 d) 达到一个低谷。类似的，种植晚稻期间的 8 月初至 10 月底的 NDVI 时间序列曲线特征与种植早稻期间的曲线相似。11 月初至 3 月底是冬种马铃薯的种植期，11 月初 (约第 312 d) 马铃薯未播种或播种几天，种植区以裸土为主，此时 NDVI 处于波谷；之后随着马铃薯的生长 NDVI 逐渐上升，到了 12 月底 (约第 359 d) 至次年 1 月中旬 (约第 10 d)，NDVI 值达到峰值；此后马铃薯逐渐成熟，叶片开始变黄，NDVI 下降，到了 3 月底 (约第 85 d)，研究区所有马铃薯完成收获，NDVI 值达到波谷。可见，NDVI 时间序列参考曲线 (下文称为参考曲线) 能有效反映“早稻—晚稻—冬种马铃薯”三季种植模式。

2.4 基于光谱角度标准差的分类方法

根据光谱角度匹配方法^[31]，通过公式 (2、3) 计算 NDVI 时间序列数据集中每个像元的 NDVI 时间序列曲线与参考曲线的夹角值：

$$\theta_i = \arccos \frac{X_i \cdot Y}{|X_i| \cdot |Y|} \quad (2)$$

$$\theta_i = \arccos \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} \cdot y_j)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n y_j^2}} \quad (3)$$

即：式中： θ_i 为第 i 个像元的 NDVI 时间序列曲线与参考

曲线夹角值; $\theta_i \in [0, \pi/2]$; X_i 为第 i 个像元的 NDVI 时间序列曲线; Y 是参考曲线; X_{ij} 是第 i 个像元的 NDVI 时间序列曲线的第 j 个向量点; y_j 为参考曲线第 j 个向量点; n 为向量维数。

使用 ENVI5.0 中的 Spectral Angle Mapper Classification 功能, 基于上述方法计算每一个像元 NDVI 时间序列曲线与参考曲线夹角值 θ_i , 输出的结果是一个 Rule 图像 (即光谱夹角值图像)。Rule 图像中的像元值是像元的 NDVI 时间序列曲线与参考曲线之间夹角的余弦值 θ_i 。像元的颜色越深夹角越小, 属于目标地物的可能性越大。通过确定 Rule 图像的夹角阈值, 把 Rule 图像中第 i 个像元的夹角值 θ_i 与阈值比较, 如果夹角值 θ_i 小于阈值, 则把该第 i 个像元归为目标地物, 从而达到快速有效提取冬种马铃薯种植面积的目的。

3 结果分析

3.1 提取结果

采用上述方法输出 Rule 图像 (图 4), 把 Rule

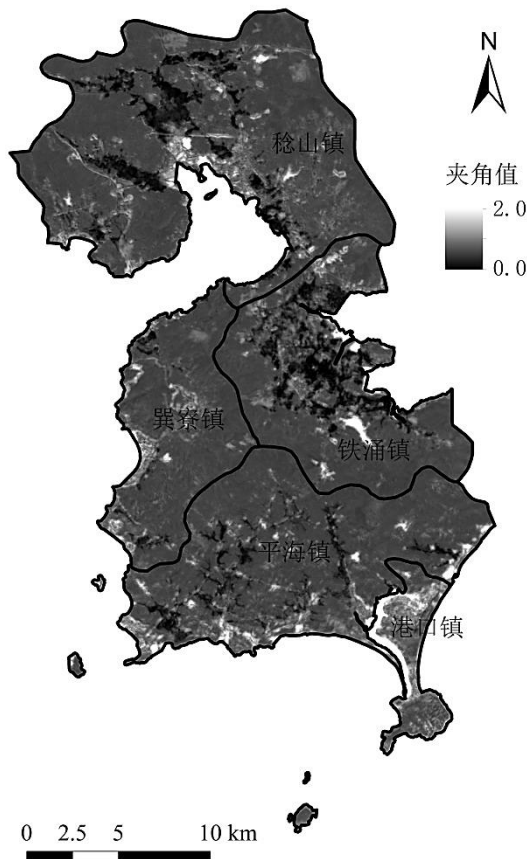


图 4 光谱夹角值图像
Fig.4 Rule image of SAM

图像的 2 倍标准差、2.5 倍标准差和 3 倍标准差分别作为阈值提取研究区冬种马铃薯种植区。对比分析后发现 2.5 倍标准差作为阈值所提取的结果 (图 5) 与实际的种植情况最吻合。

