

基于时间序列影像的中观尺度农作物长势监测采样方法

朱寿东¹, 刘慧平^{1*}, 冯微微¹, 白穆², 薛晓娟¹

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 国家测绘局陕西基础地理信息中心, 陕西 710054)

摘要: 地面采样调查是遥感应用中一个重要的手段。采样点的空间位置和数量决定了监测点的代表性, 并受到监测成本限制。高效和经济地设计采样方案是推进地面采样数据更好地服务于遥感应用的重要问题。该文以遥感在农业方面的应用为切入点, 在对现有农作物监测现状研究的基础上, 通过对时间序列的遥感影像进行农作物长势分布的分析, 运用概率比例规模抽样 (PPS) 的思想提取采样点。通过对 2007 的农作物长势分布区进行农情参数监测点采样, 并与 2009 年的农作物长势分布对比, 发现采样点达到较好的一致性。基本满足中观尺度农作物长势监测中采样点具有代表性、典型性和稳定性的要求。

关键词: 遥感, 采样, 监测, 植被指数, 中观尺度, 分位数分类, 概率比例规模抽样

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.02.023

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-02-0127-06

朱寿东, 刘慧平, 冯微微, 等. 基于时间序列影像的中观尺度农作物长势监测采样方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 127-133.

Zhu Shoudong, Liu Huiping, Feng Huihui, et al. Sampling method of meso-scale crop growth information monitoring based on multi-temporal remote sensing images[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 127-133. (in Chinese with English abstract)

0 引言

遥感已经被广泛应用于气象、农林、海洋、交通等国民经济的各个领域。遥感数据在获取过程中会产生误差, 因此非遥感的辅助数据在遥感应用, 特别是微观领域和高精度监测中就很有价值。辅助数据不仅用于对遥感数据的补充与纠正, 而且用于对遥感最终结果的分析与精度评价。野外站点采集和调查是辅助数据的主要来源之一。

在地面监测点使用传感器采集所需数据是遥感监测的重要手段。吴炳方^[1]等进行的多种尺度下农作物长势综合遥感监测的试验中利用地面采样系统获得不同样地、不同时相的采样结果, 并将采样结果与遥感信息进行对照, 从而获得农作物长势的准确信息。孙凯等^[2]指出建设地面墒情 (旱情) 监测系统, 合理布设监测站点, 及时准确系统地监测旱情变化, 对指导抗旱有重要意义。李开丽等^[3]在植被叶面积指数遥感监测中利用了 23 组地面监测数据分别和不同的植被指数建立关系, 建立了反演叶面积指数的较高精度的模型。

许多调查研究表明, 地面信息的空间变异性在很大程度上受到采样方式的影响。因此, 在满足一定精度的前提下, 确定合理的采样点个数和选择合理的采样点分布方式非常重要。根据杨诗秀^[4]等的试验结果, 在田间 (面积从 0.0067~46.67 km²) 确定合理的采样数目时, 一般可取置信水平 $P_r=90\% \sim 95\%$, 估值误差 10%~15%。并指出在没有当地资料的田间应用时, 一般应先做田间试验确定其变差系数, 或参考他人已有的资料。并给出不同置信水平和估值误差下的不同土壤深度合理采样数目表。李子忠等^[5]应用普通克里格技术确定了采样点的合理数目, 并给出不同置信水平和估值误差下, 平均深度不同的土壤养分合理采样数目表。张淑娟等^[6]利用克里格插值的方法, 对不同的采样数目做了比较, 发现采样位置和数目不同, 最后得到的变异性描述也不同。薛正平等^[7]和陈天恩等^[8]都利用地统计学的半方差函数和克里格方法确定合理的采样点数目。

监测地点采样方式分为以下几个类别^[9]: 1) 基于统计学原理的随机采样; 2) 规则网格采样技术; 3) 嵌套采样; 4) 经验信息辅助采样法, 依据农田信息 (比如土壤分布图, 航空图像, 遥感影像, 气候资料, 农田管理资料, 地形图等), 结合前 3 种采样方法可以制定出合理的采样方案。雷志栋等^[10]采用 4 种采样方法模拟田间土壤含水量的分布, 发现一般情况下二次随机较一次随机布点取样精度高。试验区的范围从 1 333.34 m² 到 100 km² 不等。齐峰等^[11]在环境空间分析中对 6 种采样方法和采样密度进行了对比分析, 发现在层次划分和样本量选择最优的情况下, 分层随机采样的预测精度较高。在不同的监测范围下, 监测点的采样方案各不相同。

