

doi: 10.12133/j.smartag.2019.1.2.201901-SA002

# 基于多源数据的华北平原夏玉米种植区划研究

刁兴良<sup>1,2</sup>, 杨再洁<sup>3</sup>, 李奇峰<sup>1</sup>, 于景鑫<sup>1</sup>, 郑文刚<sup>1</sup>, 史磊刚<sup>1\*</sup>

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 山东农业大学信息科学与工程学院, 山东泰安 271018;  
3. 中化化肥有限公司, 北京 100031)

**摘 要:** 精准识别农业生产环境信息和农业生产特征, 对气象、土壤和作物等多源数据进行综合分类, 是提高农业资源利用效率和优化农业种植结构的基础。本研究基于近 20 年 (1998~2017 年) 气象数据和华北五省的玉米单产统计数据, 首先构建了华北平原气候资源和玉米生产时空分布特征数据库, 研究区内的降雨量、活动积温、日照时数、太阳辐射和玉米单产均存在显著的时空变化; 利用作物精细种植区划方法, 将华北平原夏玉米种植区分为极不适宜区、不适宜区、较适宜区、适宜区、极适宜区五大类, 各类面积分别占总体的比例约为 10%、11%、25%、30%、24%; 进一步通过环境类别归属度分析方法, 将每一大类分为 5 小类, 概率大于 75% 的相对稳定区域约占总面积的 63%, 小于 75% 的波动区域约占 37%; 极不适宜区、不适宜区和较适宜区, 三类时空分布比较稳定, 隶属度为 100% 分别占各类面积的 87.67%、70.41% 和 84.28%, 波动区主要发生在极适宜区和适宜区, 以及适宜区和较适宜区之间。本研究构建的华北平原夏玉米精细区划结果, 对提高研究区资源利用效率和优化玉米产业布局具有重要的指导意义。

**关键词:** 夏玉米; 多源数据; 时空分布; 精细区划

**中图分类号:** F304.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 201901-SA002

刁兴良, 杨再洁, 李奇峰, 于景鑫, 郑文刚, 史磊刚. 基于多源数据的华北平原夏玉米种植区划研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(2): 73-84.

Diao X, Yang Z, Li Q, Yu J, Zheng W, Shi L. Regionalization research of summer corn planting in North China Plain based on multi-source data[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(2): 73-84. (in Chinese with English abstract)

## 1 引言

玉米是我国主要粮食作物之一, 但我国地域辽阔, 玉米种植分布广泛, 生态环境复杂, 玉米种植区易受环境影响。由于近年来全球气候变化使区域农业生产区划不断发生演变, 从而引起玉米种植环境区划的调整。因此玉米精准种植区划

研究可用于指导农业生产, 优化种植结构, 并为适应气候变化提供科学合理的理论依据, 同时对于指导农户增产增收, 提高经济效益, 保障国家粮食安全具有现实意义<sup>[1,2]</sup>。

国内外对于农作区精准种植区划已有很多研究。王飞和邢世和等<sup>[3]</sup>对规模优化与布局优化作为作物种植区划的主要内容进行了综述, 其观点

收稿日期: 2019-01-30 修订日期: 2019-04-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0301004); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项 (KJCX20180703)

作者简介: 刁兴良 (1995-), 男, 硕士, 研究方向: 农业大数据技术与工程, Email: 805605322@qq.com。

\* 通讯作者: 史磊刚 (1981-), 男, 高级农艺师, 博士, 研究方向: 智慧农业理论与应用, 电话: 010-51503047, Email: shileigang923@126.com。

对于农业生产具有指导作用。在数据提取方法上,刘珍环等<sup>[4]</sup>利用时序变化趋势、空间集聚分析相结合的方法,以县域为单位,研究了中国近30年来水稻、小麦和玉米等典型作物种植的时空变化;刘焕军等<sup>[5]</sup>提取作物物候信息,研究了东北地区作物种植结构以及空间分布特征;Löffler等<sup>[6]</sup>采用作物生长模型,结合气象、土壤、水文及玉米种植数据,以乡镇为单元总结主要环境类型和年际变异环境类型,实现了对美国黄金玉米种植区分辨率为2km的精细划分。在数据类型方面,杜尧东等<sup>[7]</sup>基于已有气象站点,分析了气候变化对广东省水稻种植区域的影响;陈浩等<sup>[8]</sup>基于多源数据研究了近30年东北地区水稻的时空变化特征,分析了水稻分布与气候变化之间的空间响应关系;刘文平等<sup>[9]</sup>利用109个气象站点数据,结合GIS技术,对山西省主要优势作物展开的区划研究,其结果为相关部门提供了作物区划参考信息;许小明等<sup>[10]</sup>利用河东地区17个典型气象站点,对当地玉米种植区进行区划研究,对玉米种植适应性进行了评价。在数据维度方面,王学等<sup>[11]</sup>针对华北平原10年小麦种植面积的时空分布研究,为华北平原调整农业种植结构提供了理论依据;刘哲等<sup>[12]</sup>基于多年环境特征,利用属性聚类方法和类别归属分析法,实现东北地区玉米种植环境时空型区划;Tan等<sup>[13]</sup>通过SPAM-China模型模拟了近30年来东北地区玉米种植系统在像素层面的时空分布,并进一步分析了玉米随经纬度和海拔高度变动的时空变异

