第44卷，第9期
2023年9月
中国农业资源与区划
Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning
Vol.44，No.9，pp179-188
Sept，2023

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20230918

·农业区划·

基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细化评价研究*

王 珑[1]，何英彬[1,2※]，王向一[1]，陈慧聪[3]，王用业[1]，
吴秀英[1]，宁 炯[3]，张志良[4]，焦宜帆[1]

（1.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，北京 100081；
2.南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心，南京 210044；
3.天津工业大学环境学院，天津 300387；4.西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院，陕西杨凌 712100）

摘 要 ［**目的**］为优化我国冷凉区作物种植结构布局，选择我国东北黑龙江、吉林和内蒙古冷凉地区为研究区，基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细化评价方法，开展典型马铃薯早熟、中晚熟品种种植适宜性研究。［**方法**］文章根据马铃薯干重与生育时间函数关系获取以每天为评价基本单元的纵向加权精细化赋值，基于随机森林方法获取横向环境指标精细化加权值，生成马铃薯种植适宜性评价结果图；应用马铃薯空间实际种植点及DSSAT-SUBSTOR-Potato模型模拟马铃薯单产，对适宜性评价结果进行交叉验证。［**结果**］（1）早熟品种费乌瑞它的种植适宜区集中于大兴安岭林区与平原交界的缓冲地带，而马铃薯中晚熟品种延薯四号适宜区分布在平原、林区与平原交界处。无论是费乌瑞它或是延薯四号，其在牡丹江林前耕地区域的适宜性普遍不高，但是在牡丹江周围的平原耕地适宜性较好。（2）基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细化评价方法与模型评价方法有关早熟品种的评价结果较为一致，重合度超过70%；在生长期较长的中晚熟品种的适宜区评价中，由于权重和生长期差异导致评价结果出现不同，尤其在低适宜区差异更加明显，重合度低于40%。［**结论**］由此可知，应用不同方法评价作物种植适宜性时，不同的品种可能获取不同的结论。

关键词 马铃薯 适宜性 精细评价 过程导向时空加权 随机森林

中图分类号：S162.2 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-9121［2023］09-0179-10

0 引言

由于我国冷凉区生态环境脆弱，玉米产量低而不稳，建议该区立足气候条件、生产水平和产业基础，从时间和空间上合理布局，科学引导不同类型区域农业结构调整；此后，东北局部冷凉区大量农户尝试将玉米改种马铃薯，但实际种植效果存在突出问题："同乡不同产"的现象较为普遍，即在几乎相同的栽培、管理方式下种植同一品种，收获的马铃薯单产不同。实践问题折射的科学本质是：受数据和方法所限，对冷凉区马铃薯种植适宜性分析不够精细。在具体实践层面，还需要开展马铃薯种植适宜性空间精准评价，从而为政策落地提供理论和方法依据。

作物种植适宜性评价的主要目的在于分析某个地块现时作物生产能力或预测未来潜在生产能力[1]。作物种植适宜性评价是土地适宜性评价中最重要、开展较早的研究方向之一[2]，很多学者从不同的角度做了大量的研究工作。

收稿日期：2023-06-01

作者简介：王珑（1987—），男，山东东营人，博士。研究方向：作物生长适宜性与作物布局政策

※**通讯作者**：何英彬（1977—），男，吉林省吉林市人，研究员。研究方向：作物生长适宜性与作物空间布局。Email: heyingbin@caas.cn

*资助项目：国家自然科学基金项目"基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细化评价研究"（41771562）

（1）作物种植适宜性评价空间尺度变化方面，耕地适宜性层面的评价已经逐步细化为耕地内部不同作物类型种植适宜性评价，随之而来的是以耕地为研究对象建立的评价指标体系逐步细化为针对某种作物类型种植适宜与否而建立的指标体系。这一过程通常是以粮食作物种植适宜性研究如小麦[3]、玉米[4,5]、水稻[6]和马铃薯[7]等为开端，逐步拓展到其他经济作物领域[8-10]。

