

基于GIS、RS的滴灌棉田土壤养分精确管理分区研究*

张泽¹ 吕新¹ 吕宁¹ 陈剑¹ 李新伟¹ 冯波²

(1. 石河子大学农学院, 石河子 832000; 2. 石河子国家农业科技园区, 石河子 832012)

摘要: 在GIS和RS支持下,针对新疆生产建设兵团第五师81团滴灌棉田,选用遥感结合土壤、土壤、遥感数据为数据源,利用模糊c均值聚类法进行土壤养分精确管理分区研究。研究表明:无论以何种数据源划分分区,分区后各分区养分指标变异系数均有所下降,空间分布朝均一方向发展;不同管理分区间差异明显,同一管理分区内土壤养分含量的空间变异差异较小。以遥感结合土壤为数据源所划分管理分区与实际产量所划分分区符合度最高达到91.36%,以土壤为数据源的管理分区次之,符合度达到84.40%,仅以遥感数据(归一化植被指数)为数据源所划分管理分区符合度最低为75.47%。因此,运用聚类分析法以遥感结合土壤数据为数据源可获得较好的分区结果,可实施变量投入和精确施肥推荐,为棉田土壤养分管理提供科学的理论依据。

关键词: 滴灌棉田 GIS RS 管理分区 聚类分析

中图分类号: S2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)07-0125-08

引言

精准农业经过十多年的发展,许多技术已趋成熟,然而其在改善环境和提高经济效益上的效果一直未得到充分证实,管理分区技术为研究这一问题提供了经济有效的手段^[1-2],近年来,通过土壤、作物在时空上的变异性研究精确管理分区、进行变量施肥管理是国际上精准农业研究的一个热点^[3-5],该技术可显著提高土壤养分利用效率、管理精度,提高农业产投比,进而达到保护农业资源和环境质量的目的^[6-7]。

国内研究者采用多种数据源以不同的方法、技术手段在较小尺度范围内以规则网格为作业单元定义田间管理分区^[8-13]。新疆生产建设兵团是我国重要的棉花种植生产基地,农业生产具有耕地连片,机械化程度高、组织管理统一、团场内自然气候条件基本一致、灌溉安排统一、膜下滴灌技术应用规模大等特点^[14],但也存在肥料、农药等盲目投入的现象,部分棉花高产地区化肥等农业生产资料的投入量有不断加大的趋势,农业资源利用率极低,而以小尺度规则网格为作业单元进行变量施肥大面积实施又很难实现。因此研究大区域农田土壤养分特性空间变异规律,以多源数据划分变量施肥管理的统一作业单元具有重要的理论意义和实用价值^[15]。尤其是

对遥感信息技术和土壤养分指标相结合的管理分区研究还不深入,因此有必要进一步探讨以遥感数据、土壤数据进行管理分区的可行性及其精度。

本文以新疆生产建设兵团第五师81团滴灌棉田为研究对象,在较大区域以多种养分、遥感信息为数据源划分变量施肥管理的统一作业单元,探讨以遥感数据、土壤数据进行管理分区划分的可行性,并以产量作为外部变量进行精度验证,为作物分区差异化管理、精准合理变量施肥提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新疆生产建设兵团第五师81团地处新疆维吾尔自治区博乐市境内,位于准格尔盆地西缘,地理坐标:东经82°38'30"~82°24'49",北纬44°42'17"~44°48'52"。研究区总面积6533.3 hm²,日照充足,热量条件较好,蒸发量大,降水量小,无霜期160~180 d,适宜棉花生长,植棉水平较高、连续多次创北疆地区棉花大面积高产纪录。

1.2 土壤数据的获取

秋季作物收获后采用GPS定位技术,进行不规则取样,样点定在有代表性的条田的中心附近,共采集土样729份,土壤采样点位图如图1所示。土壤养分指标测试根据《土壤农化分析》^[18]的方法进行

收稿日期:2014-01-03 修回日期:2014-03-02

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA101902)和“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD4102)

作者简介:张泽,博士生,主要从事作物信息技术与精准农业研究,E-mail: zhangze1227@163.com

通讯作者:吕新,教授,博士生导师,主要从事作物信息技术与精准农业研究,E-mail: lxshz@126.com



图1 第五师81团土壤采样点位图

Fig.1 Distribution map of sampling points in corps
81 Agricultural Construction Division