收稿日期: 2011-05-20 修订日期: 2011-11-25

基金项目: 国家“863”计划 (2006AA120102); 国家自然科学基金项目 (40671127); 国家科技支撑计划 (2008BAK49B04); 国家 CNGI 专项 (CNGI-09-01-07)

作者简介: 朱寿东 (1982-), 男, 博士生, 主要研究方向为定量遥感应用, 地图匹配。北京 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 100875。Email: seaky2002@gmail.com

*通信作者: 刘慧平 (1963-), 女, 教授, 主要方向为 RS 与 GIS 方法与应用研究。北京 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 100875。

Email: hpliu@bnu.edu.cn

Delcourt^[12-13]根据时间尺度和空间尺度的差异提出了宏观生态研究的 4 个尺度域,即微观尺度域、中观尺度域、宏观尺度域和超级尺度域,其中,中观尺度是 500~10⁴ a 的时间范围和 1~10⁴ km² 的空间范围。目前,国内外大多研究人员只是对采样数据进行直接的统计分析,求出采样个数,而对采样点空间布局的研究还不多见^[4,14-15]。本文的研究范围为 100 km² 的中观尺度区域,通过采样方法对中观尺度农作物长势进行监测采样的研究。

1 研究内容

本文研究方法假设试验区在短时间(2~3 a)内的土地肥力和生长环境相对较稳定,通过采样方法从 2007 年的遥感数据中得到的采样点对 2009 年的监测同样适用。

1.1 农作物长势与农田环境参数的关系

本文以玉米为例研究农作物长势监测采样方案。玉米在沙壤土、壤土、粘土上均可生长,适宜的土壤 pH 值范围较宽,为 5~8,但 6.5~7.0 最适宜,基本属中性,耐盐碱能力不高,因此,在不同的土肥等自然条件下玉米的长势不同。根据吉林农业大学杨志超对不同长势玉米的反射光谱数据(1983-07-07),可知长势好的玉米生物量大、叶面积指数高、在近红外波段反射率高,从而不同长势的玉米在卫星影像上产生明显的色调深浅差异。由于农田环境参数(温度,水分,光照条件等)对农作物长势的影响很显著,因此监测相关的农田环境参数可间接监测玉米长势。

反过来从玉米的生长来看,玉米在各个物候期中的长势可间接反映农田环境参数。借助遥感的手段可分析出玉米的长势。

对于农田环境参数的监测点合理采样数目的要求可参考杨诗秀^[4]、李子忠^[5]等人的研究成果,即合理的采样数目要使监测的置信水平达 $P_f=90\% \sim 95\%$,精度达 85%~90%。空间布局(采样方式)应依据不同的物质条件、计算条件、所需精度、研究目的来确定,使监测点有代表性、典型性和稳定性。其中物质条件指支持试验的财力和人员情况,计算条件指在试验前可用来计算和评价监测对象的变异性的资料(数据)。

1.2 数据来源

本试验目的是在整个生长期中对研究区内的玉米进行长势的连续监测,监测的农田环境参数包括冠层温度,土壤水分,光合有效辐射,叶面积指数。传感器的采样方案要涵盖各种长势类别。据李存军等^[16]对北京及周边地区较大面积农作物的研究,发现北京地区夏玉米的物候期如下:5月下旬至6月中旬——播种,6月下旬至7月下旬——出苗拔节,8月上旬到9月中旬——吐丝灌浆,9月下旬到10月上旬——收获。所以选择 2007 年的 5 幅 Landsat5 TM 遥感影像的成像时间分别是 2007 年 5 月 19 日,2007 年 6 月 4 日,2007 年 9 月 8 日,2007 年 9 月 24 日和 2007 年 10 月 3 日。

1.3 研究方法

研究方法主要包括信息监测点的数量和监测点的空间布局方法。

1.3.1 监测点的数量

在中观尺度内确定采样方案往往简化为一个空间采样的问题,骆知萌等^[17]在 1 871.86 km² 的中观尺度范围进行了森林叶面积指数的研究,监测了叶面积指数,监测点数目是 92 个;李开丽等^[3]在 2 038.7 km² 的中观尺度范围进行了叶面积指数的研究,监测了叶面积指数,监测点数目是 138 个;王纪华等^[18]分别在 3.33、3.52、10.67、100 km² 的多个中观尺度地区内进行了强筋小麦品质遥感监测研究,监测了小麦理化参数(LAI、生物量、叶绿素含量、含水量、氮素含量、株高等)和土壤测试内容(土壤水分、土壤养分)等,监测点数目从 20 到 40 不等。上述研究中的地理范围和监测点数量见表 1 所示。

表 1 中观尺度域研究中的地理范围和监测点数量

Table 1 Relationship between geographic scope and number of Monitoring in meso-scale