前人多在时间和空间两个维度上分别展开研究,或逐年进行环境类别、种植区划划分,这些研究使区划体系不断完善,同时对于提升区划精度具有很好的借鉴意义。但在实际情况中,某地环境的突变会存在影响作物产量的可能性,最终影响整个类别的划分,这种情况并不能合理的代表本地正常情况。因此,为了消除特异性,降低此类情况对于区划的影响,本研究以5年环境特征值的平均值来代表中间年份的环境特征值,同

时热量作为影响玉米生产的重要因素<sup>[14]</sup>,考虑将其作为聚类指标会使研究结果更加具有现实意义,而且能够更加合理的指导优化玉米产业布局,选择光照、温度、降雨、热量和玉米单产等多源数据指标,从空间和时间角度研究了夏玉米种植时空分布特征,研究结果对提高华北平原资源利用效率和优化玉米产业布局具有重要的参考价值。

## 2 研究区概况与数据处理方法

### 2.1 研究区概况

本研究以北京、天津、河北、山东、河南为研究区域,以下简称为研究区。该区域包含了华北平原大部分地区,地理位置处于北纬 $31^{\circ}23'$ ~ $42^{\circ}40'$ ,东经 $110^{\circ}21'$ ~ $122^{\circ}42'$ ,地势平坦,海拔多在50m以下,属暖温带季风性气候,全年降雨量不够充沛,但夏季高温多雨,集中在玉米生长旺季。研究区是中国重要的农业生产区之一,耕地面积约为3091.19km<sup>2</sup>,占全国耕地面积的22.9%。土壤肥沃,以旱作为主,主要粮食作物为小麦、玉米等,其中玉米种植面积占这五个省份耕地总面积的34.5%,玉米总产量约为6759.82万吨,占全国玉米总产量的31.3%。

### 2.2 数据来源

(1) 华北平原底图。来自于中国科学院资源环境科学数据中心提供的2012年中国行政分布图。

(2) 气象数据。1998~2017年的气象数据,来源于国家气象中心提供的中国地面气候资料日值数据集。各气象指标数据源于华北平原69个气象站点的逐日数据,站点具体分布情况如图1所示。

(3) 高程数据。STRM 90m分辨率的DEM数据。

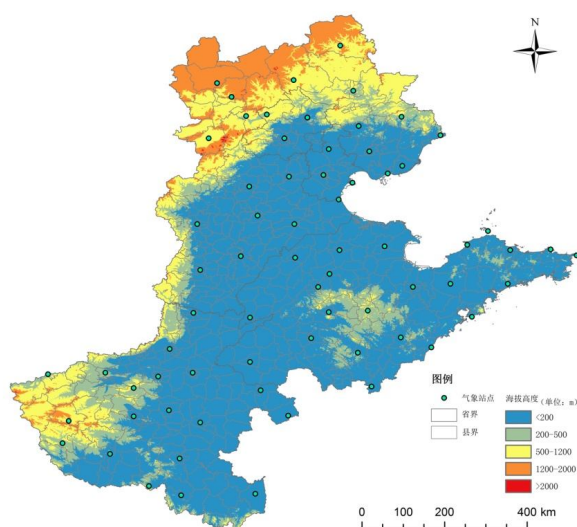


图 1 研究区气象站点空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations in the study area

(4) 玉米生育期主要是玉米播种和成熟日期，数据来源于国家气象信息中心提供的中国农作物生长发育数据集，是基于农业气象站点的点状数据。

(5) 玉米单位面积产量数据。来源于农业农村部各省县域统计数据。

### 2.3 构建环境特征数据库

环境特征数据库实际上就是包含玉米生育期内各气象指标的数据集。

首先采用反距离权重法将得到的点状数据集利用 ArcGIS 软件进行空间插值，得到精度为 5km×5km 的华北地区气象指标栅格数据集。为便于对研究区的环境特征进行表述，将研究区划为地理网格并进行标识，按照从上到下、从左到右的原则，自栅格数据集左上角开始，标记号从 0 开始，依次递增。在借鉴刘哲等<sup>[12]</sup>方法的基础上，对聚类指标以及网格精度进行改进和提高，地理网格中所包含属性值分别为玉米生育期内的累积降雨量、累积日照时数、大于 10℃ 累积活动积温、累积太阳辐射量、高程和坡度等环境特征

指标，考虑到玉米种植区会随时间发生迁移<sup>[15,16]</sup>，因此将玉米单位面积产量作为聚类指标的一部分。

## 3 研究方法

### 3.1 ISOData 聚类法

ISOData 聚类算法可用于区划研究<sup>[17,18]</sup>，它是基于 K-means 中心聚类法改进的聚类方法，与其前身一致，以数据点的集合作为数据源，根据确定的距离函数，将各个数据点迭代到各个类域中。ISOData 算法增加了人机交互机制，设定阈值，在聚类过程中对类进行合并与分裂操作。

ISOData 算法步骤为：①设置初始控制参数；②将数据集中的每个样本按照最小距离原则，将它划分到某一个类中；③如果某个类中的样本个数小于设置的初始值，则聚类中心个数减 1，重复步骤②；④重复进行迭代运算，直至达到步骤①中设置的最大迭代次数或过程收敛。

### 3.2 决定系数 $R^2$ 与半偏决定系数 $R^2$ 的确定

样本总量为  $n$  的样本分成  $k$  类后的  $R_k^2$  统计量的计算公式为：

$$R_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{T} \quad (1)$$

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}}{n} \quad (3)$$

其中， $T$  表示总离差平方和， $\bar{x}$  表示总平均值， $\bar{x}_i (i=1,2,\dots,k)$  表示各组平均值， $x_{ij}$  为第  $i$  组第  $j$  个样本量， $n_i$  表示第  $i$  组的样本数。