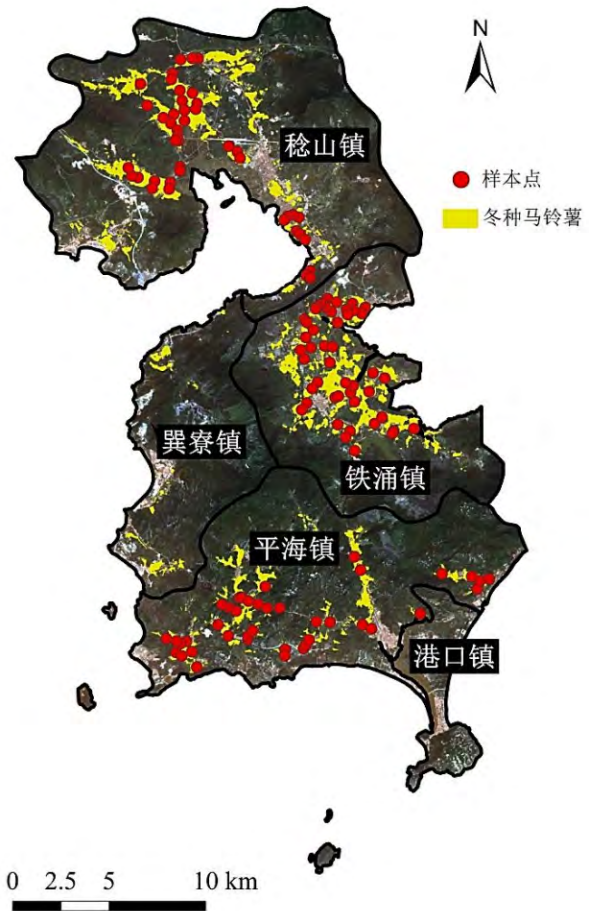


图 5 冬种马铃薯种植面积提取结果与样本点空间分布情况
Fig.5 Extraction result, spatial distribution of winter potato and ground-truth sample points

3.2 基于样本点的精度分析

在研究区获取 130 个实地测量的马铃薯样本点, 其中 20% (26 个) 样本点作为训练样本点用以确定 NDVI 时间序列参考曲线, 其余 80% (104 个) 用以评价冬种马铃薯种植区的提取精度 (表 3)。总体而言, 104 个样本点中有 86 个被正确识别, 提取精度为 82.7%; 稔山镇、铁涌镇和平海镇的提取精度依次递减。

3.3 基于农业统计数据精度分析

将提取结果与 2011 年的马铃薯种植面积数据 (来源于 2011 年惠东县统计资料) 进行比较 (表 4)。提取结果中, 稔山镇冬种马铃薯种植面积最大

表 3 基于冬种马铃薯种植区样本点的提取精度评价

Tab.3 Accuracy assessment based on ground-truth sample points

地点	样本点/个	正确提取点/个	提取精度/%
稔山镇	32	30	93.75
铁涌镇	40	33	82.50
平海镇	32	23	71.88
总体	104	86	82.70

表 4 基于统计数据的提取精度评价

Tab.4 Accuracy assessment based on statistics data

地点	统计数据面积/hm ²	提取结果面积/hm ²	相对误差/%
稔山镇	1 800.9	1 730.79	-3.89
铁涌镇	1 667.5	1 491.48	-10.56
平海镇	1 267.3	830.79	-34.44
巽寮镇	266.8	140.04	-47.51
总体	5 035.85	4 193.10	-16.74

(1 730.79 hm²), 其次是铁涌镇 (1 491.48 hm²) 和平海镇 (830.79 hm²), 总体次序与统计数据一致。稔平半岛总体的相对误差为-16.74%。稔山镇和铁涌镇冬种马铃薯面积之和为 3 222.27 hm², 占稔平半岛冬种马铃薯面积的 76.85%, 它们的相对误差分别是-3.89%和-10.56%。稔山镇、铁涌镇、平海镇和巽寮镇的相对误差依次递增。