序号	地理范围/km ²	监测数目
1	1 871.86	92
2	2 038.7	138
3	3.33	25
4	3.52	20
5	10.67	20
6	100	40

本文由于无法获得全面的土壤特性资料,无法计算变异系数后估计合理的采样点数目,但可以采用经验估计的方法来计算。先通过统计的方法计算出采样个数,然后考虑监测成本(财力和精力)决定最后的采样个数。由前面的描述可知,在中观尺度域的监测试验中监测点的布设相对密集,采样密度值相对较高。假设试验区的地理范围为 x (单位: km²),监测数目为 $f(x)$,根据前面提到的 6 组中观尺度域试验中的地理范围和监测点数目做线性回归分析得 $f(x)=0.23x+17.687, R^2=0.780$ 。当 $x=100$ 时, $f(x)=40.687$ 。再考虑到监测成本,决定监测点数目为 40 个。从杨诗秀等^[4]给出的不同置信水平和估值精度下的不同土壤深度合理采样数目表中可知,单就 10 cm 处土壤含水量而言,该数目可满足在土壤变异系数是 0.31 时,置信水平达 95%,估值误差小于 10%,满足应用的需求。

1.3.2 监测点的空间布局

采样方式一般采用概率抽样的方法来确定,主要包括简单随机抽样,系统抽样(等距抽样或者机械抽样),分层抽样(类型抽样),整群抽样和多阶抽样(分段抽样)^[19]。本文采用分层随机抽样的方法,先将总体中的所有单位按照某种特征或标志(植被长势,作物产量等)划分成若干类型或层次,然后分别再在各个类型或层次中采用简单随机抽样或系统抽样的办法抽取子样本,最后将这些子样本合起来构成总体的样本。分层抽样分为按比例分层抽样和不按比例分层抽样。为了避免一些层次在总体中的比重太小,样本量非常少的问题,采用不按比例分层抽样,同时也便于对不同层次的子总体进行专门研究或进行相互比较。抽样中的分层标准如下:

1) 以调查所要分析和研究的主要变量或相关的变量作为分层的标准。

2) 以保证各层内部同质性强、各层之间异质性强、突出总体内在结构的变量作为分层变量。

3) 以那些有明显分层区分的变量作为分层变量。

根据陈进国等^[20]对不同长势的玉米的反射光谱数据的测定结果,不同波段的反射率在 Landsat5 TM 影像中的情况如表 2 所示。由下表可见不同长势玉米地反射率在第 4 波段有最显著地差异,其次是第 3 波段。因此本文选择的分层标准是基于 TM 影像的各种植被指数。

表 2 不同长势玉米在 Landsat5 TM 部分波段中的反射率
Table 2 Reflectivity of grow-well and grow-inferior corns in different bands of Landsat5 TM

	反射率/%			
	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4
长势优	2.1	5.1	2.6	50.6
长势劣	2.95	5.15	3.9	33.87

下面介绍整个布置监测点的流程,详细流程见图 1。

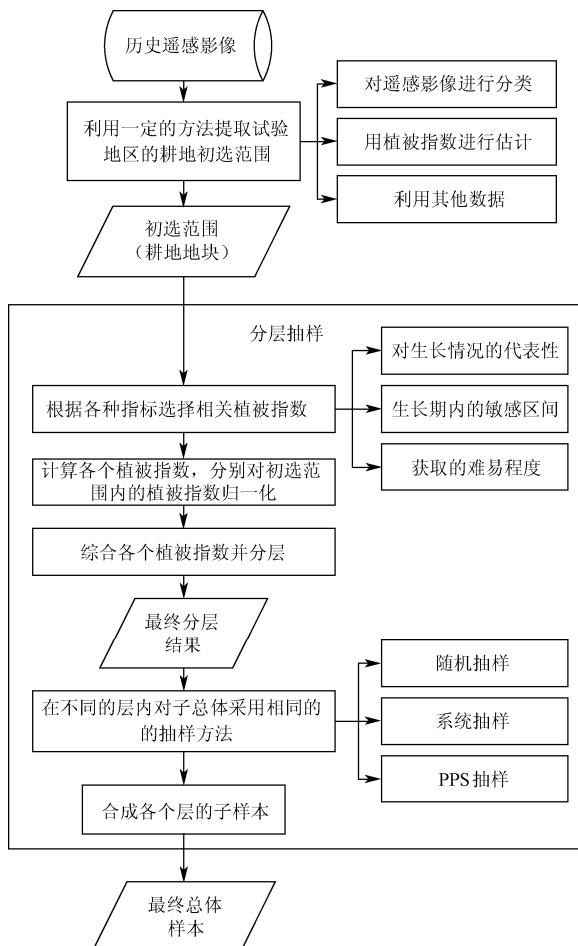


图 1 采样方式基本流程
Fig.1 Basic process of sampling pattern

首先根据历史的遥感影像,利用一定的方法提取试验地区的耕地初选范围(耕地地块)。由于此步骤较简单,后文不再详述。然后按照分层抽样的方法得到最终总体样本。分层抽样的步骤是:1)以不同的植被指数为