$R^2$  越大，表明类与类之间能够更明显的区分开，聚类效果越好，但该值会受到样本量、分类个数的影响，因此只通过  $R^2$  的值来确定聚类数

目的意义不大。

半偏决定系数  $R^2$  的计算表达式为:

$$R_n'^2 = R_{n+1}^2 - R_n^2 \quad (4)$$

$R^2$  越大, 代表聚类效果越好, 因此选择用  $R^2$  与  $R'^2$  来共同确定聚类数目<sup>[9]</sup>。

### 3.3 空间连续性调整

空间连续性调整是将分区后零星的异类网格并入到临近的大类中。种植区划采用空间一体化聚类法划分, 理论上某一分区内的环境特征相似的同时, 在空间上应该是连续的, 也就是说同一分区内的网格应该是不分离的、完整的自然区域。但在实际的多指标属性聚类后, 尽管已经将地理坐标以较小权重考虑在聚类指标内, 能够部分提高空间连续性, 但仍会出现零星的异类网格分布在其他分类或多个类别之间的情况, 因此需要进行空间连续性调整。

### 3.4 玉米种植区划研究

#### 3.4.1 玉米空间型种植区划研究

将地理网格中的各项指标, 包括玉米生育期内的降雨量、日照时数、太阳辐射量等作为玉米种植区划指标, 通过 ISODATA 聚类法对地理网格进行空间属性一体化聚类, 异类网格采用空间连续性调整的方式消除, 最终得到玉米种植环境空间型区划。根据专家打分原则, 将玉米生育期内累积降雨量、累积日照时数、大于 10℃ 累积活动积温和累积太阳辐射量的指标权重设为 0.2, 高程权重为 0.1, 为了调整空间连续性, 将地理坐标 X、Y 以 0.05 的权重作为聚类指标后, 玉米种植区划聚类数的确定如表 1 所示, 预设的聚类数目为 2-9 类, 分别计算分成若干类的  $R^2$  和  $R'^2$ , 可以看出, 当聚类数目为 6、7、8 时,  $R^2$  的值较大, 但对应的  $R'^2$  值过小, 因此确定的最终聚类数目 5 类。

熵权法的基本思路是利用指标变异性的大小来客观确定权重, 因此利用熵权法分析各聚类指

表 1 研究区分为 2-9 类的  $R^2$  和  $R'^2$

Table 1  $R^2$  and  $R'^2$  of 2-9 categories of study area

聚类数	$R^2$	$R'^2$
2	0.6732	0.1643
3	0.8375	0.0726
4	0.9101	0.0129
5	0.9230	0.0181
6	0.9411	0.0028
7	0.9439	0.0061
8	0.95	0.0018
9	0.9518	

标对于区划结果的影响程度, 求得玉米单位面积产量、光照时数、太阳辐射量、降雨量、大于 10℃ 的活动积温的权重分别为 0.15、0.29、0.24、0.21、0.11, 因此光照时数和太阳辐射量对于玉米种植区划的影响较大, 降雨量次之。

#### 3.4.2 玉米时空型种植区划研究

首先对得到的地理网格内的每年环境特征值进行空间一体化聚类, 按照空间型区划方式确定其所含指标、各指标权重、聚类方法、聚类数目。在此基础上, 对多年环境特征值的分类, 以实现地理网格的时空型区划划分。

年际间环境发生变动后, 同一地理网格在不同年份会出现划分在不同类的情况, 经过多年环境特征聚类后, 所有地理网格被划分为诸多类, 如对于同一地理网格, 第一年属于 1 类, 第二年属于 2 类, 第三年又属于 1 类等。逐年计算地理网格的区划类别归属情况, 可以明确逐年各个区划类别的空间分布状况, 形成研究区内逐年区划类别归属分布图, 不同年份之间出现的区划类别分布情况不同。经过比较, 可以看出地理网格年际间的区划类别时空变化情况。

最后分析地理网格区划类别归属度。对于具有多年环境特征的地理网格, 经空间属性聚类后, 归属类别为  $m$  个, 分别对这  $m$  个类别出现的年份进行比较, 若类别 1 出现的概率最大, 则

将类别 1 作为该地理网格的最终归属类别，其归属概率为类别出现年数与总年份的比值。根据此方法，得到每个地理网格的最终归属类别和归属概率，实现地理网格的区划类别空间分布情况，最终得到玉米时空型种植区划。

## 4 结果与分析

### 4.1 研究区多年环境数据特征

环境要素特征值相邻年份间差异不大，但存

在较为明显变化的特异点。本研究采用每 5 年环境特征值的平均值来代表一年的环境特征值，可以在一定程度上降低环境特异点对区划结果的影响，以 2000 年为例，2000 年指标值以 1998~2002 年的各指标均值来代替，依此类推。此方法对于指导农业生产、调整种植结构更具有现实意义。

为了对整个华北五省地区的环境及玉米产量有一个初步的认识，通过对近 20 年（1998~2017 年）的环境变量及玉米产量进行描述性统计，结果如表 2 所示，可见活动积温和太阳辐射属于具

表 2 环境变量及玉米产量描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of environmental variables and maize yields