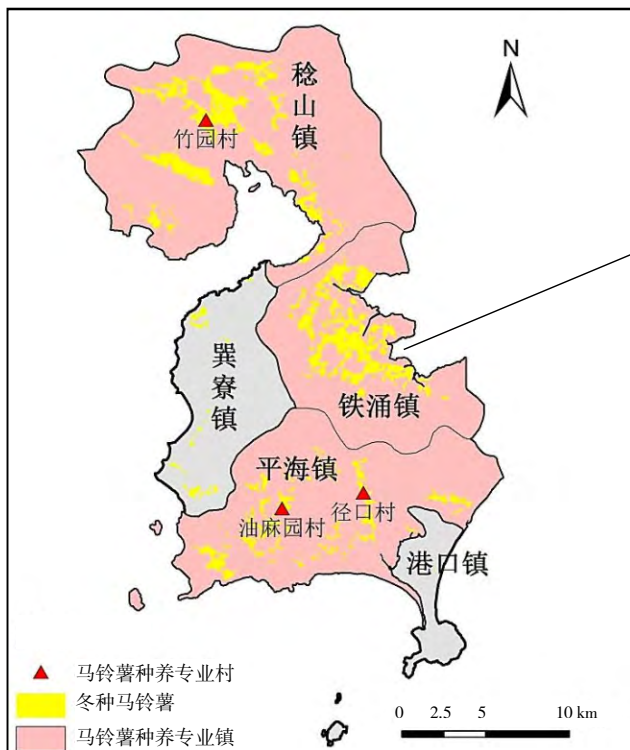


图 6 稔平半岛冬种马铃薯种植区面积提取结果与马铃薯专业镇及专业村分布情况

Fig.6 Extraction result of the Renping Peninsula and spatial distribution of "Specialized Town/Village" of potato planting

3.4 基于马铃薯分类空间格局的分析

2009年惠州市农业局评选惠州市特色农产品种养“专业镇”和“专业村”，全市被评为马铃薯种植专业镇有且仅有稔山镇、铁涌镇和平海镇，被评为马铃薯种植专业村有且仅有稔山镇竹园村、平海镇径口村和平海镇的油麻园村。此外，笔者详细调研了铁涌镇12个马铃薯种植网点的情况。结合“专业镇(村)”和调研所收集的信息，分别在图6、7中标记了马铃薯种养“专业镇”“专业村”和铁涌镇马铃薯种植网点的空间分布情况。从图中可见，提取结果中集中连片的马铃薯种植区与马铃薯“专业镇(村)”的位置一致；铁涌镇的提取结果与该镇马铃薯种植网点的空间分布情况也一致。这说明本方法具有区域应用价值。

3.5 误差原因分析

考虑到统计数据来源于基层民众——统计汇报员逐层上报获得,与实际情况相比可能有一定误差,因此本文把实地测量的样本点作为主要的精度验证依据,以统计数据 and 调研所得的空间分布情况为精度验证的辅助数据。产生误差的原因有以下几点:1) 农作物面积提取精度取决于每个像元的 NDVI 时间序列曲线与参考曲线的夹角,如果部分马铃薯长势

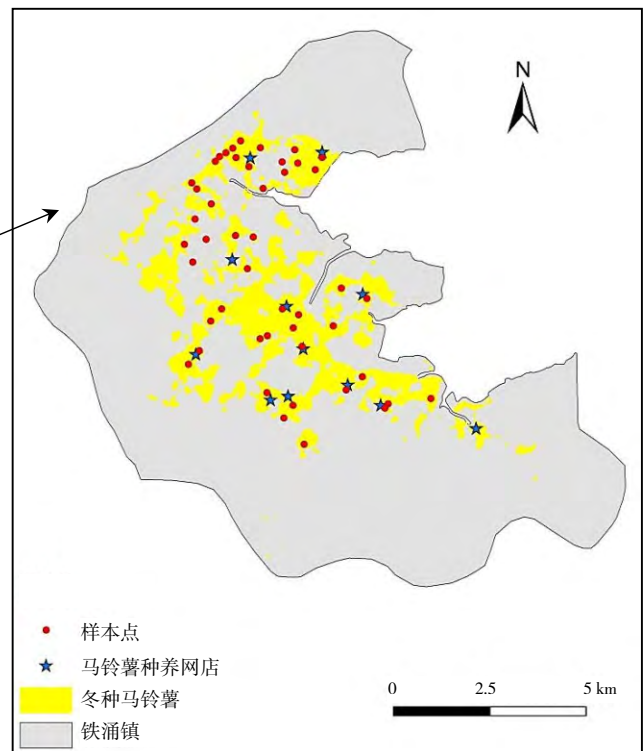


图 7 铁涌镇冬种马铃薯种植区面积提取结果与马铃薯样本点及网点

Fig.7 Extraction result of Tiechong town and spatial distribution of 50 ground-truth sample points and 12 potato planting sites in Tiechong Town