指标,分别得到农作物长势的分布;2)综合分层结果;3)在不同层内对子总体进行抽样;4)合成各层子样本。最后得到总体样本。

其中在不同层内对子总体进行抽样时运用了按规模大小成比例的概率抽样(PPS抽样,probability proportionate to size sampling)的思想。它是指按概率比例抽样,属于概率抽样中的一种。PPS抽样的特点是总体中含量大的部分被抽中的概率也大,可以提高样本的代表性。PPS抽样的主要优点是使用了辅助信息,减少抽样误差;主要缺点是对辅助信息要求较高,方差的估计较复杂。

2 举例说明监测点采样方式

根据 2 中对 TM 各波段反射率的分析,结合具体的植被指数分析如下。

2.1 各种植被指数比较分析

RVI: 比值植被指数。研究表明,植被会表现出高于 2 的 RVI,而土壤一般有近于 1 的 RVI。RVI 在植被覆盖度[50%, 100%],即作物生长后期时对植被十分敏感,分辨能力强,与生物量的相关性最好。

NDVI: 归一化植被指数。试验证明,当植被覆盖度由 25%~80%增加时,其 NDVI 值随植物量的增加呈线性迅速增加;当植被覆盖度大于 80%时,其 NDVI 值增加延缓而呈现饱和状态,对植被检验灵敏度下降。也就是说 NDVI 对作物生长中期长势比较敏感,其敏感区间在[25%, 80%]。

DVI: 差值植被指数。试验证明,当植被覆盖度大于 80%时,它对植被的灵敏度下降,所以它适用于植被发育早—中期,或低—中覆盖度的植被监测。可以估计它对植被长势的敏感区间是[15%, 80%]。

只用一幅图像的植被指数来区分玉米的长势显然不具有普适性,只用一种植被指数来区分玉米的长势也不太准确,应该在综合利用时间序列上 3 种植被指数的基础上来区分玉米的长势。在分出的 3 类长势的基础上进行地理位置抽样,这样得到的监测点才具有代表性。

2.2 根据 3 种植被指数划分初选范围内的长势类别

2.2.1 根据 DVI 来区分长势类别

首先分别计算 2007 年 5 幅影像的 DVI,相加得到 2007 年 DVI 总和。然后根据初选范围求出每一个地块内 DVI 的平均值,作为该地块的 DVI 值。

2.2.2 根据 RVI 来区分长势类别

首先分别计算 2007 年 5 幅影像的 RVI,相加得到 2007 年 RVI 总和。然后根据初选范围求出每一个地块内 RVI 的平均值,作为该地块的 RVI 值。

2.2.3 根据 NDVI 来区分长势类别

首先分别计算 2007 年 5 幅影像的 NDVI,相加得到 2007 年 NDVI 总和。然后根据初选范围求出每一个地块内 NDVI 的平均值,作为该地块的 NDVI 值。

2.3 叠加、合并 3 个植被指数类别图得到玉米生长情况分布图

把上步得到的 DVI, RVI 和 NDVI 值分别线性拉伸

到[0,1], 然后取平均, 得到了3种植被指数的平均值。使用分位数分类法把这个平均值分成3类(方法见王祁春等^[21]), 分别代表生长情况“差”、“中”和“好”。分位数分类法保证了每一个类别包含大致相同数量的入样总体, 详情见表3所示。