测定。

1.3 遥感数据的获取

本研究根据博乐地区棉花生育物候期,选择棉花追肥结束后的收获期为影像接收时期(2011年9月13日),采用研究区 Landsat-5 TM 影像(从北京国遥新天地信息技术有限公司购买),影像涵盖整个研究区域,共半景,空间分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,轨道号 146/29,包括7个波段,植被信息显示较好。利用 ENVI 4.3 软件对 TM 遥感影像进行处理分析。提取了归一化植被指数、比值植被指数(计算公式如表1所示)2种与作物长势相关的植被指数,并与地面验证数据结合建立了遥感估产模型,经精度检验最佳模型为:归一化植被指数与棉花产量的回归模型,指数函数方程 $y = 1\,300.7e^{2.423x}$,相关系数 R^2 最高为 0.8469,估产精度达到 83.68%;利用此模型

表1 植被指数类型

Tab.1 Type of vegetation index

光谱参数	算法	来源
归一化植被指数	$N_{DVI} = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$	文献[16]
比值植被指数	$R_{VI} = \rho_{nir} / \rho_{red}$	文献[17]

注: ρ_{nir} 和 ρ_{red} 分别为近红外波段和红光波段的反射率。

表2 土壤属性与植被指数描述性统计结果

Tab.2 Soil fertility and vegetation index of descriptive statistics

参数	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数/%
有机质质量比/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	2.00	48.02	13.798 2	5.210 19	37.76
碱解氮质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	11.00	167.38	72.112 1	30.277 36	41.99
速效磷质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.68	30.56	11.393 4	5.482 72	48.12
速效钾质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	94.69	713.00	246.039 5	105.585 77	42.91
有效铜质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.19	2.45	1.129 7	0.386 08	34.17
有效铁质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.79	8.50	3.972 5	1.489 51	37.50
有效锌质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.08	4.57	0.715 5	0.603 26	84.31
有效硼质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.08	4.57	1.134 3	1.036 90	91.41
有效锰质量比/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.35	20.94	7.676 9	3.405 69	44.36
总盐质量分数/%	0.13	0.81	0.390 0	0.140 00	35.42
归一化植被指数	0.06	0.75	0.515 4	0.185 97	36.08
比值植被指数	0.21	6.92	3.663 7	1.476 26	40.29
产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	1 507.29	8 009.24	4 973.898 4	1 806.228 72	36.31

估算了研究区未实测条田地块棉花产量。

1.4 分区划分方法及适宜分区数确定

模糊 c 均值聚类是常用的一种非监督聚类方法,已经被大量用于进行土壤、地貌数据、产量和遥感等数据分类,能够较好地解决具有连续性变异的自然现象。本研究采用模糊 c 均值聚类算法建立分区,适宜分区数的确定采用 McBratney 和 Moore 提出的 $c-\phi$ 多次组合最优取值法,即对于一个相对于 ϕ 的派生函数 $-0.5(\delta J / \delta \phi)c$,使其峰值最小的 c 值为最优选择,在选定 c 值的前提下,峰值最大处的 ϕ 值为最优选择^[19-22]。

1.5 数据处理与分析

模糊 c 均值聚类是通过 Matlab 7.0 编程实现的;SPSS 17.0、GS + 7.0 和 ArcGIS 9.3 用来实现基础数据统计分析、模糊隶属度的空间变异特征分析、半方差函数的计算、理论模型的拟合及 Kriging 插值图形绘制。

2 结果与分析

2.1 土壤属性与植被指数描述性统计

根据全国土壤第二次普查分级标准,研究区有机质、碱解氮处于偏低水平,速效磷、有效锌、有效锰处于适中水平,速效钾、有效铜处于极高水平,有效铁处于缺乏;土壤养分指标变异系数在 34.17% ~ 91.41% 之间,从研究区遥感影像上提取的植被指数变异系数在 36.08% ~ 40.29% 之间(见表2),各指标都表现为中等空间变异,符合管理分区和实施变量施肥前提。

2.2 管理分区指标提取及分区方案

对研究区棉花遥感估产数据与土壤属性、遥感植被指数进行相关分析,得到相关关系矩阵(表3)。

表 3 研究区土壤属性、植被指数和作物产量的相关系数矩阵

Tab. 3 Study area of soil properties and crop yield, vegetation index correlation coefficient matrix