年份	指标	单位	极小值	极大值	均值	标准误差 SE	标准差 SD	变异系数 CV(%)
1998~2002	降雨量	mm	227.42	653.54	392.69	12	99.68	25.38
	活动积温	℃	1962.5	3201.98	2951.53	28.9	240.09	8.13
	光照时数	h	636.16	1054.28	848.77	11.8	98	11.55
	太阳辐射	MJ/m <sup>2</sup>	2050.11	2558.01	2309.22	13.81	114.68	4.97
	玉米产量	t/hm <sup>2</sup>	1.01	8.94	5.15	0.07	1.6	31.07
2003~2007	降雨量	mm	261.7	926.94	505.07	19.03	159.2	31.52
	活动积温	℃	1917.76	3119.04	2883.27	28.95	242.23	8.4
	光照时数	h	529.44	1010.02	729.62	13.74	114.99	15.76
	太阳辐射	MJ/m <sup>2</sup>	1900.88	2493.02	2146.54	16.19	135.49	6.31
	玉米产量	t/hm <sup>2</sup>	1.11	9.15	5.66	0.06	1.23	21.73
2008~2012	降雨量	mm	265.56	747.54	485.34	12.02	100.56	20.72
	活动积温	℃	1909.9	3146.1	2882.89	30.2	252.7	8.77
	光照时数	h	491.34	1019.18	722.04	15.58	130.31	18.05
	太阳辐射	MJ/m <sup>2</sup>	1837.22	2504.38	2134.76	18.63	155.91	7.3
	玉米产量	t/hm <sup>2</sup>	1.35	12.41	6.12	0.06	1.38	22.55
2013~2017	降雨量	mm	289.56	717.38	420	9.77	81.75	19.46
	活动积温	℃	1988.78	3247.72	2913.45	32.29	270.14	9.27
	光照时数	h	526.24	1007.78	773.42	13.19	110.35	14.27
	太阳辐射	MJ/m <sup>2</sup>	1681.53	2480.22	2195.29	17.76	148.57	6.77
	玉米产量	t/hm <sup>2</sup>	1.46	9.39	5.94	0.06	1.39	23.33
1998~2017	降雨量	mm	276.13	750.76	451.24	11.53	96.44	21.37
	活动积温	℃	1944.73	3143	2905.73	29.69	248.38	8.55
	光照时数	h	575.31	1016.85	767.49	12.64	105.77	13.78
	太阳辐射	MJ/m <sup>2</sup>	1962.8	2500	2195.21	14.63	122.43	5.58
	玉米产量	t/hm <sup>2</sup>	1.59	8.84	5.72	0.05	1.2	20.98

有强烈自相关性的弱变异,光照时数和降雨量具有中等自相关性,玉米产量属于人为活动,会受到品种、环境等要素的影响<sup>[20]</sup>,属于中等变异。

## 4.2 玉米生产环境特征数据空间分析

对逐年各指标进行空间聚类,结果如图 2 所示,将研究区玉米种植区划分为极不适宜区、不适宜区、较适宜区、适宜区、极适宜区 5 大类,后文采用第 I、II、III、IV、V 类来代替。适宜

性高的区域,玉米与环境的吻合度相对高,产量也相对较高。据图 2 比较可见,每一环境类别在多年间的分布情况是不同的,体现了环境在空间和时间两个维度上的变异情况。整个研究区内,各类别占比与类别间边界在年际间也是不同的。

如表 3 所示,分析各年份各类别所占比例可知近 20 年玉米种植区中的 I 类区域、II 类区域和 V 类区域比较稳定, I 类区域维持在 10%左右, II 类区域在 2010 年的比例略有降低,其余