表3 三个植被指数平均值的分位数分类结果

平均值范围	等级	像元数目
0.203~0.356	差	30 758
0.357~0.393	中	30 621
0.394~0.709	好	31 706

分类后的示意图如图2所示。

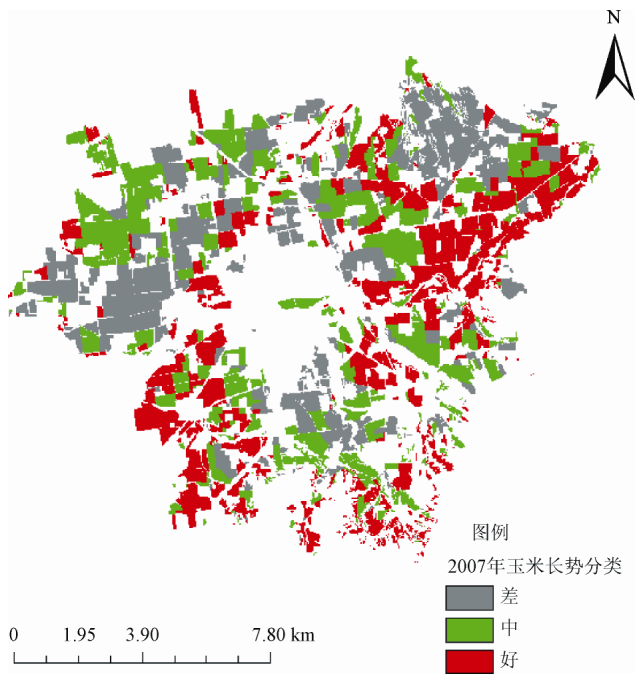


图2 试验区初选范围中玉米生长情况分布图

Fig.2 Distribution map of corn growth information in primary selected area

2.4 在分布图上有代表性的区域布置监测点

整个布置的步骤如下:

1) 在以上的初选范围中选择一块耕地比较集中的试验区正式范围, 面积是 10 000 hm², 其中玉米地的面积大约是 5 282.28 hm²;

2) 根据 2 中确定的采样点的数目(40 个), 按照 100 hm² 网格把正式范围均分成 100 个网格后选择符合条件的网格;

由于某些网格不包含任何玉米地, 所以舍去, 这样得到的网格数为 62 个, 在每一个网格中计算各个类别所占的比例, “差”、“中”和“好”三个类别是根据 DVI, RVI 和 NDVI 分别线性拉伸后的平均值来划分的, 结果如表 4 所示。

在剩下的 62 个网格抽取 10 个“差”类型的网格, 10 个“中”类型的网格, 10 个“好”类型的网格, 和 10 个 3 种类型比例相近(以各种类别象元数均方差作为指

标)的网格, 共计 40 个网格。这样能覆盖整个分布图上玉米的生长情况。抽取的规则是: 根据 3 种玉米覆盖比例的均方差进行抽样, 先取均方差最小的前 10 个网格, 然后分别在差、中和好的比例中取最大的前 10 个网格。

表4 各网格中3类生长情况分布表

网格序号	植被象元总数	“差”象元数目	“差”占比例	“中”象元数目	“中”占比例	“好”象元数目	“好”占比例	各种类象元数均方差
1	568	18	0.03169	38	0.066901	512	0.901408	0.492282
2	844	19	0.022512	198	0.234597	627	0.742891	0.3702
3	632	8	0.012658	129	0.204114	495	0.783228	0.401208
4	918	145	0.157952	636	0.69281	137	0.149237	0.311347
5	1 330	135	0.101504	756	0.568421	439	0.330075	0.233476
6	1 025	15	0.014634	343	0.334634	667	0.650732	0.318051
7	134	0	0	33	0.246269	101	0.753731	0.384334
8	2 175	1 425	0.655172	727	0.334253	23	0.010575	0.3223
9	1 705	772	0.452786	884	0.518475	49	0.028739	0.265823
10	782	308	0.393862	138	0.176471	336	0.429668	0.137022

筛选后的网格如图3所示。

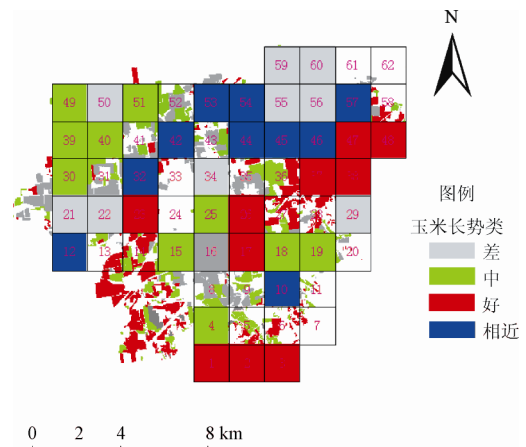


图3 网格抽样示意图

Fig.3 Diagram of grids sampling

3) 在筛选后的网格中按照 PPS 抽样思想布点

每一个网格包含差、中、好 3 类像元, 各类象元的数目各不相同。如果只以像元为抽样单元, 那么差、中、好 3 类像元被抽中的概率是一样的。这样就无法反映数目多的那一类像元被抽中的概率比较大的特征, 不能保证抽中的样本具有代表性。因此本文应用了概率比例规模抽样(PPS)的思想来解决这个问题, 把像元所代表的长势类型作为抽样单元。先计算每一个网格中差、中、好 3 类像元的数目, 然后把采样点布设在数目最多的那一类型的像元中。像元类型确定后, 选取网格中该类型像元中面积最大耕地地块的几何中心作为采样点。10 个“相近”的网格根据规则得到的布点情况是: 2 个监测点布置在生长情况“差”的类别, 6 个布置在生长情况“中”类别, 2 个布置在生长情况“好”类别。结果如图 4 所示。