参数	有机质 质量比	碱解氮 质量比	速效磷 质量比	速效钾 质量比	有效铜 质量比	有效铁 质量比	有效锌 质量比	有效硼 质量比	有效锰 质量比	总盐质量 分数	归一化植 被指数	比值植 被指数	产量
有机质质量比	1	0.434 **	0.378 **	0.393 *	0.402 **	0.338 **	0.277 **	0.117 **	0.421 **	-0.182 **	0.318 **	0.300 **	0.540 **
碱解氮质量比	0.434 **	1	0.397 **	0.359 **	0.571 **	0.691 **	0.107 **	-0.002	0.811 **	-0.107 **	0.284 **	0.245 **	0.441 **
速效磷质量比	0.378 **	0.397 **	1	0.327 **	0.249 **	0.183 **	0.145 **	-0.052	0.221 **	-0.027	0.240 *	0.175 *	0.382 **
速效钾质量比	0.393 *	0.359 **	0.327 **	1	0.251 **	0.031	0.386 **	0.519 **	-0.263 **	-0.100 **	0.090	0.085	0.115
有效铜质量比	0.402 **	0.571 **	0.249 **	0.251 **	1	0.794 **	0.491 **	0.488 **	0.474 **	-0.159 **	0.091 *	0.098 **	0.244 *
有效铁质量比	0.338 **	0.691 **	0.183 **	0.031	0.794 **	1	0.358 **	0.232 **	0.703 **	-0.195 **	0.172 **	0.188 **	0.218 **
有效锌质量比	0.277 **	0.107 **	0.145 **	0.386 **	0.491 **	0.358 **	1	0.428 **	0.065	-0.247 **	0.192 *	0.046	0.067
有效硼质量比	0.117 **	-0.002	-0.052	0.519 **	0.488 **	0.232 **	0.428 **	1	-0.180 **	-0.098 **	0.055	0.060	0.055
有效锰质量比	0.421 **	0.811 **	0.221 **	-0.263 **	0.474 **	0.703 **	0.065	-0.180 **	1	-0.098 **	0.198 **	0.108 **	0.204 **
总盐质量分数	-0.282 **	-0.107 **	-0.027	-0.100 **	-0.159 **	-0.195 **	-0.247 **	-0.098 **	-0.098 **	1	-0.211 **	-0.089 *	-0.401 **
归一化植被指数	0.318 **	0.284 **	0.240 *	0.090	0.191 *	0.172 **	0.192 *	0.055	0.198 **	-0.211 **	1	0.955 **	0.987 **
比值植被指数	0.300 **	0.245 **	0.175 *	0.085	0.098 **	0.188 **	0.046	0.060	0.108 **	-0.089 *	0.955 **	1	0.946 **
产量	0.540 **	0.441 **	0.382 **	0.115	0.244 *	0.218 **	0.067	0.055	0.204 **	-0.401 **	0.987 **	0.946 **	1

注: * 表示在 5% 的概率水平上有显著相关性; ** 表示在 1% 的概率水平上有极显著相关性。

由表 3 可知:①总体上土壤属性各指标相关性较好,大量元素与微量元素间均呈显著正相关;总盐与各土壤养分均呈负相关,可见盐渍化是本区土壤培肥主要障碍因素。②植被指数间呈显著正相关,且相关系数均较高。③土壤数据与遥感植被指数间有相关性,但是相关性均不高,均呈负相关。④遥感估产数据与土壤养分数据相关性较好,除速效钾、有效锌、有效硼外其余大部分呈显著正相关,总盐与产量呈显著负相关,可见总盐是限制作物产量的主要限制因子;遥感估产数据与遥感植被指数间相关性均呈极显著正相关,可较好反映作物长势情况。

根据相关分析,选取与棉花产量相关性较好的土壤数据(有机质、碱解氮、速效磷、总盐)和遥感植被指数数据(归一化植被指数、比值植被指数)等 6 个因子为评价指标,进行棉田管理分区的划分。考虑了以下 3 种情况:①以土壤养分+遥感光谱指数为数据源(归一化植被指数、比值植被指数),采用 *c* 均值聚类(FCM)法划分管理分区。②以土壤养分数据为数据源(有机质、碱解氮、速效磷、总盐),采用 *c* 均值聚类法划分管理分区。③以遥感数据(归一化植被指数)空间变异特征划分管理分区。

2.3 管理分区划分

采用模糊 *c* 均值聚类法分别对土壤+遥感数据、土壤数据、遥感数据进行聚类分析,取最大迭代次数为 300,收敛域值为 0.001,模糊加权指数 φ 设置 1.2~2.0,模糊类别数 *c* 取 2~10 进行模糊聚类,最终聚类均得到 3 个分区子区域,管理分区图如图 2 所示,图中红色线框区域代表分区 1 一致区域;绿色线框为分区 2 一致区域;蓝色线框为分区 3 一

致区域;无线框区域为 3 种数据分区后不一致区域。

2.4 管理分区评价

农田管理分区划分,既要保证同一管理分区区内变异较小,又要使不同管理分区间差异显著^[23]。分别对以土壤+遥感数据、土壤数据、遥感数据所划分管理分区土壤养分数据进行了常规统计,同时运用最小显著极差法(LSD)对各分区间差异显著性进行了检验,结果如表 4 所示。