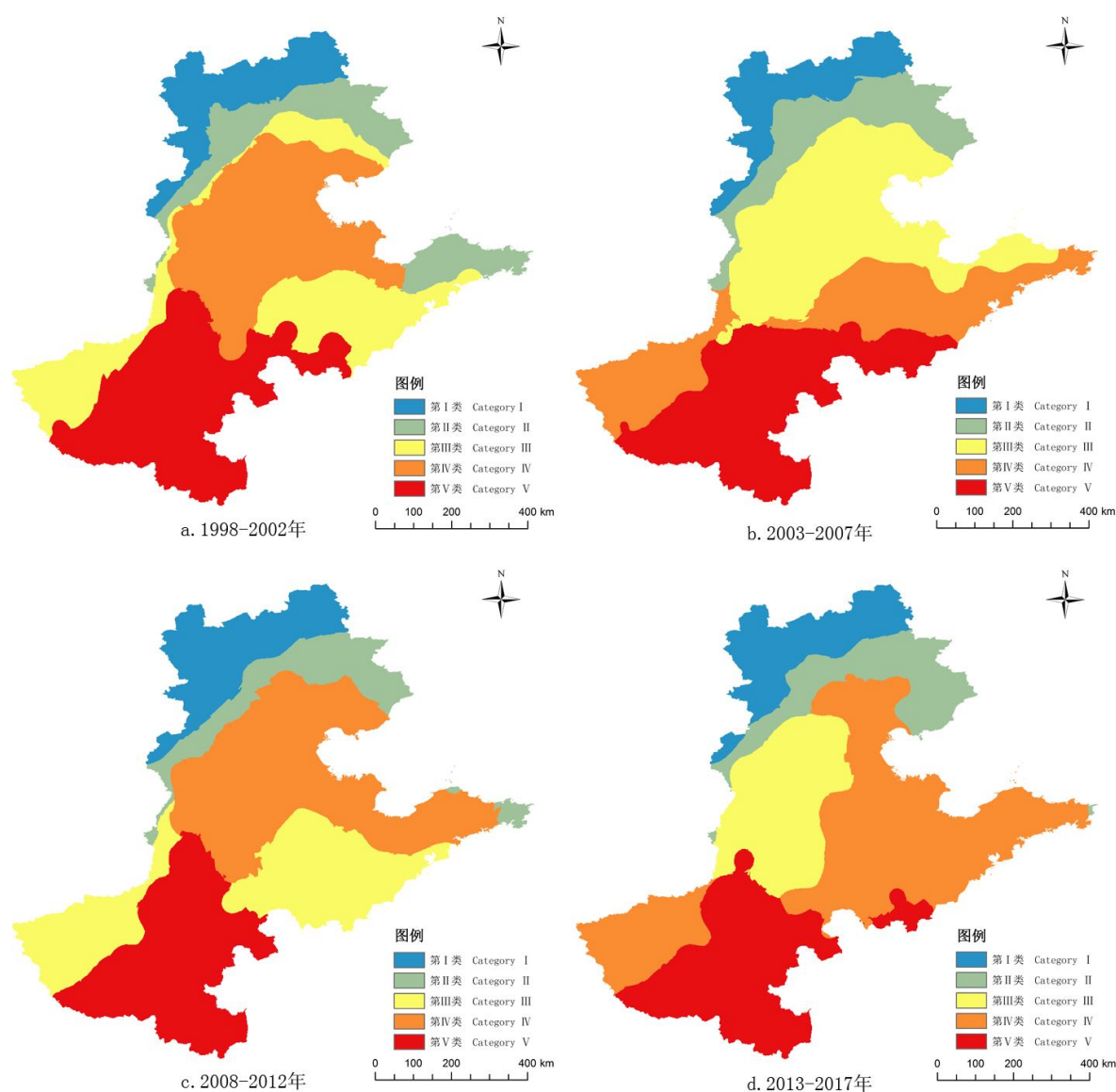


图 2 多年环境特征空间分布 (1998~2017 年)

Fig. 2 Spatial distribution of environmental characteristics over years 1998-2017



表 3 不同年份各类别所占比例

Table 3 Proportion of different categories in different years

年份	各类所占比例 (%)				
	一类	二类	三类	四类	五类
1998~2002	10. 73	13. 36	21. 77	27. 4	26. 74
2003~2007	9. 86	11. 8	30. 28	22. 25	25. 81
2008~2012	12. 42	9. 34	9. 22	46. 58	22. 44
2013~2017	11. 16	11. 27	16. 93	40. 05	20. 59

年份占比约为 12%，Ⅲ类和Ⅳ类波动明显，在 2013~2017 年间两者浮动差距最大。

地理网格年际间类别变化可能由以下几个原因导致：①地理网格多年环境特征差异明显，使其在年际间属于不同的类别；②在实际操作的过程中，即使环境未发生改变，或改变幅度较小，但玉米种植区域受到人为调整，导致在聚类过程中，地理网格被划分为不同类别。

环境年际间的变化导致地理网格的归属度的不确定性，并不会影响其空间环境型的相对稳定性。某一地理网格必定会存在属于某一环境类别的趋势，那么此类别就可以用来描述该地理网格。

4.3 玉米空间型种植区划

对具有 20 年环境特征的地理网格计算各指标均值，通过 ISOData 聚类方法，得到玉米种植环境空间型区划，结果如图 3 所示。

分析不同区划类别各指标特征值范围，结果如表 4。根据不同区域玉米产量的平均值，将种

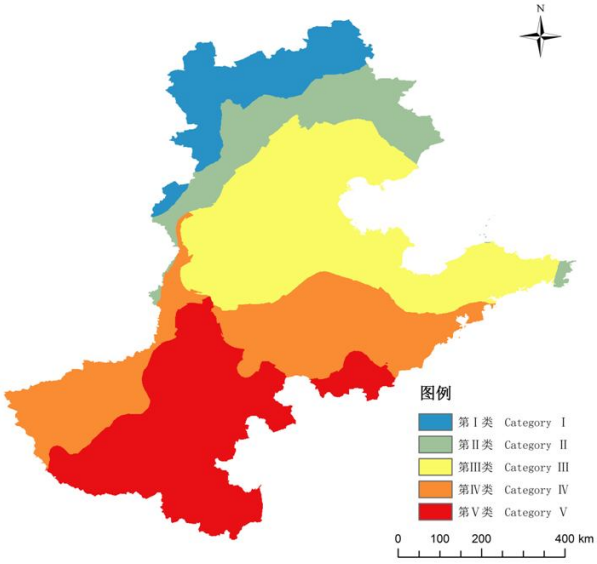


图 3 玉米种植环境空间型区划

Fig. 3 Spatial regionalization of maize planting environment

植区适宜性列为：Ⅰ<Ⅱ<Ⅴ<Ⅲ<Ⅳ类，分别为极不适宜性、不适宜性、较适宜性、适宜性、极适宜性。

近 20 年各区划类别所占比例分别为：Ⅰ类

表 4 不同类别种植区指标范围

Table 4 Scope of indicators for different types of planting areas

指标	单位	玉米不同类别种植区指标范围				
		Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
降雨量	mm	小于 420	300, 500	340, 480	360, 620	400, 660
太阳辐射量	MJ/m <sup>2</sup>	大于 2240	2120, 2480	2080, 2400	2000, 2240	2040, 2240
>10℃积温	℃	小于 2600	2500, 2900	2800, 3100	2800, 3000	大于 2900
光照时数	h	大于 810	750, 990	720, 930	600, 780	630, 750
玉米产量的平均值	t/hm <sup>2</sup>	3. 5	5. 1	5. 8	5. 9	5. 5

