

李正金,李卫国,李菁,等. 基于多因子分析的水稻种植适宜性研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(16):271-275.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.064

基于多因子分析的水稻种植适宜性研究

李正金¹, 李卫国², 李菁¹, 陆一磊³

(1. 江苏省南京市气象台,江苏南京 210019; 2. 江苏省农业科学院农业信息研究所,江苏南京 210014;

3. 江苏省南京市高淳区气象局,江苏南京 211300)

摘要:利用南京市全市 35 个近农田的气象站数据进行统计分析,综合考虑了水稻产量、品质和病虫害等影响因素,基于多因子分析筛选出水稻生长期 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温、扬花至灌浆期的平均气温和日照时数为水稻适宜性区划指标,采用多元回归法建立区划模型,使用“3S”技术制作专题图。结果表明:南京地区水稻抽穗至灌浆期的平均气温总体呈现振荡上升的趋势,热量和温度条件趋好;而日照时数呈现下降的趋势,对水稻种植的影响将突显;各指标的空间分布总体上是中南部好于北部地区;制作出的南京地区水稻精细化的气候区划专题图,对水稻品种选择和布局调整具有较好的应用价值。

关键词:水稻;多因子分析法;适宜性气候区划;“3S”技术;南京地区

中图分类号: S162.5⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)16-0271-05

2004 年以来我国水稻产量实现“13 年丰”的壮举,产量大幅提升,消费者对稻米品质的要求也越来越高,水稻生产由原先的片面追求产量提高逐步向量、质并重的方向发展^[1]。江苏南京作为传统的“鱼米之乡”,近年来全市大力实施农业“1115 工程”,重点突出建设 6.67 万 hm^2 高标准粮田的要求,提出“稳定面积,优选品种,提高产量”的粮食生产方针。在全球气候变暖背景下,如何更好地利用温光资源,充分发挥水稻品种生产潜力,实现水稻高产、稳产、优质,是新形势下亟待解决的重要问题。因此,进行优质水稻精细化气候区划研究有重要意义,对政府科学决策,农民合理安排水稻生产,实现优质水稻的高效生产,从而实现农业增效和农民增收,推动农业的可持续发展都具有重要意义。

前人关于影响水稻产量和稻米品质的气候指标研究成果较多,李亚春等根据适宜优质水稻品种安全生育与产量形成的温光生态特性及其机制,利用“3S”技术进行优质水稻精细化气候区划,进而提出优质水稻品种布局优化建议,为水稻品种选择和生产提供依据^[2];沈陈华根据水稻营养生长和生殖生长期间的日照总时数、降水总量、平均气温、平均昼夜温差、平均日最低气温和平均日最高气温距平的连续小波分析结果显示,这些气候因子存在不同的显著周期,在开花结实期,日照时数增多有利于水稻产量的增加^[3];朱大伟等通过试验数据研究发现,水稻生育期内的总积温、总日照时数、抽穗后积温和抽穗后日照时数与产量及构成因素呈极显著相关^[4];任万军等通过籽粒灌浆的几个特征参数的研究,提出弱光影响籽粒灌浆,导致充实不良,垩白米率、垩白度大幅度上升,透明

度、光泽、整精米率、胶稠度降低,碾米品质与外观品质均变劣^[5];董明辉等发现,灌浆期光照度变化对稻米品质形成影响较大,结实期光照度减弱使籽粒碾米品质和外观品质变差、直链淀粉含量降低、崩解值下降、消碱值上升,而粗蛋白质含量增加,食味品质变差(灌浆期不同光照度对水稻不同粒位籽粒品质的影响)^[6]。以上均是针对气候要素对水稻产量或稻米品质方面的影响进行的研究,而有关优质水稻生产的综合性区划指标鲜有报道。

本研究在前人研究基础上,通过系统分析南京市气候资源现状,综合水稻品种安全生育、产量和品质形成的温光生态特性,基于多因子分析法确定关键气候指标,利用多元回归法建立水稻种植的适宜性区划模型,利用“3S”技术制作南京地区水稻种植气候区划图。