（2）作物种植适宜性评价时间尺度变化方面，动态因子评价准确与否直接决定了综合适宜性评价结果的精度[11]，早期气候适宜性研究普遍是以多年气候数据的年、月平均值作为气候因子的评价指标，虽然具有一定的研究意义，但与作物生长期没有匹配，生长期之外的数值会对结果产生干扰，鉴于上述研究的局限性，有些学者具有针对性地做了修正研究，根据研究区作物种植的田间经验，设定生长季起止期，计算多年生长期内气候数据平均值，分析作物气候要素适宜性[12,13]；而随着研究的深入，时间基本评价单元也由作物生长季逐步细化为生长季的不同生育阶段，即针对作物生长季内不同生育阶段的不同气候要素开展种植适宜性评价研究，并赋予其权值[14]。

（3）作物种植适宜性指标体系和加权方法的研究方面，特尔斐法（Delphi）是适宜性评价研究中应用非常广泛的加权方法，其实质是半定量半定性相结合的方法，一定程度上消除了加权过程中人为因素的干扰且简便实用[15]；但特尔斐法咨询周期长，仍带有主观随意性，而线性回归、关联度、变异系数和指数加权法等量化方法可以很好地克服这一弱点，因此得到快速发展[16]；上述方法实现了加权的量化，但有时需要较多样本，且对于自变量、因变量之间的线性关系要求较高，权值完全定量化有时与实际情况相差较大，仍需要专家知识经验参与权值确定[17]；基于此，有些学者开展了将专家知识融入定量加权的尝试，如特尔菲法与模糊数学理论相结合，这类方法提高了权值确定的精度[18,19]。针对作物种植适宜性分析研究进展，总体而言还有几方面亟待提高：作物种植适宜性评价的时间基本单元需要进一步细化；需要开展基于物候期精准表达的作物种植适宜性空间精细化研究；建立作物不同生长阶段动态评价指标体系；对作物种植适宜性评价结果进行验证。

基于以上阐述，文章以我国东北冷凉区局部为研究区域，基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细化评价方法开展了不同马铃薯品种种植适宜性的研究，以期为该地区马铃薯种植实践提供理论和方法支撑。

1 研究方法与数据处理

1.1 研究区域

该研究选取黑龙江省、吉林省和内蒙古自治区的冷凉区作为研究区域（图1），统称为东北冷凉区。冷凉区位于高纬度、高寒地区，包括黑龙江北部和内蒙古东北部第四、五积温带以及吉林东部山区，该区域内有大兴安岭、小兴安岭、长白山等山脉，山地面积占比大，耕地主要分布在三江平原和东北平原北部地区。该地区≥10 ℃积温在1 900~2 300 ℃，无霜期仅有90多天，昼夜温差大，使得冷凉区气候风险大。

1.2 田间试验

为完成横向时间精确加权，田间试验定在吉林省公主岭市范家屯的吉林省农业委员会作物长期定位试验站点开展，选取具有代表性的早、中晚熟马铃薯品种费乌瑞它和延薯四号为研究对象。试验点每个马铃薯品种重复3次，共6个小区。重复区内马铃薯株距20~30 cm，垄宽80~90 cm，每行25株，每小区播种100株，重复间留1 m过道。试验田靠近水泥路边一侧设置4个保护行，靠近其他作物一侧设置2个保护行。马铃薯生长关键期（结薯起始期及块茎快速膨大期等）每3天取样测量一次，其他时段每5~7 d（早熟）或7~10 d（中晚熟）取样测量一次。马铃薯取样按如下方法进行：在每个试验点开展试验时，每个品种的3个不同重复区同时取样，为避免边界效应，每次取样从重复区第3垄开始，每垄随机抽选10株马铃薯，抽选时尽量避开边界马铃薯植株，将选中的植株全部挖出，分器官称取鲜重（根、茎、叶、花、