较差,其 NDVI 时间序列曲线的“三波峰三波谷”的特征不明显,与特征参考曲线相似度降低,导致无法识别,分类精度降低;

2) 各镇、各村种植的马铃薯品种不同,物候期(进度)也不一致,加上各镇为了避免马铃薯集中上市而导致的马铃薯滞销,当地种植人员有意识地错开马铃薯的播种和收获时间,当仅用一条平均 NDVI 时间序列曲线作为参考曲线进行 SAM 分类时,便会造成误差;

3) 华南地区马铃薯种植区域地块破碎,在实地调查中看到一些种植区的田块尺寸小于 HJ-1 A/B CCD 的空间分辨率(30 m),因此可能因为混合像元效应会导致识别精度低。

4 结论与讨论

中国利用遥感监测的农作物主要是小麦、水稻等大宗作物,研究区域种植地块多是连片大范围的。但是关于多云多雨、地块破碎的华南地区耕地的遥感监测研究极少。基于研究区“早稻—晚稻—冬种马铃薯”三季种植模式具有其特有的植被指数时间序列曲线特征,本文提出一种基于 NDVI 时间序列数据和 SAM 的冬种马铃薯种植面积提取方法,使用 2011 年的 HJ-1 A/B CCD 多时相遥感数据,对华南地区稔平半岛的冬种马铃薯种植区面积进行提取和验证。主要结论如下:

1) NDVI 时间序列参考曲线具有 3 个峰值和 3 个波谷的特征,能有效反映冬种马铃薯种植区域“早稻—晚稻—冬种马铃薯”的三季种植模式。

2) 基于 NDVI 时间序列数据和 SAM 的冬种马铃薯种植面积提取方法,使用 20% 的样本点作为训练样本点足以构建参考曲线,以 Rule 图像标准差的 2.5 倍数作为阈值提取冬种马铃薯的种植面积,总体精度达 82.70%,重点区域精度可达 93.75%,该方法能够满足小尺度下,在多云多雨地区进行农作物面积提取的应用需求,一定程度上弥补了华南地区农作物遥感监测的不足。

3) HJ-1 A/B CCD 具有 2 d 重访周期的高时间分辨率和 30 m 的空间分辨率的特点,是多云多雨、地块破碎的华南地区地学研究和生态环境监测重要的数据资源,本研究开拓了国产卫星数据的应用领域。

本文仅选取种植结构相对简单的小区域进行监测,基于 NDVI 物候特征和 SAM 的农作物面积提取方法需要应用到面积更大、种植结构更复杂的区域和其他物候特征的农作物面积监测中,以验证其在

其他尺度、农作物类型和物候条件下的适用性和准确性。由于耕地地块破碎,可能会因为混合像元效应导致识别精度低,需要在后续的研究应用中进一步降低混合像元的影响。

参考文献:

- [1] 陈洪,曹先维,全锋. 惠东县马铃薯产业现状及发展对策[J]. 中国马铃薯, 2008(6): 380-381.
- [2] 马丽,顾晓鹤,徐新刚,黄文江,贾建华. 地块数据支持下的玉米种植面积遥感测量方法[J]. 农业工程学报, 2009(8): 147-151.
- [3] 刘晓津,李一聪,曹静,彭晓江,王春玲,安康,邱道寿,李康活. 广东冬种马铃薯适宜播期研究[J]. 广东农业科学, 2008(S1): 78-79.
- [4] 王学,李秀彬,谈明洪,辛良杰. 华北平原 2001—2011 年冬小麦播种面积变化遥感监测[J]. 农业工程学报, 2015(8): 190-199.
- [5] REED B C, BROWN J F, VANDERZEE D, LOVELAND T R, MERCHANT J W, OHLEN D O. Measuring phenological variability from satellite imagery[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1994, 5(5): 703-714.
- [6] KASTENS J H, KASTENS T L, KASTENS D L A, PRICE K P, MARTINKO E A, LEE R Y. Image masking for crop yield forecasting using AVHRR NDVI time series imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 99(3): 341-356.
- [7] RASMUSSEN M S. Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1992, 13(13): 3431-3442.
- [8] MASELLI F, REMBOLD F. Analysis of GAC NDVI Data for Cropland Identification and Yield Forecasting in Mediterranean African Countries[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2001, 67(5): 593-602.
- [9] CORRESPONDING C F, BOGNÁR P, LICHTENBERGER J, HAMAR D, TARCSAIT G, TIMÁR G, MOLNÁR G, PÁSZTOR S, STEINBACH P, SZÉKELY B, FERENCZ O E, FERENCZ-ÁRKOS I. Crop yield estimation by satellite remote sensing[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(20): 4113-4149.
- [10] 李郁竹,曾燕. 应用 NOAA/AVHRR 数据测算局地水稻种植面积方法研究[J]. 遥感学报, 1998(2): 125-130.
- [11] 刘闯,葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000(3): 45-48.
- [12] HMIMINA G, DUFRÈNE E, PONTAILLER J Y, DELPIERRE N, AUBINET M, CAQUET B, GRANDCOURT A D, BURBAN B, FLECHARD C and GRANIER A. Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 132(6): 145-158.
- [13] 张明伟,周清波,陈仲新,周勇,刘佳,宫攀. 基于 MODIS 时序数据分析的作物识别方法[J]. 中国农业资源与区划, 2008(1): 31-35.
- [14] 李乐,张锦水,朱文泉,胡潭高,侯东. 地块支持下 MODIS-NDVI 时间序列冬小麦种植面积测量研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011(5): 1379-1383.
- [15] 王松林,张佳华,刘学锋. 基于 MODIS 多时相的江苏启东市油菜种

- 植面积提取[J]. 遥感技术与应用, 2015 (5): 946-951.
- [16] WULDER M A, WHITE J C, GOWARD S N, MASEK J G, IRONS J R, HEROLD M, COHEN W B, LOVELAND T R, WOODCOCK C E. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112 (3): 955-969.
- [17] SENF C, LEIT O P J, PFLUGMACHER D, LINDEN S V D, HOSTERT P. Mapping land cover in complex Mediterranean landscapes using Landsat: Improved classification accuracies from integrating multi-seasonal and synthetic imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 156: 527-536.
- [18] AUTHOR T K G C, HUETTMMANN F, EHLERS M. Review article: Thirty years of analysing and modelling avian habitat relationships using satellite imagery data: a review[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26 (12): 2631-2656.
- [19] 黄青, 吴文斌, 邓辉, 张莉. 2009年江苏省冬小麦和水稻种植面积信息遥感提取及长势监测[J]. *江苏农业科学*, 2010 (6): 508-511.
- [20] 潘耀忠, 李乐, 张锦水, 梁顺林, 侯东. 基于典型物候特征的 MODIS-EVI时间序列数据农作物种植面积提取方法——小区域冬小麦实验研究[J]. *遥感学报*, 2011 (3): 578-594.
- [21] 刘佳, 王利民, 杨福刚, 杨玲波, 王小龙. 基于HJ时间序列数据的农作物种植面积估算[J]. *农业工程学报*, 2015 (3): 199-206.
- [22] 潘学鹏, 李改欣, 刘峰贵, 吴喜芳, 近藤昭彦, 沈彦俊. 华北平原冬小麦面积遥感提取及时空变化研究[J]. *中国生态农业学报*, 2015 (4): 497-505.
- [23] 张焕雪, 李强子, 文宁, 杜鑫, 陶青山, 田亦陈. 农作物种植面积遥感估算的影响因素研究[J]. *国土资源遥感*, 2015 (4): 54-61.
- [24] 何月, 张小伟, 李仁忠, 樊高峰, 蔡菊珍. 浙江省作物多熟种植制度遥感反演及其时空格局[J]. *生态学杂志*, 2011 (12): 2827-2835.
- [25] 闫慧敏, 黄河清, 肖向明, 姜鲁光. 鄱阳湖农业区多熟种植时空格局特征遥感分析[J]. *生态学报*, 2008 (9): 4517-4523.
- [26] 马丽, 徐新刚, 刘良云, 黄文江, 贾建华, 程一沛. 基于多时相NDVI及特征波段的作物分类研究[J]. *遥感技术与应用*, 2008 (5): 520-524.
- [27] YUAN L, ZHANG J, ZHAO J, HUANG L. Mapping of powdery mildew using multi-spectral HJ-CCD image in Beijing suburban area[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124 (21): 4734-4738.
- [28] PAN Z, HUANG J, ZHOU Q, WANG L, CHENG Y, ZHANG H, BLACKBURN G A, YAN J, LIU J. Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015, 34(1): 188-197.
- [29] CHEN B, WU Z, WANG J, DONG J, GUAN L, CHEN J, YANG K, XIE G. Spatio-temporal prediction of leaf area index of rubber plantation using HJ-1A/1B CCD images and recurrent neural network[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, 102 (11): 148-160.
- [30] 陈洪, 曹先维, 全锋. 惠东县马铃薯产业现状及发展对策[J]. *中国马铃薯*, 2008 (6): 380-381.
- [31] KRUSE F A, LEFKOFF A B, BOARDMAN J W, HEIDEBRECHT K B, SHAPIRO A T, BARLOON P J, GOETZ A F H. The spectral image processing system (SIPS) -interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 44 (2/3): 145-163.