1 材料与方法

1.1 数据来源

气象资料来源于全市 29 个区域自动站、5 个国家基本气象站 2006—2015 年地面观测资料,以及南京国家气候基准站 1951 年以来的地面观测资料(1951—2015 年),共 35 个气象站(表 1),包括平均气温、降水量、日照时数等数据。气象资料预先采用标准化处理。其中,区域自动站的主要选择依据为距离最近的水稻田 5 公里范围内(图 1),能够更好地代表农田的基本气候特征。

地理信息资料采用国家基础地理信息中心提供的、比例尺为 1:50 000 的南京市基础地理背景数据。南京市位于长江中下游冲积平原的边缘,海拔较低,中、北部多低矮起伏的丘陵,沿江圩区和南部两湖(石臼湖、固城湖)地带地势平坦。由于地势相对平坦,气象要素垂直变化小,但是纬度跨度较大,南北有较明显的气候带差异,利用常见的数据插值方法能较好解决气候要素的空间分布问题。

1.2 因子分析法确定水稻种植适宜性区划指标

因子分析(factor analysis)是一种降维、简化数据的技术。

收稿日期:2017-11-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:41171336);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)3054]。

作者简介:李正金(1984—),男,江苏句容人,硕士,工程师,主要从事应用气象研究。E-mail:vanecao@126.com。

通信作者:李卫国,博士,研究员,主要从事作物生长与病虫害遥感监测研究。E-mail:jaaslw@126.com。

表 1 区域自动站

区域	编号	自动站所在地	区域	编号	自动站所在地
六合区	M4757	龙袍街道	溧水区	M5554	石湫镇
	M3543	龙池街道		M3581	洪蓝镇
	M6711	金牛湖		M3582	白马镇
	M6722	平山林场		M5556	大树下
	M3521	马鞍街道		M5557	晶桥镇
浦口区	M3531	永宁街道	高淳区	M6775	和凤镇
	M4732	后圩社区		M5562	砖墙镇
	M4734	汤泉农场		M6708	阳江镇
	M3532	星甸石桥		M5561	古柏镇
	M4736	桥林街道		M6719	东坝镇
江宁区	M4708	谷里街道		M3591	桤溪镇
	M4705	江宁铜井		M5558	桤溪定埠
	M6774	横溪西阳		M5559	桤溪永庆
	M6718	横溪蔬菜所			
	M6772	谷里石坝			
	M4707	淳化街道			

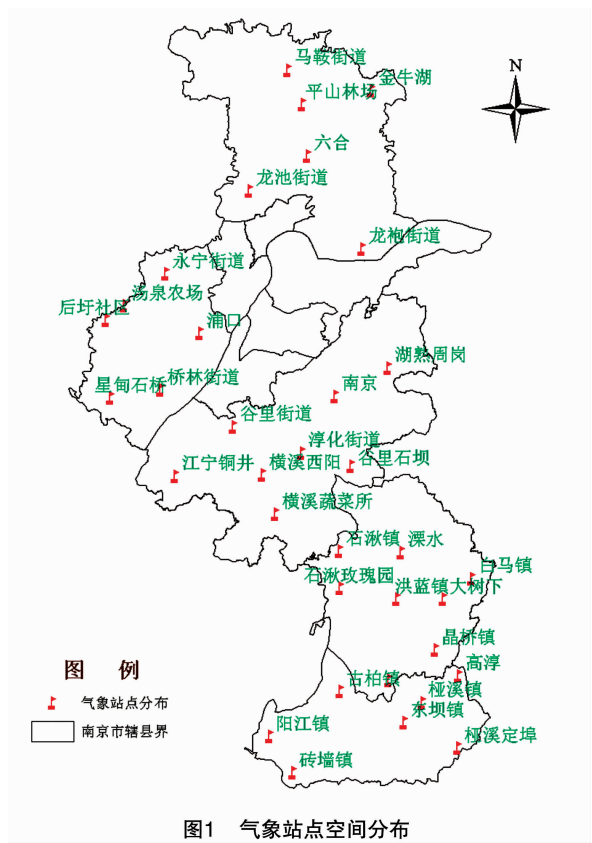


图1 气象站点空间分布

从研究指标相关矩阵内部的依赖关系出发,把一些信息重叠、具有错综复杂关系的变量归结为少数几个不相关的综合因子的一种多元统计分析方法。基本思想是:根据相关性大小把变量分组,使得同组内的变量之间相关性较高,但不同组的变量不相关或相关性较低,每组变量代表 1 个基本结构——即公共因子。