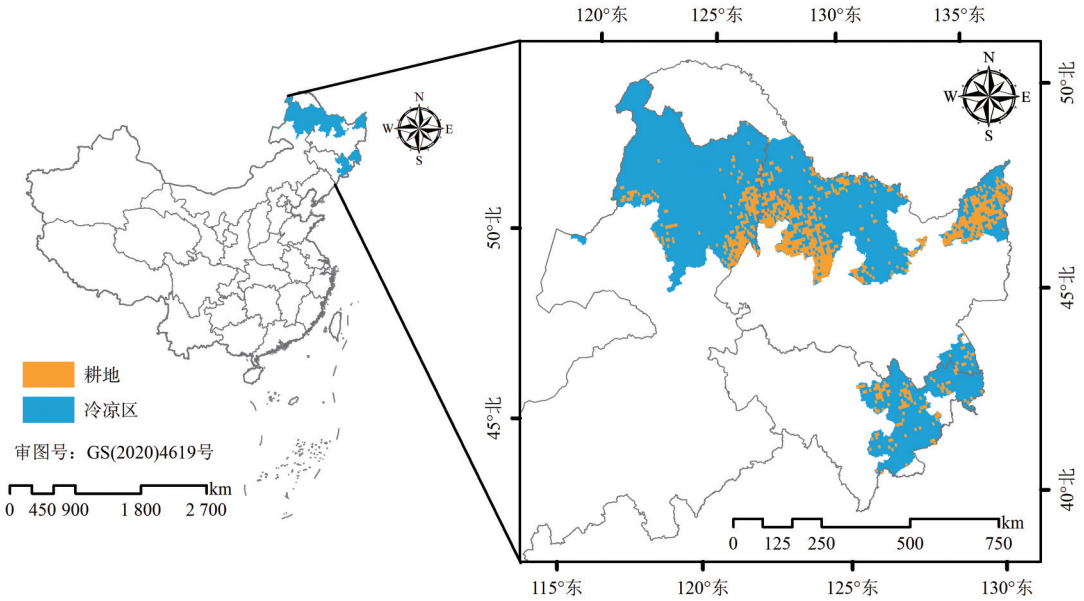

图1　研究区域概况

果实、种子），再烘干称取干重。施肥与其他管理措施同当地大田生产。试验于2018年、2019年、2021年执行。

冷凉区土壤数据采集和处理：研究团队成员分别赴东北冷凉区开展了土壤采集工作。共采样8个县，80个样方，400个样点。获取了铝盒重（g）、铝盒重+湿土重、铝盒重+干土重、称样重（g）、浸提（1 mol/L KCI）体积、仪器测定铵态氮浓度、仪器测定硝态氮浓度稀释倍数、土壤含水量、土壤铵态氮含量（mg/kg）、土壤硝态氮含量（mg/kg）等土壤数据。

1.3　基于过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细评价方法

1.3.1　基于过程导向的马铃薯种植适宜性纵向时间加权研究

经过对比分析，选取2018年试验效果最好的马铃薯器官干重数据进行分析。应用SPSS软件Logistic曲线模型对马铃薯播种后生理发育时间[20]与全株干重进行拟合。费乌瑞它生长函数以生理发育时间为自变量、马铃薯块茎干物质积累量为因变量，曲线拟合结果为：

$$Y_{fa} = 85.146 \times \exp\left[-(T_{fa} - 205.991)/21.638\right] \tag{1}$$

式（1）中，Y_{fa}是费乌瑞它干物质积累量（g），T_{fa}是费乌瑞它生理发育时间；决定系数R^2为0.928。延薯四号拟合公式为：

$$Y_{yan} = 97.449 \times \exp\left[-(T_{yan} - 198.664)/16.119\right] \tag{2}$$

式（2）中，Y_{yan}是延薯四号干物质积累量（g），T_{yan}是延薯四号生理发育时间；决定系数R^2为0.982。两个回归模型拟合效果较好。

以生理发育时间为横轴，马铃薯干物质积累量为纵轴（图2），将Logistic曲线函数求一阶导数，获得与生理发育时间相对应的干物质量积累速率值，并进行归一化处理，取值0~1，归一化值可作为各指标基于过程导向的马铃薯种植适宜性纵向时间加权值。

1.3.2　马铃薯种植适宜性地理指标横向加权方法

经分析构建出马铃薯评价指标体系及每个指标适宜值等级范围（表1），采用专家知识赋值方法，将适宜范围等级量化，取值在0~1，即最适宜为1，适宜为0.75，次适宜为0.5，不适宜为0.25。