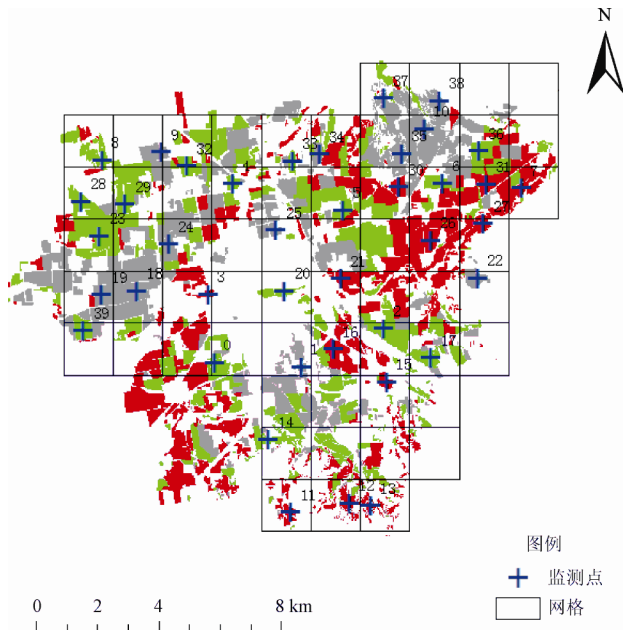


图 4 监测点分布图

Fig.4 Distribution map of sampling points

3 对监测点进行检验

利用同一地区的 2009 年数据进行检验，由于 2007 年采用了 5 期玉米生长期内的影像，因此估计 2009 年该地区玉米生长情况时也应该用 5 期图像，否则 2.3 节规则中的阈值要重新修改，这一点会在后面有试验结果来说明。

利用同一地区 2009 年的影像(成像时间分别是:2009 年 6 月 2 日, 2009 年 6 月 25 日, 2009 年 8 月 12 日, 2009 年 8 月 28 日和 2009 年 9 月 22 日, 按照 2.2 和 2.3 中的方法计算了 2009 年该地区正式范围内的玉米生长情况分布, 结果如图 5 所示。下面分别从面积和位置精度进行检验。

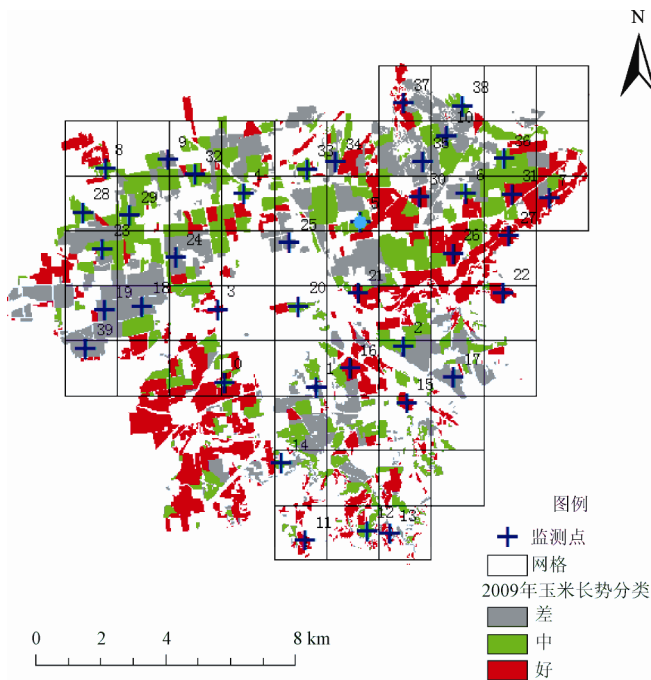


图 5 40 个监测点在 2009 年玉米生长情况分布图中位置
Fig.5 Locations of 40 sampling points selected in growing information map of 2009

1) 从面积比较如表 5 所示, 3 种长势的玉米面积基本没有变化。像元总数有细微差别是由于有极少数像元在 2007 年没有植被指数而舍去。

表 5 2007 年和 2009 年农作物长势覆盖像元数

Table 5 Pixel numbers of different growth grade from 2007 to 2009

年份	像元总数	差	中	好
2007	93 085	30 758	30 621	31 706
2009	93 100	30 118	31 151	31 831

2) 从位置比较(像元级别)来看, 40 个监测点在 2007 年和 2009 年分别属于哪一种生长情况, 1 代表长势差, 2 代表长势中, 3 代表长势好, 如表 6 所示。