10.18%、Ⅱ类 11.28%、Ⅲ类 30.17%、Ⅳ类 23.6%、Ⅴ类 24.77%。Ⅰ类和Ⅱ类在近 20 年所占比例与每五年计算所占比例差别不大,Ⅲ类和Ⅳ类变化幅度明显,主要原因是五省中部降雨增多或减少导致区划发生改变。研究过程中,空间型的玉米种植区划的聚类指标是 20 年的特征均值,它会导致 20 年特征值中的变异点被中和,不能被显示出来,仅体现出 20 年来的平均水平,空间型的种植区划只考虑空间上的变化,忽略时间维度的变异性,为了提升区划结果的准确性,进行了时空型玉米种植区划研究。

#### 4.4 玉米时空型种植区划

在上述研究的基础上,采用地理网格多年区划类别归属度分析方法,计算研究区内所有地理网格的区划类别归属度,确定地理网格的最终归属类别以及归属概率,实现研究区内玉米时空型种植区划,结果如图 4 (a) 所示,右下角图例中的三位数字,从左往右,第一位代表该地理网格最终归属的环境类别,后两位表示该地理网格属于此环境类别的概率,若后两位数字为 00,则代表该地理网格 100% 的概率属于该环境类别,图例中的第一行为 0,代表该地理网格属于变动区。

因波动区面积范围过大,将波动区进行进一步划分,结果如图 4 (b) 所示,两位数字表示该区域内,环境类别在两者之间发生波动,如“34”表示该区域内环境类别在Ⅲ类和Ⅳ类之间变化,单位数表示在该区域内,属于该类别的概率为 50%,0 则为每年的环境类型都不相同。

概率在 75% 以上,环境类别属于Ⅰ类的占比 10.47%,Ⅱ类的占比 9.07%,Ⅲ类的占比仅为 0.77%,Ⅳ类的占比 22.6%,Ⅴ类的占比 19.69%,Ⅰ、Ⅱ和Ⅴ三类时空分布比较稳定,隶属度为 100% 分别占的比例为 87.67%、70.41% 和 84.28%。波动区内,主要是Ⅲ、Ⅳ类和Ⅳ、Ⅴ类之间的波动,其中Ⅲ、Ⅳ类波动的占比 49.92%,Ⅳ、Ⅴ类之间波动的占比 9.95%。通过图 4 可以看出,类别Ⅳ和类别Ⅴ为多年间出现的主要环境类别,位于大类交界处的区域,由于年际间环境的变化以及种植区划的调整,导致这些边缘地带的环境类别的不确定性;第Ⅲ类只存在于很小的区域,通过图 2 分析原因可能是此地 20 年间出现频率明显变动;图 2 中可明显看出同一区域在不同年之间属于不同的环境类别,如第Ⅲ类和第Ⅳ类,主要原因是光照时数与太阳辐射量影响导致。

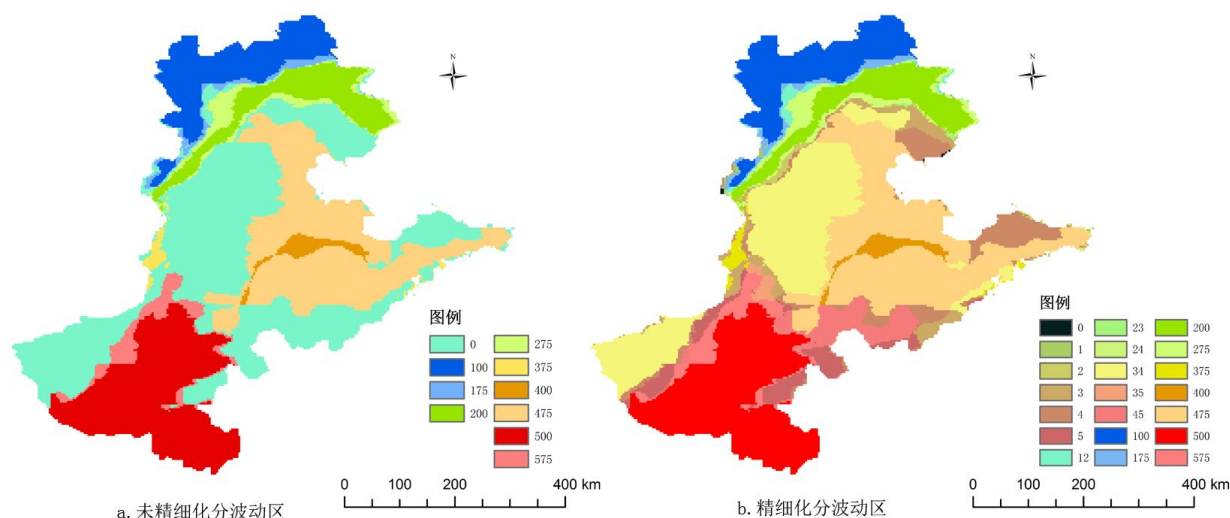


图 4 玉米环境时空型区划

Fig. 4 Space-time regionalization of maize environment



时空型的种植区划从空间和时间两个维度上来进行区域划分,在考虑空间变异性的同时,也凸显了不同年际间环境的波动,区划结果更能够体现研究区内的主要环境类型,加深对环境的认知性,对比玉米空间型种植区划来说,一直是极适宜和适宜的区域应该保留和发展玉米产业,极不适宜和不适宜的区域应该适当减少玉米种植,对于波动敏感区域应该重点关注玉米的稳产性。