应用随机森林算法为各生长阶段指标进行横向加权。某一节点k的重要性为：

$$n_k = Q_k M_k - Q_l M_l - Q_r M_r \tag{3}$$

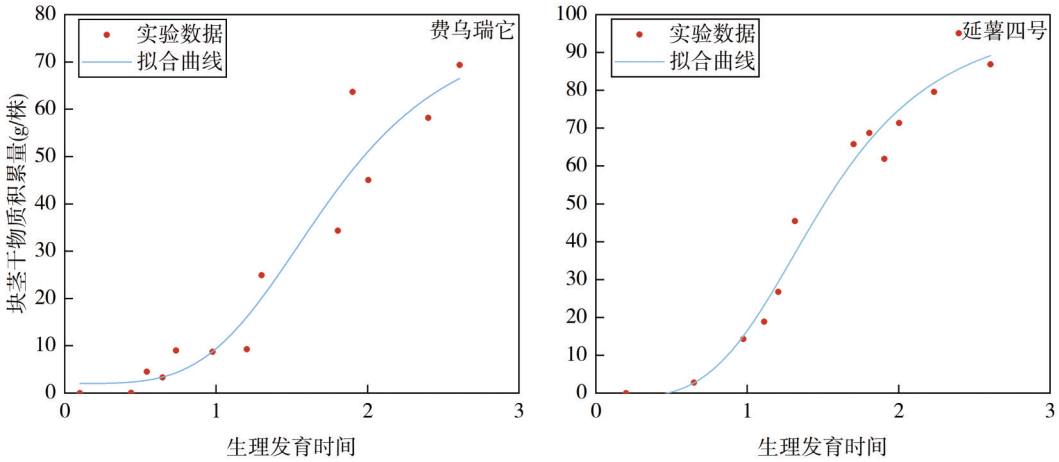

图2 马铃薯生理发育时间与生物量Logistics曲线拟合

表1 马铃薯评价指标体系

指标	指标因子	适用范围
水分	土壤湿度(%)	50~60最适宜,45~50或60~70适宜,50~55或70~80次适宜,<40或>80不适宜
	空气湿度(%)	>75最适宜,60~75适宜,45~60次适宜,<45不适宜
光照	日照时长(h)	400~700最适宜,700~900适宜,900~1200次适宜,>1 800不适宜
土壤	pH	5.5~6.0最适宜,5~5.5和6~7适宜,4.8~5和7~7.8次适宜,<4.8和>7.8不适宜
	沙粒含量(%)	40~55最适合,30~40和55~75适宜,75~85和85~100次适宜,0~30不适宜
	粉粒含量(%)	75~100最适合,45~75适宜,20~45次适宜,0~20不适宜
	黏粒含量(%)	0~15最适合,15~25适宜,25~45次适宜,45~100不适宜
	有机物(g/kg)	>35最适宜,28~35适宜,15~28次适宜,<15不适宜
	速效钾(mg/kg)	150~200最适宜,120~150适宜,100~120次适宜,<100不适宜
	有效磷(mg/kg)	>200最适宜,180~200适宜,150~180次适宜,<150不适宜
	碱解氮(mg/kg)	>100最适宜,70~100适宜,50~70次适宜,<50不适宜
温度	昼夜温差(℃)	8~12最适宜,5~8适宜,2~5次适宜,<2不适宜
	土壤温度(℃)	10~12最适宜,6~10和12~16适宜,2~6和16~20次适宜,<2和>20不适宜
	日均温(℃)	14~17最适宜,10~14和17~20适宜,8~10和20~24次适宜,<8和>24不适宜
	最高温(℃)	高于29时,块茎终止生长
	最低温(℃)	低于2时,块茎终止生长
地形地貌	海拔(°)	>1 200最适宜,500~1 200适宜,300~500次适宜
	坡度(°)	<5最适宜,5~15适宜,15~25次适宜,>25不适宜

式（3）中，Q_k、Q_l、Q_r分别为节点k及其左右节点中训练样本与总训练样本数目的比例，M_k、M_l、M_r分别为节点k及其左右子节点的不纯度。掌握每一个节点的重要性之后，即通过公式得出某一指标的重要性p_i。

$$p_i = \frac{\sum_{j \in \text{feature}} n_j}{\sum_{k \in \text{all}} n_k} \tag{4}$$

为了使所有指标的重要性加起来等于1，需要对每一个指标重要性进行归一化处理，公式为：

$$P_{ni} = \frac{p_i}{\sum_{j \in \text{all feature}} p_j} \tag{5}$$

使用Python语言应用随机森林算法，以产量为输出变量，五大环境指标的各个子指标为输入变量，利用研究区样本数据，运行程序分别得到影响两个不同品种的马铃薯的各个相关指标的权重大小，具体结果如表2所示。