本研究有关水稻种植的适宜性分析,主要从气候影响水稻产量、品质和病虫害等 3 个方面来评定。前人分别对水稻的产量、品质和病虫害与气候因子的关系做了大量的试验研究,也取得了大量的共识,因此本研究主要依据前人的研究成

果,通过多因子分析法,筛选影响南京地区水稻生长的综合性气候指标。

1.3 数据标准化处理

本研究涉及到的区划指标中存在量纲和数量级差异,例如水稻全生育期 10℃ 以上的积温 (ET_{5-10}) 的数量级是 10^3 ,而平均气温的数量级是 10^2 ,为了消除各指标的量纲和数量级的差异,须对每一个指标值进行规范化处理。

数据标准化处理主要包括数据同趋化处理和无量纲化处理 2 个方面。数据同趋化处理主要解决不同性质数据问题,对不同性质指标直接加总不能正确反映不同作用力的综合结果,须先考虑改变逆指标数据性质,使所有指标对测评方案的作用力同趋化,再加总才能得出正确结果。数据无量纲化处理主要解决数据的可比性。

本研究中各个指标规范化计算采用 Z 分数 (Z-score) 标准化方法,将各个指标进行归一化处理,其公式:

$$X^* = \frac{X - \mu}{\sigma}.$$

(1)

式中: X^* 是指标 X 的规范化值; X 是指标原始值; μ 和 σ 分别是样本数据的均值和标准差。该标准化方法适用于最大值和最小值未知的情况,或有超出取值范围的离群数据的情况。

1.4 多元回归法建立区划模型

本研究采用多元回归法进行水稻种植适宜度区划建模,并且依据各气候指标对优质水稻种植区适宜度的贡献,引入权重系数,突出关键影响因子。基于层次分析 (AHP) 和专家调研 (delphi) 法确定权重系数,根据农业栽培专家对水稻生长发育关键性指标的认知和经验,按气候指标的重要性程度对各指标 (属性) 进行比较、赋值和计算得出其权重系数。最终的区划模型计算公式:

$$Y = \sum_{i=1}^n P_i X_i.$$

(2)

式中: Y 为区划模型的评价指数,即多项气候指标的综合评价指数之和; X_i 为第 i 项气候指标的标准化值; P_i 为第 i 项气候指标的权重系数; n 为气候指标的个数。

1.5 区划重分类方法

根据全市水稻种植适宜性气候区划模型,采用南京市的 1:50 000 精度的 GIS 地理信息数据,利用 IDW 插值法,然后进行重分类^[7]。

本研究选取的农业气候区划重分类方法是自然断点分级法 [natural breaks (jenks) classification method], 自然断点分级法用统计公式来确定属性值的自然聚类。公式的功能就是减少同一级中的差异、增加级间的差异。其公式为:

$$SSD_{i-j} = \sum_{k=1}^j (A[k] - mean_{i-j})^2 (1 \leq i < j \leq N).$$

也可表示为:

$$SSD_{i-j} = \sum_{k=1}^j A[k]^2 - \frac{(\sum_{k=1}^j A[k])^2}{j-i+1} (1 \leq i < j \leq N).$$

(3)

式中: A 是一个数组 (数组长度为 N), $mean_{i-j}$ 每个等级中的平均值。该方法可用 ArcGIS 软件自带的功能模块实现。

2 结果与分析

2.1 水稻适宜性气候指标确定

根据前人研究成果可知,水稻生长期 (5—10 月) $\geq 10^\circ\text{C}$

的有效积温 ET_{5-10} 、水稻扬花至灌浆期(8—9 月)的平均气温 T_{8-9} 和日照时数 S_{8-9} 等气候要素与水稻产量呈极显著相关^[3-4];水稻品质主要与灌浆结实期(8—9 月)的平均气温 T_{8-9} 和日照时数 S_{8-9} 等气候要素密切相关^[5-9];水稻扬花至灌浆期(8—9 月)是水稻稻瘟病最易感时期,此期间日照时数 S_{8-9} 、降水日数 Rd_{8-9} 和空气相对湿度 Rh_{8-9} 等气候要素与稻瘟病发生流行程度有较强的相关关系^[10-13]。