由表 4 可知:以土壤+遥感数据为数据源所划分管理分区,分区 3 养分含量、植被指数均值均最高,表明分区 1 在研究区肥力较高;分区 2 植被指数、养分含量均值都是最低,肥力最低;分区 1 肥力居于二者之间。LSD 检验结果表明:分区 1、分区 2 和分区 3 三个分区的有机质、碱解氮、速效磷、比值植被指数,均达到极显著差异($P < 0.01$),对于总盐而言,分区 1、分区 2 和分区 3 三个分区彼此之间差异均未达到显著水平($P > 0.05$)。对于归一化植被指数而言,分区 1 和分区 3 差异未达到显著水平($P > 0.05$),但二者均与分区 2 达到极显著差异。

由表 5 可知:以土壤数据为数据源所划分管理分区,分区 3 养分含量、均值均最高,表明分区 1 土壤肥力较高;分区 2 养分含量均值最低,在本区土壤肥力较低;分区 1 肥力居于二者之间。LSD 检验结果表明:对于土壤有机质、碱解氮、速效磷、总盐、比值植被指数而言,分区 1、分区 2 和分区 3 三个分区均达到极显著差异($P < 0.01$);对于归一化植被指数而言,分区 2 和分区 3 差异达到极显著水平($P < 0.01$),但二者与分区 1 均未达到显著差异($P > 0.05$)。

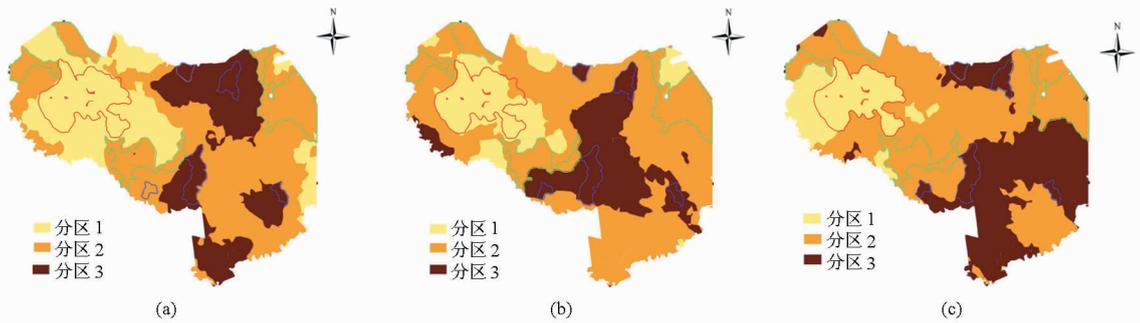


图2 基于聚类分析的管理分区图

Fig. 2 Management map based on the cluster analysis

(a) 土壤数据 (b) 土壤和遥感数据 (c) 遥感数据

表4 基于土壤和遥感数据分区属性统计和LSD检验

Tab. 4 Soil and remote sensing data partition attribute statistics and LSD test

分区号	样点数	有机质质量比		碱解氮质量比		速效磷质量比		总盐质量分数		归一化植被指数		比值植被指数	
		平均值/ (g·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ %	变异系数/ %	平均值	变异系数/ %	平均值	变异系数/ %
分区1	219	14.54 ^{bB}	31.52	76.80 ^{bB}	40.20	11.93 ^{bB}	33.94	0.39 ^{aA}	29.21	0.62 ^{aA}	27.31	4.34 ^{bB}	28.07
分区2	287	11.19 ^{cC}	22.59	53.34 ^{cC}	35.42	8.43 ^{cC}	31.26	0.41 ^{aA}	33.60	0.29 ^{bB}	9.62	1.75 ^{cC}	18.01
分区3	223	16.42 ^{aA}	35.52	91.67 ^{aA}	29.85	14.68 ^{aA}	30.80	0.37 ^{aA}	30.86	0.63 ^{aA}	10.77	4.60 ^{aA}	20.66

注: * 均值后的小写字母和大写字母分别表示5%、1%显著水平,下同。

表5 基于土壤数据分区属性统计和LSD检验

Tab. 5 Zoning statistics for soil properties and LSD test

分区号	样点数	有机质质量比		碱解氮质量比		速效磷质量比		总盐质量分数		归一化植被指数		比值植被指数	
		平均值/ (g·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ %	变异系数/ %	平均值	变异系数/ %	平均值	变异系数/ %
分区1	251	12.64 ^{bB}	22.21	64.10 ^{bB}	30.58	9.75 ^{bB}	37.29	0.38 ^{bB}	25.65	0.5149 ^{abAB}	34.77	3.6599 ^{bB}	37.58
分区2	266	11.56 ^{cC}	22.89	57.50 ^{cC}	38.62	9.10 ^{cC}	43.93	0.52 ^{aA}	21.77	0.5457 ^{aA}	30.21	3.8825 ^{aA}	36.20
分区3	212	17.97 ^{aA}	33.80	99.96 ^{aA}	31.05	16.23 ^{aA}	36.26	0.28 ^{cC}	28.98	0.4778 ^{bB}	35.71	3.3936 ^{cC}	39.03