表2　马铃薯种植适宜性不同地理环境指标横向权重

因素	指标	费乌瑞它		延薯四号	
		权重	权重和	权重	权重和
温度	低温	0.011 6	0.066 4	0.018 4	0.061 0
	高温	0.013 3		0.005 8	
	均温	0.013 0		0.006 0	
	均地温	0.013 6		0.030 8	
	温差	0.014 9		0.016 4	
光照	日照均	0.176 8	0.176 8	0.077 3	0.077 3
水分	降水	0.017 6	0.054 8	0.024 4	0.084 4
	均湿	0.037 2		0.060 0	
土壤	黏粒含量	0.035 2	0.674 1	0.037 5	0.746 3
	沙粒含量	0.021 8		0.013 7	
	粉粒含量	0.036 9		0.034 9	
	pH	0.219 6		0.235 3	
	土壤湿度	0.015 7		0.018 9	
	碱解氮	0.289 5		0.351 8	
	速效钾	0.025 2		0.034 1	
	有机质	0.013 9		0.006 2	
	有效磷	0.016 3		0.013 9	
地形地貌	坡度	0.020 8	0.027 9	0.021 0	0.031 0
	海拔	0.007 1		0.001 0	

1.4　适宜性评价结果验证

1.4.1　马铃薯种植实际种植点验证适宜性

通过广泛收集冷凉区马铃薯种植统计信息、冷凉区实地观测并结合高分辨率遥感影像进行目视解译，获得冷凉区708个马铃薯实际种植点（图3）。取马铃薯种植适宜性值25%分位数以下为低适宜区，25%~75%分位数为中适宜区，高于75%分位数为高适宜区；将早、晚熟品种的高适宜区叠加，确定马铃薯高种植适宜区范围。通过调研发现该区种植马铃薯单产较高，因此，假定马铃薯实际种植点即为适宜种植点，落在适宜区范围内的实际种植点比例可验证马铃薯种植适宜性。

1.4.2　DSSAT-SUBSTOR模型参数率定及敏感性分析

研究应用DSSAT-SUBSTOR模型模拟研究区马铃薯单产，应用研究结果对基于动态过程导向的马铃薯种植适宜性评价结果进行交叉验证。DSSAT-SUBSTOR模型品种参数的率定过程及参数取值参见段丁丁等的研究[21]。单产模拟时，使用马铃薯水氮限制情景。模型中输入的气象数据是2001—2021年20年研究区域内各气象站点马铃薯生育期内平均逐日最高温度、最低温度、降雨量和日辐射，再使用各气象站点平均逐日气象数据插值形成冷凉区内1 000 m×1 000 m的逐日气象数据，插值方法见何英彬等的研究[22]；土壤数据包括各土层的土壤容重、土壤有机碳、pH等参数；管理数据如播期、收获期、行距和播种密度等根据田间采样及文献资料设定，田间管理参数根据调研获取的大田种植实践设置（同于田间试验）。将以上数据输入DSSAT-SUBSTOR模型并应用R语言进行栅格批处理。

2　研究结果

2.1　冷凉区马铃薯种植适宜分布

根据横纵二维指标体系，获取费乌瑞它和延薯四号两个马铃薯品种在研究区适宜种植的分布图（图3）。结果显示：早熟品种费乌瑞它的种植适宜区集中于大兴安岭林区与平原交界的缓冲地带（红色区域），而马铃薯中晚熟品种延薯四号适宜区分布在平原、林区与平原交界处。无论是费乌瑞它或是延薯四号，其在牡丹江林前耕地区域的适宜性普遍不高，但是在牡丹江周围的平原耕地适宜性较好，尤其是延薯四号晚熟品种在这一地区耕作适宜性较高，这与2021年该课题组实地考察的情况较为符合。

通过马铃薯实际种植点验证，90%的点落在早、晚品种高适宜区内。在马铃薯种植适宜性评价方法中，土壤碱解氮、pH和日照时长值获得较高权重，是马铃薯种植适宜性重要的权重因素。研究区西北部的额尔古纳市、鄂伦春自治旗、根河市位于大兴安岭山区，东北部的伊春市、逊克县位于小兴安岭东南段以及吉林省东部边境的长白山区均位于山地和林区，不适合马铃薯种植。三江平原地区属温带湿润、半湿润大陆性季风气候，全年日照时数为2 400~2 500 h，7月均温为21~22 ℃，无霜期为120~140 d，10 ℃