表 6 监测点类别变化表(2007、2009 年)

Table 6 Change of 40 sampling points growth information from 2007 to 2009

编号	2007 类别	2009 类别	编号	2007 类别	2009 类别	编号	2007 类别	2009 类别	编号	2007 类别	2009 类别
0	2	2	10	1	1	20	2	2	30	3	3
1	1	1	11	3	3	21	3	3	31	3	3
2	2	2	12	3	2	22	1	3	32	2	2
3	3	3	13	3	3	23	2	2	33	2	2
4	2	2	14	2	2	24	1	1	34	1	1
5	2	2	15	3	3	25	1	1	35	1	1
6	2	2	16	3	3	26	3	3	36	2	2
7	3	3	17	2	1	27	3	3	37	1	3
8	2	2	18	1	1	28	2	2	38	1	2
9	1	1	19	1	1	29	2	2	39	2	1

用横行表示 2007 年监测点类别, 纵列表示 2009 年监测点类别, 得到的混淆矩阵如表 7。

表 7 监测点类别变化混淆矩阵

Table 7 Confusion matrix of 40 sampling points classification change information

	2007 年长势差	2007 年长势中	2007 年长势好
2009 年长势差	9	2	0
2009 年长势中	1	14	1
2009 年长势好	2	0	11

最后计算得到的总体精度是 85%, kappa 系数是 0.773。

4 结论和讨论

从结果来看: 按位置评价时是从耕地地块的级别上判断, 所以 2007 和 2009 年的影像的匹配误差对最后的检验结果的影响不大, 但为了保证试验的严谨性, 本文都统一做了几何校正。

本文进行的农田生态信息监测点布设方法在时间序列数据的基础上, 考虑了 3 种不同生长情况(差, 中, 好)的玉米的植被覆盖度, 并应用 PPS 抽样思想来进行抽样, 得到了最终监测点布设地点。并通过同一地区不同时期的数据进行了检验, 得到了比较满意的结果。从以上试验可以总结出本文提出的方案的优点是: 1) 具有

遥感理论支撑, 经得起数据的检验; 2) 方案具有可重复性, 操作方便易行; 3) 可作为监测点的布设设计方案, 也可作为监测点布设方案的检验方案。

[参 考 文 献]