Remote Sensing Method Based on Multi-temporal NDVI Phenological Characters for Winter Potato Planting Area in South China

HUANG Siyu^{1,2,3}, CHEN Shuisen², LI Dan², LIU Wei^{1,2,3}, WANG Chongyang^{1,2,3}, JIANG Hao²

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2. a. *Guangdong Open Laboratory of Geospatial Information Technology and Application*; b. *Guangdong Key Laboratory of Remote Sensing and Geographical Information System Technology Application*; c. *Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China*; 3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Vegetation index of each pixel in remote sensing image reflects the growth state of vegetation covered by pixels. If the vegetation index images obtained from all remote-sensing images in one year in the same area are lined up, the dynamic change of vegetation index time series can mirror the phenological rules in this area. Potato is a special kind of winter-planted crop in South China, and relevant parcels show peculiar curve characters of vegetation index time series in planting pattern—"early season rice-late season rice-winter-planted potato". Taking Renping Peninsula in Huizhou City, Guangdong Province, as research area and the planting area of winter potato as research object, the paper makes use of those characters and employs HJ image data in 2011 as the primary data, with totaling 14 scenes' HJ-1 A/B CCD remote sensing image data being used. After calculating the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of images in each scene, NDVI time serials data set is obtained. Corresponding NDVI time serials curve of 26 training sample points is achieved for averaging, thus getting NDVI time serials character reference curve. Moreover, SAM (Spectral Angle Mapping) is used to calculate the value of spectral angle between NDVI time series curve of each pixel in the NDVI time serial data set and NDVI time series character reference curve, obtaining the image of spectral angle value. The pixel value in this image is the value of spectral angle between NDVI time serials curve of each pixel in the NDVI time serial data set and character reference curve. The 2-time standard deviation, 2.5-time standard deviation and 3-time standard deviation of the image of spectral angle value are taken as the threshold value. The spectral angle value of each pixel in the image of spectral angle value and the threshold value are compared, and if the spectral angle value is less than the threshold value, this pixel is classified as a target object, so as to separate the target pixel from pixels covered by other types of land on the remote sensing images, for the purpose of rapidly and effectively extracting the planting area of winter potato. According to the comparative analysis, it is found that the result extracted by taking 2.5-time standard deviation as the threshold value fits best the actual planting conditions, thereby serving as the final extraction result. Research findings show that the overall extraction accuracy is 82.70% in the research area and 93.75% in key planting areas. This method, as one of the typical applications of homemade optical satellite to agriculture in South China, can extract the winter potato area effectively and will lay a firm foundation for accurately and rapidly monitoring other agricultural information (such as winter-fallow cultivation) in South China where there is much cloud, rain and broken land.

Key words: winter potato; planting area; SAM; NDVI time series curves; phenology; remote sensing