由表6可知:以遥感数据为数据源划分管理分区,分区3养分含量均值最低,表明分区3土壤肥力最低;分区1养分含量均值最高,在本区土壤肥力最高;分区2肥力居于二者之间。这个结果与前文所述基于土壤数据、遥感和土壤数据相结合所做分区总体趋势不一致。LSD检验结果表明:对于碱解氮、归一化植被指数、比值植被指数而言,分区1、分区2和分区3三个分区均达到极显著差异($P < 0.01$);对于有机质而言,分区2和分区3差异未达到显著

差异($P > 0.05$),但二者与分区1均达到极显著差异($P < 0.01$)。分区1、分区2和分区3三个分区的速效磷均达到显著差异($P < 0.05$),且分区1与分区3速效磷达到极显著差异($P < 0.01$),但二者与分区2未达到极显著差异水平($P > 0.01$);对于总盐而言,分区1、分区2和分区3三个分区均达到显著差异($P < 0.05$),且分区1与分区2达到极显著差异($P < 0.01$),但二者与分区3未达到极显著差异水平($P > 0.01$)。

表6 基于NDVI管理分区属性统计和LSD检验

Tab. 6 Based on NDVI management partition attribute statistics and LSD test

分区号	样点数	有机质质量比		碱解氮质量比		速效磷质量比		总盐质量分数		归一化植被指数		比值植被指数	
		平均值/ (g·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ (mg·kg ⁻¹)	变异系数/ %	平均值/ %	变异系数/ %	平均值	变异系数/ %	平均值	变异系数/ %
分区1	189	14.77 ^{aA}	39.96	77.77 ^{aA}	40.71	12.14 ^{aA}	42.76	0.37 ^{cB}	34.21	0.2312 ^{cC}	34.38	1.6343 ^{cC}	22.69
分区2	329	13.58 ^{bB}	36.44	72.64 ^{bB}	39.87	11.40 ^{bB}	50.43	0.41 ^{aA}	35.21	0.5723 ^{bB}	11.18	3.7701 ^{bB}	17.80
分区3	211	13.27 ^{bB}	36.50	66.22 ^{cC}	45.46	10.71 ^{cB}	48.93	0.39 ^{bB}	36.17	0.6836 ^{aA}	3.26	5.3276 ^{aA}	8.81

总体上,3 种数据源所划分的管理分区,分区后同一分区内养分变异较小,分区间差异较大,说明研究区可以实施分区差异化变量施肥管理。以土壤数据为数据源与以遥感 + 土壤数据相结合为数据源的管理分区结果总体趋势具有较高的一致性,即土壤肥力从高到低依次为分区 3、分区 1、分区 2。但以归一化植被指数为数据源的管理分区结果与此不一致。究竟以何种数据源所划分的管理分区更合理,需要进一步做校验。

2.5 管理分区精度校验

产量变异是土壤养分、作物长势等各种因素及其相互作用的综合反映,本文以研究区条田为数据单元,从农业生产管理决策部门获取 2012 年试验区棉花产量实际收获数据,并在团场各连队定点取样进行测产比较以保证产量数据真实可靠,并进行单因素插值得到空间变异为管理分区。为对比分析,同样将产量依据等值法划分为高 ($> 6\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$)、中 ($5\ 250 \sim 6\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$)、低 ($< 5\ 250\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 3 个分区,如图 3 所示。以此为基准对不同数据源所划分管理分区合理性及精度进行校验。

由于 GIS 具有操作栅格数据强大功能,其中: Classified 方法通过将像元值进行分类显示专题栅格数据,此种类型的专题分类典型应用于连续现象(如适宜性),将范围分为几类,并为每一类指定颜色。因此,分别以土壤养分数据、土壤 + 遥感数据、遥感数据、棉花实收产量为数据源得到的管理分区矢量图,导入 ArcGIS 9.3 中,将矢量数据转换为栅