对于水稻生产的主要气候影响因子主要有以上 5 个气候指标,数量多,增加了分析问题的复杂性;指标之间可能存在一定的相关性,因此使用因子分析法,来筛选确定评价模型所需的相对简化的气候指标。

将水稻种植的适宜性的各个气候指标进行相关分析检验。由表 2 可以发现,扬花至灌浆期的 S_{8-9} 、 Rd_{8-9} 、 Rh_{8-9} 3 个气候指标之间的相关系数显著超过 0.5,其中 S_{8-9} 与 Rd_{8-9} 、 Rh_{8-9} 之间存在显著的负相关性,而 Rd_{8-9} 和 Rh_{8-9} 之间存在较好的正相关性,因此可以用 S_{8-9} 作为公共因子,来表征日照时数和湿度等气候指标。

表 2 各气候指标之间单相关系数

气候指标	相关系数			
	ET_{5-10}	T_{8-9}	S_{8-9}	Rh_{8-9}
T_{8-9}	0.454 908			
S_{8-9}	0.065 004	0.188 123		
Rh_{8-9}	-0.107 790	-0.284 560	-0.689 5	
Rd_{8-9}	0.191 674	0.041 836	-0.759 9	0.710 982

因此最终确定的影响水稻种植适宜性的气候区划指标为水稻生长期(5—10 月) $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 ET_{5-10} 、水稻扬花

至灌浆期(8—9 月)的平均气温 T_{8-9} 和日照时数 S_{8-9} 等气候指标。经过数据标准化后,3 个气候指标的指数形式分别为 X_{ET} 、 X_T 、 X_S 。

2.2 水稻适宜性气候指标分析

温度既是影响水稻生长发育、产量及品质的重要因素,也是确定水稻品种区域布局和稻作熟制的首要条件。1951—2015 年南京地区(以南京国家基准气候站为准)水稻扬花至灌浆期(8—9 月)的平均气温(图 2)总体呈现振荡上升的趋势,这也是和全球气候变暖的总体趋势一致,说明南京地区水稻生长的温度和热量条件非常适宜。

光照是水稻产量、品质和病虫害发生程度的重要气象因子。根据 1951—2015 年南京地区(以南京国家基准气候站为准)水稻扬花至灌浆期(8—9 月)的日照时数的统计结果(图 3)可知,日照时数总体呈现明显下降的趋势,反映出此时段南京地区阴雨日数有增多趋势。而由前人的研究结论可知,水稻生长关键期,特别是扬花灌浆期日照时数对水稻产量、品质形成均呈现密切相关性^[4,6],而此时段日照不足,遭遇寡照阴雨天气,对病虫害发生流行也有非常大的影响^[11],因此对于优质水稻生长、日照时数因子的作用也会更加突显。

根据南京地区水稻种植适宜性区划气候指标,对全市 35 个气象站 2006—2015 年地面观测资料进行统计分析,依托南京市 GIS 地理信息数据,采用 500 m \times 500 m 小网格插值,获得各区划指标要素在地理空间上的分布特征。

图 4 为 2006—2015 年南京地区水稻全生育期间 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温(ET_{5-10})平均值分布图。由图 4 可以看出,在水稻生长期内,整体热量资源丰富,总体范围在 4 210 ~