## 5 讨论与结论

前人多选用无霜期、积温、年平均温和降雨量等气象指标,利用最大熵模型评价我国玉米种植气候适宜性,分析影响因子<sup>[21,22]</sup>,研究结果对于调整产业布局具有积极作用。本研究玉米种植区划适宜性趋势大体上与前人研究结果一致,但前人研究范围大,对于整个华北平原划分2-3类,种植亚区也未进行精细划分。因此本研究结合实际生产状况,适当缩小研究范围,将影响玉米生长的太阳辐射量作为聚类指标之一,将玉米单位面积产量代替玉米种植面积,对于反映实际玉米种植优劣更加合理,将华北五省分为5大类,每一大类又细分为5个小类,研究结果更加精细。为降低某地环境突变对区划结果的影响,采用五年各指标均值代替中间年份指标特征值。利用此研究方法对玉米种植区划类别归属情况进行划分时,归属概率仅会出现25%、50%、75%、100%四种情况,以75%和100%的概率为区划类别的最终归属,25%与50%的情况默认为区划类别波动区。气象站点的密度会影响插值精度<sup>[24]</sup>,所以在环境特征值的插值过程中,因数据源气象站点的稀疏性,使插值结果在一定程度上会与实际的地理环境特征不符。

为了较准确描述种植环境的时空变化分布,以5km×5km的地理网格作为研究对象,计算了华北五省玉米生育期内累积活动积温、降雨量、日照时数和太阳辐射量等种植环境指标特征值,建立了多年环境特征数据库。利用空间一体化聚

类方法,以每五年的环境特征值均值及作物单位面积产量作为聚类指标,对地理网格进行聚类分析,将华北五省的玉米种植区按照适宜性划分为极不适宜性、不适宜性、较适宜性、适宜性、极适宜性,并利用环境类别归属分析方法完成了华北五省玉米时空型种植区划,发现类与类之间的交汇处,环境的变异、玉米产量的起伏都会降低地理网格的归属概率,导致所属区划类别易发生波动。本研究选用光照、温度、降雨、热量和玉米单产等指标,考虑了环境在空间和时间双维度上的变异情况,贴合实际生产情况,有效提高了研究区夏玉米种植对环境的认知性,使区划结果更加精确,对于提高研究区资源利用效率和优化玉米产业布局具有现实意义。

本研究中气象站点仅为69个,因此在后续研究中,将获取更为密集的站点数据,以期达到提升区划精度的目的;将研究区内的耕地分布作为区划对象相比于研究整个行政区更能反映出作物种植情况,这也是后续研究的重点。

## 参考文献

- [1] 韩长赋. 农业农村部部长韩长赋: 中国农业有底气应对经济风险[J]. 现代农业装备, 2018(5): 5-7.  
Han C. Han Changfu, minister of agriculture and village affairs: China's agriculture has the confidence to deal with economic risks[J]. Modern Agricultural Equipment, 2018 (5): 5-7.
- [2] 李天祥, 朱晶. 近十年来中国粮食内部种植结构调整对水土资源利用的影响分析 [J]. 中国人口. 资源与环境, 2014, 24(9): 96-102.  
Li T, Zhu J. Impacts of inter-crop structural adjustment on China's water and land use in grain production in the last ten years [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(9): 96-102.
- [3] 王飞, 邢世和. 作物种植区划研究进展 [J]. 中国农业资源与区划, 2007, 28(5): 37-40.  
Wang F, Xing S. Progress of the research on crop plant-

- ing regional planning [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2007, 28(5): 37-40.
- [4] 刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近 30 年中国农作物种植结构时空变化分析[J]. 地理学报, 2016, 71(5): 840-851.
- Liu Z, Yang P, Wu W, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5): 840-851.
- [5] 刘焕军, 闫岩, 张新乐, 等. 面向农业区划的作物种植结构遥感提取 [J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(8): 43-54.
- Liu H, Yan Y, Zhang X, et al. Remote sensing extraction of crop planting structure oriented to agricultural regionalization [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(8): 43-54.
- [6] Löffler C M, Wei J, Fast T, et al. Classification of maize environments using crop simulation and geographic information systems[J]. Crop Science, 2005, 45(5): 1708-1716.
- [7] 杜尧东, 沈平, 王华, 等. 气候变化对广东省双季稻种植气候区划的影响 [J]. 应用生态学报: 2018, 29(12): 4013-4021.
- Du Y, Shen P, Wang H, et al. Impacts of climate change on climatic division for double cropping rice in Guangdong province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(12): 4013-4021.
- [8] 陈浩, 李正国, 唐鹏钦, 等. 气候变化背景下东北水稻的时空分布特征 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2571-2579.
- Chen H, Li Z, Tang P, et al. Rice area change in Northeast China and its correlation with climate change [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(8): 2571-2579.
- [9] 刘文平, 武永利, 赵永强, 等. 山西省主要优势作物的农业气候区划 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(3): 140-145.
- Liu W, Wu Y, Zhao Y, et al. Agricultural climate zoning for main crops in Shanxi [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(3): 140-145.
- [10] 许小明, 徐玉霞, 董奇, 等. 甘肃省河东地区玉米种植适宜性评价和区划 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(3): 230-235, 243.
- Xu X, Xu Y, Dong Q, et al. Suitability evaluation and regionalization of maize planting in Hedong area of Gansu province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(3): 230-235, 243.
- [11] 王学, 李秀彬, 谈明洪, 等. 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, 31(8): 190-199.
- Wang X, Li X, Tan M, et al. Remote sensing monitoring of changes in winter wheat area in North China Plain from 2001 to 2011[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(8): 190-199.
- [12] 刘哲, 刘玮, 胥菁莉, 等. 基于多年环境特征的东北春玉米时空型种植区划研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 125-131.
- Liu Z, Liu W, Zan X, et al. Temporal and spatial planting regionalization description of spring maize in Northeast China based on several years environmental characteristics[J]. Transactions of the CSAM, 2017(6): 13, 125-131.
- [13] Tan J, Yang P, Liu Z, et al. Spatio-temporal dynamics of maize cropping system in Northeast China between 1980 and 2010 by using spatial production allocation model [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(3): 397-410.
- [14] 邹定荣, 刘建栋, 刘玲, 等. 基于作物生长模型及 CAST 分类的华北夏玉米生产力区划研究 [J]. 气象科学, 2015, 35(1): 66-70.
- Wu D, Liu J, Liu L, et al. Regionalization of summer maize productivity in North China based on crop growth model and CAST method[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2015, 35(1): 66-70.
- [15] 吕超, 耿献辉, 张荣敏. 中国马铃薯种植的时空布局演化研究[J]. 统计与决策, 2017, (18): 136-140.
- Lv C, Geng X, Zhang R. Study on the spatial and tempo-