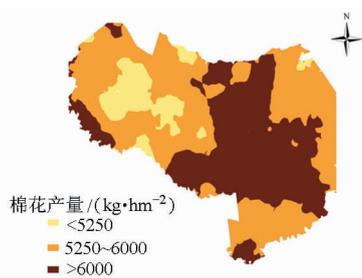


图 3 基于棉花产量的管理分级图

Fig. 3 Precise management zones map based on the yield

格数据,栅格大小设置为 $100\ \text{m} \times 100\ \text{m}$,行数:126,列数:165,栅格总数 $126 \times 165 = 20\ 790$ 。运用 Classified 着色器对栅格数据分类,分类后栅格图像与矢量管理分区图保持一致,进而在空间分析模块下(Spatial analysis)运用 Reclassified 功能对栅格数据执行重新赋值(new value)操作,分为 3 类,各类默认值为 1、2、3。最终得到以不同数据源管理分区灰度图像(如图 3 所示),统计各类别(即落在各分区内的栅格数量)所覆盖栅格数量,统计结果如表 7 所示。由图 4 可以直观看出不同数据源所获管理分区栅格灰度图像与实际产量分级所获管理分区灰度图像总体上分布趋势较一致,图中红色线框区域代表分区 1 一致区域;绿色线框为分区 2 一致区域;蓝色线框为分区 3 一致区域;无线框区域为 3 种数据分区后不一致区域。但仅从图像上也不能确定孰优孰劣。由此,进一步以实际产量各区栅格数据为基准,进行栅格计算统计如表 7 所示,以验证其精度。

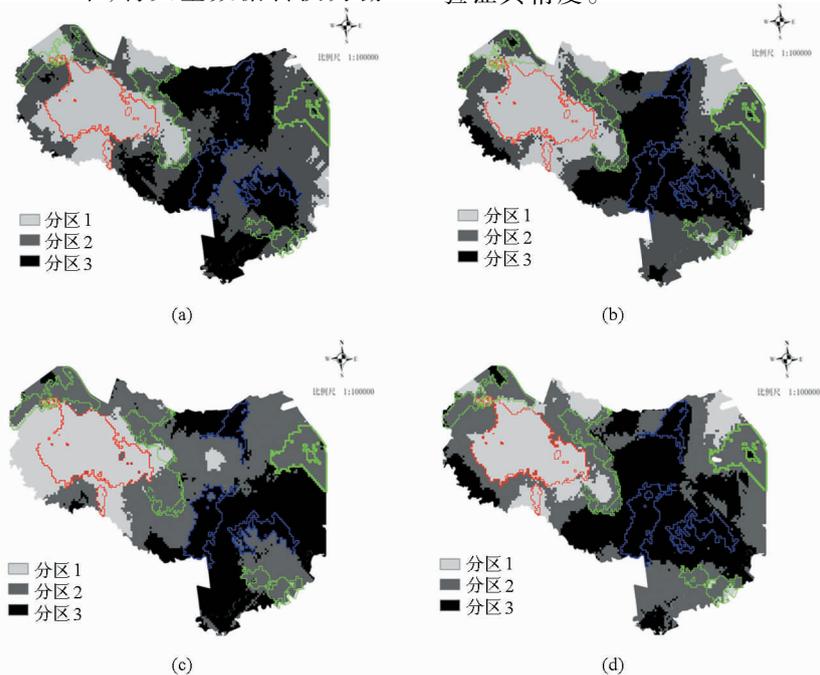


图 4 不同数据源得到的管理分区栅格灰度图像

Fig. 4 Management raster image based on different data sources

(a) 土壤数据 (b) 土壤和遥感数据 (c) 遥感数据 (d) 实收产量数据源

表 7 不同数据源划管理分区栅格数统计

Tab.7 Management partition grid number statistics of different data source partition

数据源	栅格数			
	分区 1	分区 2	分区 3	总数
土壤	5 430	8 208	7 152	20 790
遥感 + 土壤	5 397	9 655	5 738	20 790
归一化植被指数	4 975	6 352	9 463	20 790
实际产量	3 789	11 451	5 550	20 790

由表 8 可知:以遥感 + 土壤为数据源所划管理分区与实际产量划分分区符合度最高达到 91.36%,以土壤养分为数据源的管理分区次之,符合度达到 84.40%,仅以遥感数据为数据源所划管理分区符合度最低为 75.47%。表明:以土壤 + 遥感数据相结合进行土壤养分精确管理分区的划分结果比仅以土壤养分分区更合理、精度更高,能更好反映土壤肥力分布情况。

表 8 栅格运算统计结果

Tab.8 Results of grid computing statistical

数据源	与实际产量栅格图相符栅格数				栅格总数	符合度/%
	分区 1	分区 2	分区 3	总数		
土壤	3 789	8 208	5 550	17 547	20 790	84.40
遥感 + 土壤	3 789	9 655	5 550	18 994	20 790	91.36
归一化植被指数	3 789	6 352	5 550	15 691	20 790	75.47

3 结论

(1) 以土壤数据 + 遥感数据、土壤数据、遥感数据 3 种不同数据源利用 FCM 进行精确管理分区划分研究,均将研究区划分为 3 个精确养分管理分区,分区重叠程度较小,分区隶属关系较明显。对各管理分区养分均值进行统计分析,并利用 LSD 法进行显著性检验。对于分区后整体而言,各分区养分指标变异系数均有不同程度的下降,其空间分布朝着均一方向发展。