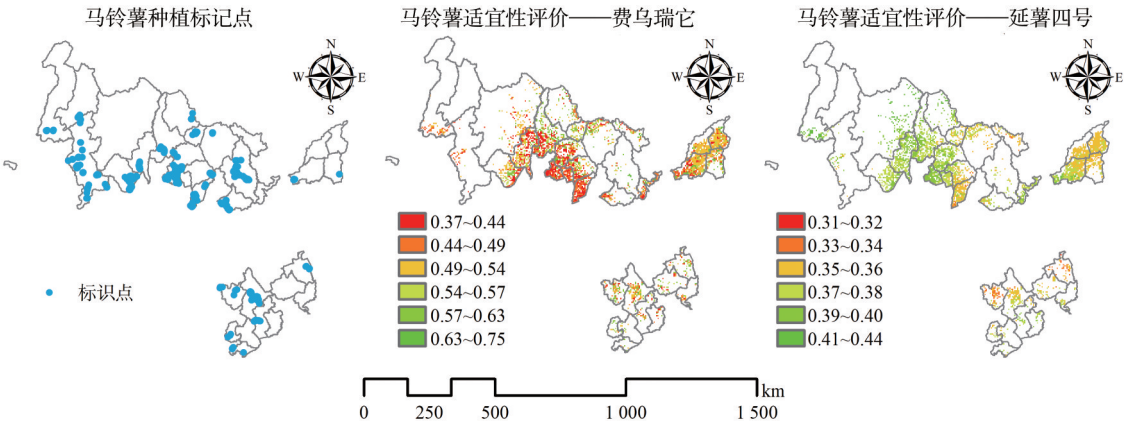

图3 马铃薯种植适宜性图及空间验证点

以上活动积温为2 300~2 500 ℃，在指标评价方法中，均以中高适宜区分布为主，虽然纬度较高，年均气温1~4 ℃，但夏季温暖，最热月平均气温在22 ℃以上，雨热同季，适宜多种农作物生长。三江平原在实际生产中已经种植了大面积的水稻，南部有部分马铃薯种植。

2.2 DSSAT-SUBSTOR模型模拟结果

图4（左）为DSSAT-SUBSTOR模型模拟的马铃薯品种费乌瑞它水氮限制产量。由图4（左）可知：内蒙古呼伦贝尔市东南部莫力达瓦达斡尔族自治旗和与阿荣旗东南部及黑龙江省西南部费乌瑞它水氮限制产量3 142~5 705 kg/hm^2，黑龙江省东部同江市、抚远县南部和富锦市北部地区费乌瑞它产量5 705~6 868 kg/hm^2，富锦市东南部费乌瑞它产量6 868~11 704 kg/hm^2；吉林省东部地区费乌瑞它产量3 142~6 868 kg/hm^2。

由图4（右）可知：内蒙古省莫力达瓦达斡尔族自治旗与阿荣旗东南部的延薯四号水氮限制产量大多4 084~8 580 kg/hm^2，少数地区产量8 580~10 503 kg/hm^2；黑龙江省西南部（五大连池市、海伦市、嫩江县、克山县、克东县等）延薯四号产量4 084~13 089 kg/hm^2，由南向北逐渐升高；黑龙江省东部延薯四号产量6 658~13 089 kg/hm^2，由南向北产量逐渐降低；吉林省蛟河市与敦化市中部、珲春市南部和东宁县东部延薯四号产量4 084~8 580 kg/hm^2，其他地区产量8 580~17 267 kg/hm^2。延薯四号和费乌瑞它的产量分布较为一致，但延薯四号的产量整体要高于费乌瑞它。