- ral distribution evolution of potato planting in China[J]. Statistics and Decision, 2017, (18): 136-140.
- [16] Fan L, Liang S, Chen H, et al. Spatio-temporal analysis of the geographical centroids for three major crops in China from 1949 to 2014 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(11): 1672-1684.
- [17] 金晓斌, 张鸿辉, 周寅康. 基于模糊 ISODATA 聚类方法的农用地定级研究 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 82-85.
- Jin X, Zhang H, Zhou Y. Agricultural land gradation based on the fuzzy ISODATA clustering method [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 82-85.
- [18] 付强. 基于多源数据的田块尺度精准管理分区研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- Fu Q. Study on precision management zones based on multi-source data in field scale[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016.
- [19] 李春林, 陈旭红. 应用多元统计分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- Li C, Chen X. Applied multivariate statistical analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.
- [20] 赵祖亮, 曲艺伟, 刘哲, 等. 玉米产量的品种与环境互作效应空间分布规律[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 232-238.
- Zhao Z, Qu Y, Liu Z, et al. Spatial distribution of interaction effect between variety and environment on maize yield[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(24): 232-238.
- [21] 何奇瑾, 周广胜. 我国玉米种植区分布的气候适宜性 [J]. 科学通报, 2012, 57(4): 267-275.
- He Q, Zhou G. Climate suitability of distribution of corn planting areas in China [J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(4): 267-275.
- [22] 郭贵青. 简析我国玉米种植区分布的气候适宜性[J]. 山西农经, 2018(9): 83-84.
- Guo G. A brief analysis of the climate suitability of corn planting area distribution in China[J]. Shanxi Agricultural Economy, 2018(9): 83-84.
- [23] 苏利军. 呼和浩特市气候资源区划与农作物区划[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.
- Su L. Hohhot city zoning of climatic resources and crop division[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2014.
- [24] 蒋育昊, 刘鹏举, 夏智武, 等. 站点密度对复杂地形 PRISM 月降雨空间插值精度的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(4): 115-120.
- Jiang Y, Liu P, Xia Z, et al. Effects of spatial station density on accuracy of spatial interpolation of monthly rainfall over complex terrain base on PRISM [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2017, 41(4): 115-120.

## Regionalization research of summer corn planting in North China Plain based on multi-source data

Xingliang Diao<sup>1,2</sup>, Zaijie Yang<sup>3</sup>, Qifeng Li<sup>1</sup>, Jingxin Yu<sup>1</sup>, Wengang Zheng<sup>1</sup>, Leigang Shi<sup>1\*</sup>

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China;

2. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

3. Sinochem Fertilizer Co., Ltd, Beijing 100031, China)

**Abstract:** Accurate identification of agricultural production environment information and agricultural production characteristics, comprehensive classification of meteorological, soil and crop multi-source data, are the bases for improving the efficiency of agricultural resource utilization and optimizing the structure of agricultural cultivation. Based on the meteorological data of nearly 20 years and the statistics of corn yield, this study first constructed a database of spatial and temporal distribution characteristics of climate resources and corn production in North China Plain, and there were significant spatiotemporal changes in rainfall, activity accumulated temperature, sunshine hours, solar radiation and corn yield. By using the method of fine crop planting regionalization, the summer corn planting areas in the North China plain were divided into 5 categories: the extremely unsuitable area, the unsuitable area, the less suitable area, the suitable area, and the most suitable area, the proportions of each type of area in the total area is about 10%, 11%, 25%, 30%, 24%, respectively, further through using the Environmental Category attribution analysis method, each large class was divided into 5 subcategories, the probability was greater than 75% the relatively stable region accounts for about 63% of the total area, the fluctuation area of less than 75% is about the stable spatial and temporal distribution of 37%; the extremely unsuitable area, the unsuitable area and the less suitable area, these three kinds of spatial and temporal distributions were relatively stable, the belonging degree was 100%, accounting for 87.67%, 70.41% and 84.28%, respectively, the fluctuation zone mainly occurs between the extremely suitable zone and the suitable zone, and between the suitable zone and the relatively suitable zone. The fine zoning of summer corn in North China Plain has important guiding significance for improving the utilization efficiency of local resources and optimizing the layout of corn industry.

**Key words:** summer corn; multi-source data; temporal and spatial distribution; fine regional planning