(2) 分区后不同管理分区间差异明显,同一管理分区内土壤养分含量的空间变异差异较小。因

此,在利用管理分区作施肥推荐时,应在同一管理分区内采用相同的施肥量,而在不同分区间实施差异化变量施肥管理。

(3) 以棉花产量为数据源所得管理分区为基准,运用栅格运算对不同数据源所得到管理分区精度进行量化统计分析。结果表明:以遥感 + 土壤为数据源所划管理分区与棉花产量所划分区符合度最高达到 91.36%,以土壤养分为数据源的管理分区次之,符合度达到 84.40%,仅以遥感数据为数据源所划管理分区符合度最低为 75.47%。以土壤 + 遥感数据相结合进行土壤养分精确管理分区结果较高的精度可能是 TM 影像空间分辨率为 30 m,植被指数数据密度更高、空间连续性更强,与土壤养分结合弥补了土壤采样数据不足。这与宋晓宇等^[22]、黄彦等^[13]研究所取得结果相类似,由此说明,以土壤养分 + 遥感植被指数为数据源对绿洲农业模式下的大型农场进行精准管理分区划分具有较高的可靠性。

(4) 以遥感 + 土壤为数据源所划管理分区精度虽好,但是应用的局限性较大,需同时具有土壤养分测试数据和较合适遥感影像,在人力、物力、财力上的消耗均较大;而以遥感数据为数据源的划分符合精度相对较低,但在新疆规模化种植条件下,尤其在无土壤养分数据、且研究精度较低的情况下,完全可采用遥感数据快速划分农田管理分区。因此,今后在大型农场实施差异化分区变量施肥管理时,应根据研究目的、精度选用较适合的数据源和方法划管理分区。

(5) 土壤养分是影响作物产量的主要因素之一,本研究以与棉花产量相关性较好的养分因子进行棉田分区,因此认为可以产量分级所获得的管理分区作为分区的检验标准;但除养分外,还有其他因子可以影响棉花产量,例如水分,由于本研究所处区域灌溉制度比较一致,因此在此研究中并未将水分作为棉田管理分区的因子之一,但在以后的研究中需要进一步探究水分对棉田管理分区的影响。

参 考 文 献

- 1 Koch B, Khosla R, Frasier W M, et al. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones[J]. *Agronomy Journal*, 2004, 96(6): 1572 - 1580.
- 2 Doerge T A. Defining management zones for precision agriculture[J]. *Crop Insights*, 1998, 8(21): 1 - 5.
- 3 刘付程, 史学正, 于东升, 等. 基于地统计学和 GIS 的太湖典型地区的土壤属性制图研究——以土壤全氮制图为例[J]. *土壤学报*, 2004, 41(1): 20 - 27.
Liu Fucheng, Shi Xuezheng, Yu Dongsheng, et al. Mapping soil properties of the typical area of taihu lake watershed by geostatistics and geographic information systems—a case study of total nitrogen in topsoil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 20 - 27. (in Chinese)
- 4 李翔, 潘瑜春, 赵春江, 等. 基于空间连续性聚类算法的精准农业管理分区研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 78 - 82.