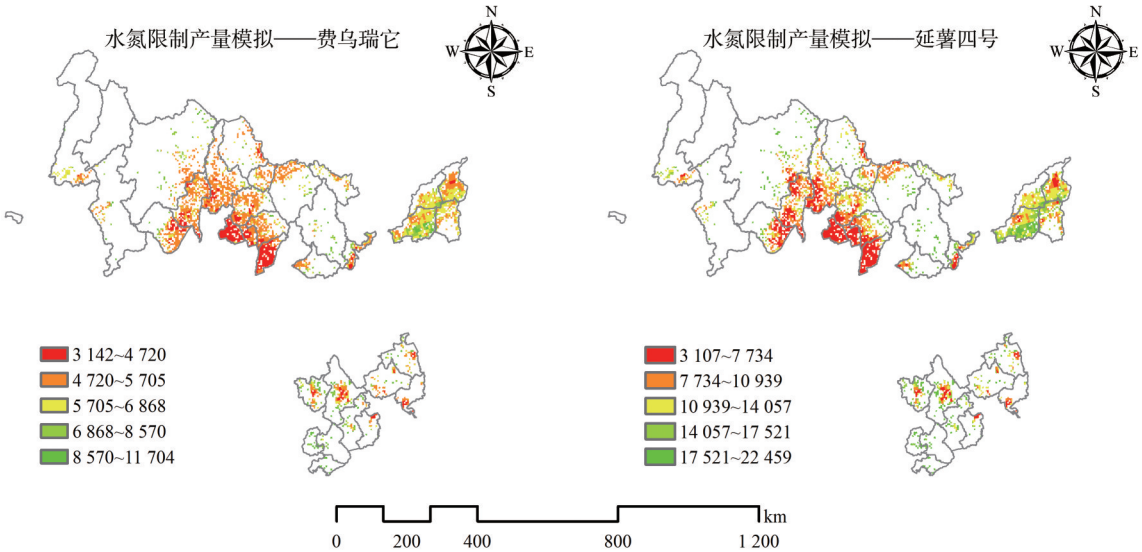

图4 费乌瑞它和延薯四号DSSAT-SUBSTOR模型水氮限制单产模拟分布

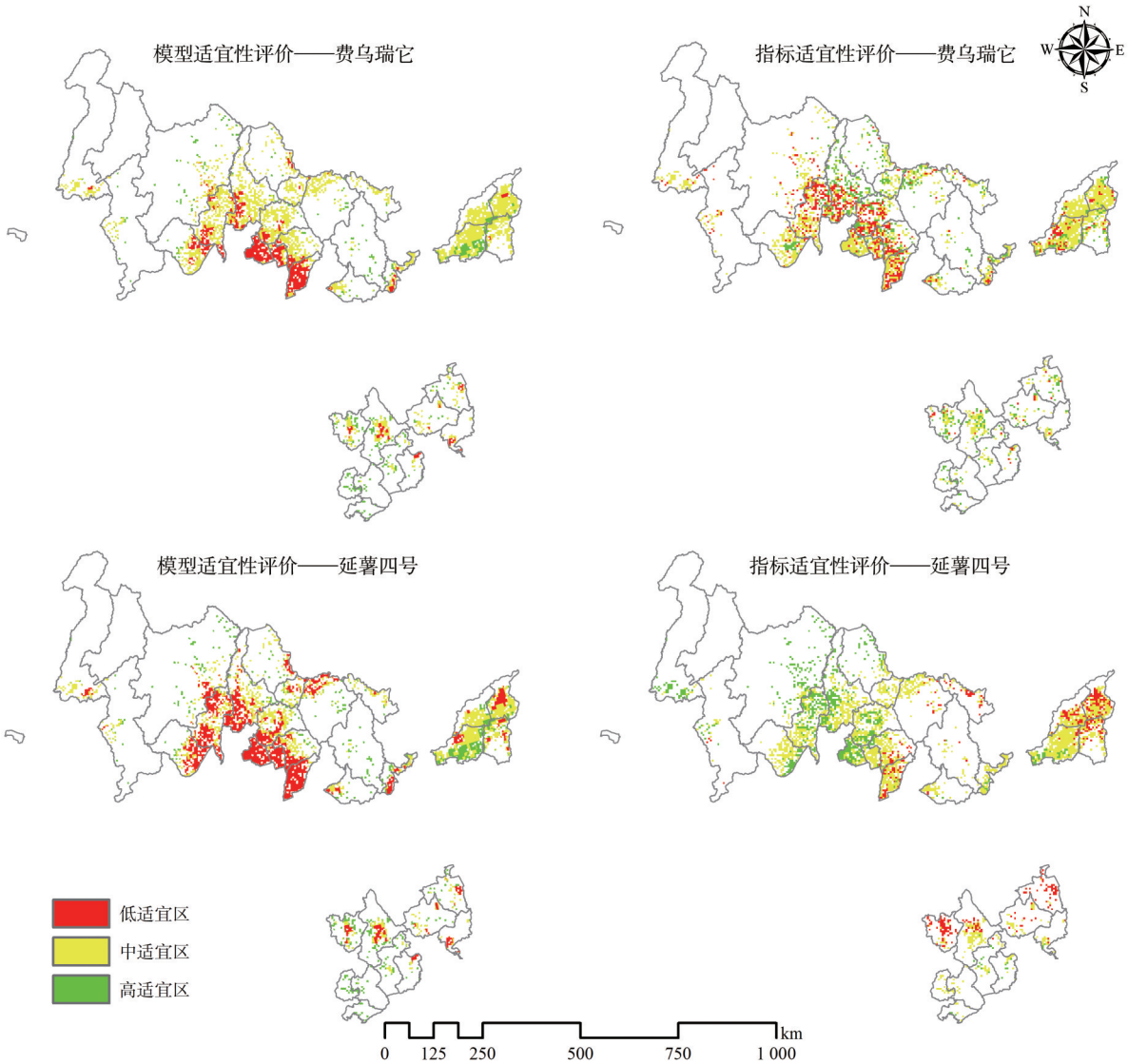

图 5　不同方法马铃薯适宜区划分对比

2.3　应用模型模拟结果交叉验证马铃薯种植适宜性评价结果

通过DSSAT作物模型分别模拟两个马铃薯代表品种水氮限制条件下产量（图5），其中费乌瑞它为早熟品种，生育期在60~70 d，而延薯四号为中晚熟品种，生长期在105~120 d。在该研究中，以模拟产量水平确定马铃薯种植的适宜性，DSSAT模拟产量随生育期长度增加，在冷凉区的平均水氮限制产量分别为5 713、8 720、11 278 kg/hm^2，费乌瑞它平均产量相对较低。虽然模型模拟的值普遍高于实际值，但其模拟结果可以反映出较为明确的适宜性结果。通过指标适宜性评价方法与模型化方法比较可知：两种评价方法有关早熟品种的评价结果较为一致，重合度超过70%；在生长期较长的中晚熟品种的适宜区评价中，由于权重和生长期差异导致评价结果出现不同，尤其在低适宜区差异更加明显，重合度低于40%。由此可知，应用不同方法评价作物种植适宜性时，不同的品种可能获取不同的结论。

3　讨论与结论

（1）我国很早就有学者根据自然资源禀赋条件、栽培制度、品种类型及马铃薯农学特性完成了全国马铃薯栽培区划研究，即北方一作区、中原二作区、南方二作区及西南一、二季作垂直分布区；区域划