- [1] 吴炳方, 张峰, 刘成林, 等. 农作物长势综合遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 498—514.
Wu Bingfang, Zhang Feng, Liu Chenglin, et al. An integrated method for crop condition monitoring[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(6): 498—514. (in Chinese with English abstract)
- [2] 孙凯, 王一鸣, 杨绍辉. 墒情监测取样方法的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 74—78.
Sun Kai, Wang Yiming, Yang Shaohui. Sampling method for soil moisture monitoring[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(4): 74—78. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李开丽, 蒋建军, 茅荣正, 等. 植被叶面积指数遥感监测模型[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1491—1496.
Li Kaili, Jiang Jianjun, Mao Rongzheng, et al. The modeling of vegetation through leaf area index by means of remote sensing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(6): 1491—1496. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨诗秀, 雷志栋. 田间土壤含水率的空间结构及取样数目确定[J]. 地理学报, 1993, 48(5): 447—456.
Yang Shixiu, Lei Zhidong. Spatial structure of soil water content and sampling number determination in the field[J]. Acta Geographica Sinica, 1993, 48(5): 447—456. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李子忠, 龚元石. 农田土壤水分和电导率空间变异性及确定其采样数的方法[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 59—66.
Li Zizong, Gong Yuanshi. Spatial variability of soil water content and bulk soil electrical conductivity and determination of sampling number in field[J]. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(5): 59—66. (in Chinese with English abstract)
- [6] 张淑娟, 方慧, 何勇. 精细农业田间信息采样策略[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 88—92.
Zhang Shujuan, Fang Hui, He Yong. Sampling Strategies of Field Information on Precision Agriculture[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2004, 35(4): 88—92. (in Chinese with English abstract)
- [7] 薛正平, 杨星卫, 段项锁, 等. 土壤养分空间变异及合理取样数研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 6—9.
Xue Zhengping, Yang Xingwei, Duan Xiangsuo, et al. Spatial Variability of Soil Nutrient and Reasonable Sampling Number[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(4): 6—9. (in Chinese with English abstract)
- [8] 陈天恩, 陈立平, 王彦集, 等. 基于地统计的土壤养分采样布局优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 49—55.
Chen Tianen, Chen Liping, Wang Yanji, et al. Optimal arrangement of soil nutrient sampling based on geo-
- statistics[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(2): 49—55. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王长耀, 牛铮, 唐华俊, 等. 对地观测与精细农业[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [10] 雷志栋, 杨诗秀, 罗毅. 田间墒情监测布点方法的研究[J]. 灌溉排水, 1996, 15(3): 9—15.
Lei Zhidong, Yang Shixiu, Luo Yi. Studies of sampling methods in soil moisture monitoring[J]. Irrigation and Drainage, 1996, 15(3): 9—15. (in Chinese with English abstract)
- [11] 齐峰, 王学军. 环境空间分析中常用采样方法及其对空间结构表达的影响[J]. 环境科学学报, 2000, 20(2): 207—212.
Qi Feng, Wang Xuejun. Sampling methods in environmental spatial analysis and their effects on spatial continuity display[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2000, 20(2): 207—212. (in Chinese with English abstract)
- [12] David Peterson, V Thomas Parker. Ecological scale: Theory and Application[M]. Columbia: Columbia University Press, 1998, 5—34.
- [13] Farina, A. Principles and Methods in Landscape Ecology[M]. London: Chapman and Hall, 1998, 35—49.
- [14] Chancellor W J, Goronea M A. Effects of spatial variability of nitrogen, moisture, and weeds on the advantages of site-specific applications for wheat[J]. Transactions of ASAE, 1994, 37(3): 717—724.
- [15] 王珂, 沈掌泉. 精确农业田间土壤空间变异与采样方式研究[J]. 农业工程学报, 2001, 2: 33—36.
Wang Ke, Shen Zhangquan. Spatial variants and sampling strategies of soil properties for precision agriculture[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 2: 33—36. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李存军, 王纪华, 刘良云, 等. 利用多时相 Landsat 近红外波段监测冬小麦和苜蓿种植面积[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 96—101.
Li Cunjun, Wang Jihua, Liu Linagyun, et al. Land cover mapping of winter wheat and clover using multi-temporal Landsat NIR band in a growing season[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(2): 96—101. (in Chinese with English abstract)
- [17] 骆知萌, 田庆久, 惠凤鸣. 用遥感技术计算森林叶面积指数——以江西省兴国县为例[J]. 南京大学学报: 自然科学, 2005, 41(3): 253—258.
Luo Zhimeng, Tian Qingjiu, Hui Fengming. Retrieving leaf area indexes for coniferous forest in xingguo county: Jiangxi province, in use of landsat ETM+ images[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2005, 41(3): 253—258. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王纪华, 赵春江, 黄文江, 等. 农业定量遥感基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008, 53—57.
- [19] 杜子芳. 抽样技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [20] 陈进国, 冯云山, 杨志超, 等. 主要作物光谱特征的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1984, 6(3): 68—74.
Chen Jinguo, Feng Yunshan, Yang Zhichao, et al. Spectral

- characteristics of the main crops[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1984, 6(3): 68—74. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王祁春, 张柏, 张树文, 等. 玉米长势区域分异遥感监测——以松嫩平原玉米遥感估产试验区梨树县为例[J]. 遥感信息, 1994, 4: 20—23.
- Wang Qichun, Zhang Bo, Zhang Shuwen, et al. Corn growing area differentiations based on remote sensing monitoring[J]. Remote Sensing Information, 1994, 4: 20—23. (in Chinese with English abstract)

Sampling method of meso-scale crop growth information monitoring based on multi-temporal remote sensing images

Zhu Shoudong¹, Liu Huiping^{1*}, Feng Huihui¹, Bai Mu², Xue Xiaojuan¹

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Shaanxi Geomatic Center of SBSM, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract At present the application effect of Precision Agriculture which is developing rapidly is highly affected by the distribution and quantity of monitoring sensor equipment. The typicalness of the monitoring location was determined by the distribution of monitoring sensor equipment, and the level of capital investment was determined by the quantity of the monitoring sensor equipment. How to design an efficient and economical monitoring method is the key issue to get typical monitoring results. Firstly several existing agricultural monitoring methods were evaluated, then a monitoring method which based on the Vegetation Index and Proportional Probability Sampling (PPS) was proposed. At last, a case study was carried out in Yanqing county, Beijing. The results showed that: 1) By the remote sensing theoretical support, the effect of the method could be verified well by reference data; 2) The method was easy, convenient and repeatable to implement; 3) The method can be used not only for monitoring points program design, but also for monitoring points program validation. After validation, the overall accuracy of the new method in this paper achieved 85%. The method can meet the requirements of representativeness, typicalness and stability for agricultural monitoring applications.

Key words: remote sensing, sampling, monitoring, vegetation index, meso-scale, quantile classification, proportional probability sampling (PPS)