- Li Xiang, Pan Yuchun, Zhao Chunjiang, et al. Delineating precision agriculture management zones based on spatial contiguous clustering algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 78-82. (in Chinese)
- 5 朱静, 黄标, 孙维侠, 等. 长江三角洲典型地区农田土壤有机质的时空变异特征及其影响因素[J]. 土壤, 2006, 38(2): 158-165.
- Zhu Jing, Huang Biao, Sun Weixia, et al. Tempo-spatial variation of soil organic matter of farmland and its affecting factors in a typical area of the yangtze river delta region[J]. Soils, 2006, 38(2): 158-165. (in Chinese)
- 6 赵其国. 我国现代农业发展中的若干问题[J]. 土壤学报, 1997, 34(1): 1-9.
- Zhao Qiguo. Problems challenging the development of modern agriculture of china[J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(1): 1-9. (in Chinese)
- 7 金继运. “精准农业”及其在我国的应用前景[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 14(1): 1-7.
- Jin Jiyun. Precision agriculture and its perspective in china[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 14(1): 1-7. (in Chinese)
- 8 白由路, 金继运, 杨俐苹, 等. 基于GIS的土壤养分分区管理模型研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34: 46-50.
- Bai Youlu, Jin Jiyun, Yang Liping, et al. Research on the subarea management model of soil nutrients by GIS[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34: 46-50. (in Chinese)
- 9 王海江, 彭陶, 吕新, 等. 小尺度下滴灌棉田养分管理分区研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(3): 78-82.
- Wang Haijiang, Peng Tao, Lü Xin, et al. Study on management zones of small-scale based on soil nutrients in drip irrigation cotton field[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2011(3): 78-82. (in Chinese)
- 10 李艳, 史舟, 吴次芳, 等. 基于多源数据的盐碱地精确农作管理分区研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 84-89.
- Li Yan, Shi Zhou, Wu Cifang, et al. Classification of management zones for precision farming in saline soil based on multidata sources to characterize spatial variability of soil properties[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 84-89. (in Chinese)
- 11 陈彦, 吕新. 基于FCM的绿洲农田养分管理分区研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2016-2024.
- Chen Yan, Lü Xin. Definition of management zones of soil nutrients based on FCM algorithm in oasis field[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 2016-2024. (in Chinese)
- 12 Basnyat P, McConkey B, Lafond G P, et al. Optional time for remote sensing to relate to crop grain yield on the Canadian prairies[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2004, 84(1): 97-103.
- 13 黄彦, 朱艳, 马孟莉, 等. 基于遥感和地统计学方法的小麦生长管理分区[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 376-382.
- Huang Yan, Zhu Yan, Ma Mengli, et al. Defining of wheat growth management zones based on remote sensing and geostatistics[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(2): 376-382. (in Chinese)
- 14 赖先齐. 中国绿洲农业学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- 15 王海江, 崔静, 陈彦, 等. 基于模糊聚类的棉田土壤养分管理分区研究[J]. 棉花学报, 2010, 22(4): 339-346.
- Wang Haijiang, Cui Jing, Chen Yan, et al. Classification of management zones for soil nutrients in cotton land based on fuzzy clustering analysis[J]. Cotton Science, 2010, 22(4): 339-346. (in Chinese)
- 16 Jordan C F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor[J]. Ecology, 1969, 50(4): 663-666.
- 17 Deering D W. Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors[D]. Texas: Texas A&M University, 1978: 338.
- 18 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- 19 檀满枝, 陈杰, 郑海龙. 模糊c-均值聚类法在土壤重金属污染空间预测中的应用[J]. 环境科学学报, 2006, 26(12): 2086-2092.
- Tan Manzhi, Chen Jie, Xu Fangming, et al. Spatial prediction of soil heavy metal pollution using fuzzy c-mean algorithm[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, 26(12): 2086-2092. (in Chinese)
- 20 McBratney A B, Moore A W. Application of fuzzy sets to climatic classification[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1985, 35(1-4): 165-185.
- 21 Bragato G. Fuzzy continuous classification and spatial interpolation in conventional soil survey for soil mapping of the lower Piave plain[J]. Geoderma, 2004, 118(1-2): 1-16.
- 22 宋晓宇, 王纪华, 刘良云, 等. 基于Quickbird遥感影像的农田管理分区划分研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1996-2006.
- Song Xiaoyu, Wang Jihua, Liu Liangyun, et al. Research of management zones generating based on quickbird imagery[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1996-2006. (in Chinese)
- 23 邱卫文. 农田土壤养分空间变异特征及分区管理研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2003.
- Qiu Weiwen. Spatial variability of soil nutrients in farmland feature and partition management research[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2003. (in Chinese)

Defining Agricultural Management Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques for Drip-irrigated Cotton Fields

Zhang Ze¹ Lü Xin¹ Lü Ning¹ Chen Jian¹ Li Xinwei¹ Feng Bo²

(1. Agricultural College, Shihezi University, Shihezi 832000, China

2. The Committee of Shihezi National Agricultural Science and Technology Park, Shihezi 832003, China)

Abstract: Fuzzy *c*-means clustering was used to define soil-nutrient management zones. Remote sensing (RS) data, soil sampling data, and a combination of both were tested to identify which data source was the best for partitioning optimum zones, using a geographical information system and various statistical techniques. The study area was a region of large-scale drip-irrigated cotton cultivation in China. For all three data sources, the area was portioned into three zones. With the aim to confirm the resulting zones, the coefficient of variation of the nutrient index was calculated for the RS data, soil data, and combination of both types of data. There was no significant difference among the results calculated using the three data types. The least spatial variation in soil nutrient content was found within the same management zones, with larger variation between zones. The highest degree of conformity (91.36%) with zones derived using actual cotton production data was found for the management zones defined using the combination of RS and soil data. Using soil nutrient data alone, the degree of conformity was lower, at 84.40%. The lowest conformity (75.46%) was found for the zones based on the RS data alone (using the normalized difference vegetation index). The method proposed here, using fuzzy *c*-means clustering and a combination of RS and soil sampling data, can be useful in determining zones for optimal fertilizer application and resource management in cotton systems.

Key words: Drip irrigation in cotton GIS RS Management zones Fuzzy clustering