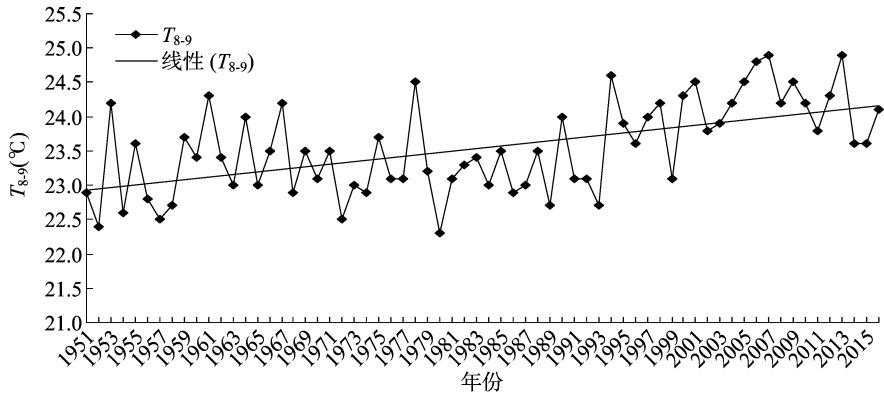


图2 1951—2015 年南京站 T_{8-9} 的变化趋势

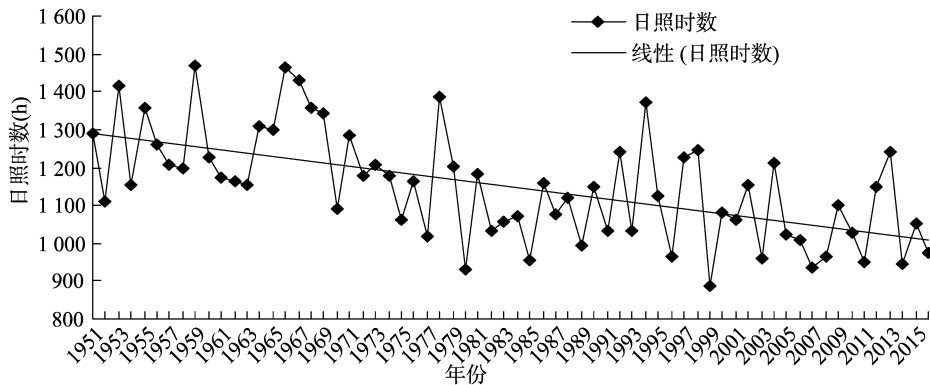


图3 1951—2015 年南京站 S_{8-9} 的变化趋势

4 500 ℃ 之间,根据水稻的品种参数克制,这样的热量资源满足所有早熟、中熟、晚熟水稻的生育期要求。但是,南北近 300 ℃ 的积温差异还是非常明显。其中,六合区中北部地区有效积温普遍在 4 300 ℃ 以下,而长江以南大部分地区积温都在 4 400 ℃ 以上。

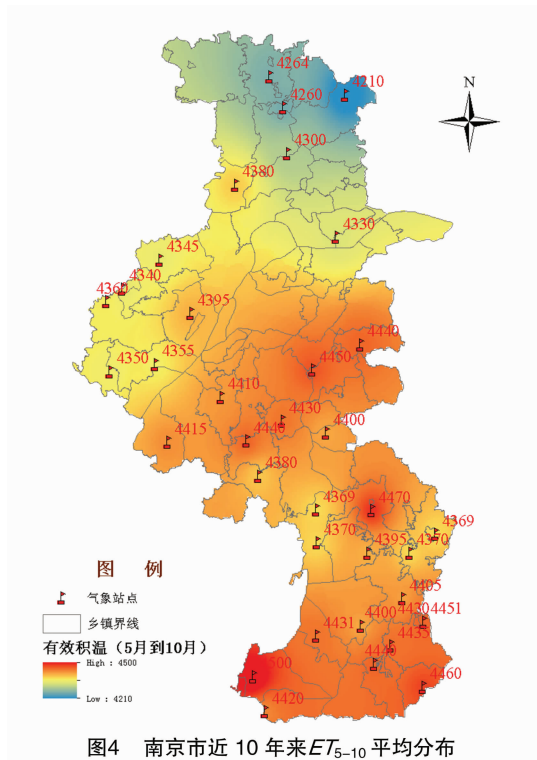


图4 南京市近 10 年来 ET_{5-10} 平均分布

图 5 为 2006—2015 年, 南京地区水稻扬花至灌浆期 (8—9 月) 的平均气温 (T_{8-9}) 分布图, 由图 5 可以看出, 此阶段南京地区平均气温为 24.5 °C, 基本呈南北向分布, 但是与积温分布还是有明显区别, 其中六合和浦口北部地区基本都在 24 °C 以下, 而高淳大部分地区都在 25 °C 以上, 所有地区的气温都满足水稻生长。

图 6 为 2006—2015 年,南京地区水稻扬花至灌浆期(8—9 月)的日照时数(S_{8-9})的平均分布图,由图 6 可见,此时段南京地区平均日照时数为 205.1 h,但具有较为明显的地域差异,日照时数最多的地区主要分布在溧水、江宁东南部地区,而相对较低的则是江北地区和高淳西南部地区。日照时数对水稻的产量、品质和病虫害的发生都有较为显著的影响,其差异为优质水稻品种的布局和优化提供了空间。

2.3 水稻适宜性区划模型的确立

依据因子分析法筛选的气候指标并经过数据标准化,通过加权求和得到的总分值来评价某一地区的水稻生长的适宜度,最终的适宜性区划模型可以表示为:

$$Y = a \cdot X_{ET} + b \cdot X_T + c \cdot X_{S\odot} \quad (4)$$

式中:权重系数 a, b, c 根据农业栽培专家对水稻生长发育关键性指标的认知和经验,按气候指标的重要性程度对各指标进行比较、赋值和计算得出(表3)。

最终得到水稻种植适宜性区划模型为:

$$Y = X_{ET} + 2 \cdot X_T + 3 \cdot X_{S\odot} \quad (5)$$

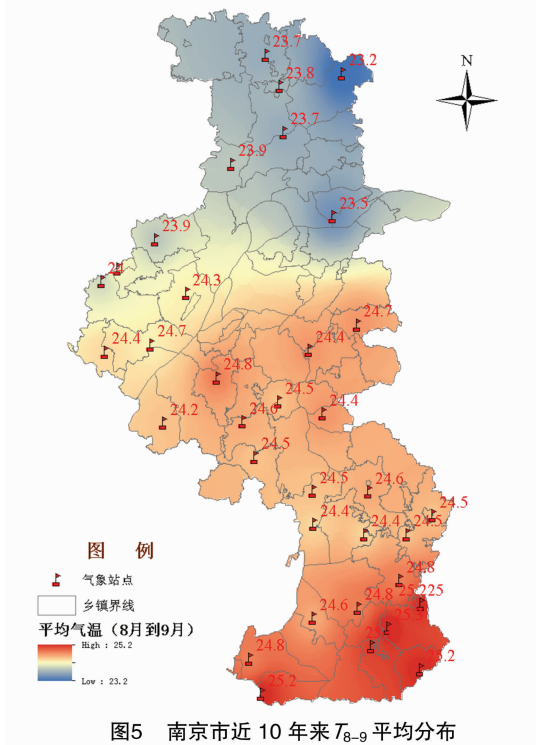


图5 南京市近 10 年来 T_{8-9} 平均分布

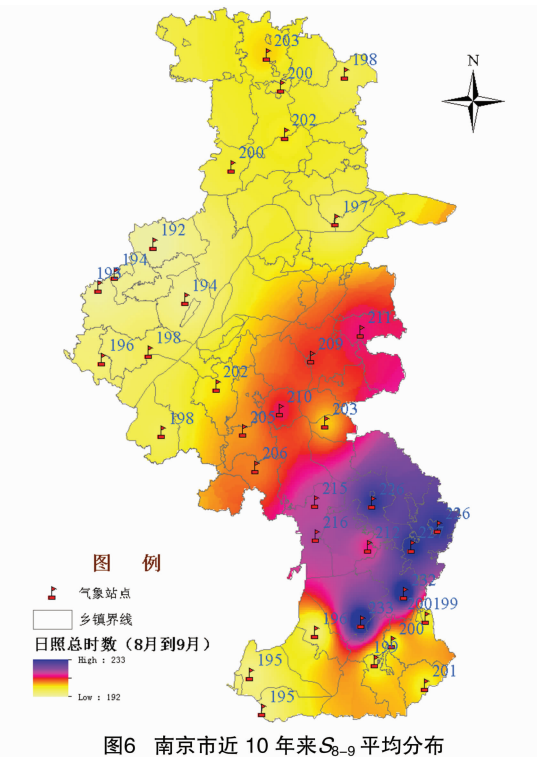


图6 南京市近 10 年来 S_{8-9} 平均分布

表3 优质水稻生产各因子的气候指标贡献

气候指标	产量因子	品质因子	病虫害因子
ET_{5-10}	√		
T_{8-9}	√	√	
S_{8-9}	√	√	√

2.4 水稻适宜性等级区域划分

根据南京水稻种植适宜性气候区划模型获得的区划指标