分时考虑了年平均温度、大于5 ℃积温、全年日照时数、年降雨量等气候因素；这一研究成果对于马铃薯种植宏观区域划分及政策指导具有重要意义。但是，在具体实践中，还需要马铃薯种植适宜性空间精准评价为政策落地提供理论和方法依据：实际种植区较为复杂的环境因素及马铃薯生理生态特性对其响应的机制极大地影响了马铃薯的产出，如不同地块的坡度差异、隆起或低洼的不同位置都会导致种植区水分及营养状况不同；地理位置差异、局部温度波动、降雨强度与范围差异、极值温度及地块土壤质地等因素都将决定马铃薯生长状态健康与否、甚至是植株能否正常生长；此类互动皆是自然环境要素影响马铃薯最终单产在时间和空间维度的表征体现。该项目选择东北冷凉区为研究区域，以马铃薯为研究对象开展基于动态过程导向的种植适宜性时空精细评价研究。该研究着重解决作物种植适宜性时间和空间评价尺度、作物物候期地理差异性精确表达、基于过程导向的马铃薯种植适宜性时空精细评价机理及评价结果验证等科学问题，力求为我国冷凉地区种植结构调整提供理论支撑和技术依据，为地学和农学跨学科研究发展添砖加瓦。

（2）基于过程导向的指标方法在研究过程中，由于田间操作过程中的不可控因素太多，充分体现了农业“靠天吃饭”的本质，预想每年试验点的数据质量都很好并不现实，因此，在研究中选择了试验效果最好年份的数据进行计算。从科学角度分析，每年的种植环境不同，不同年份的数据结果很难叠加在一起增加样本量，因此，干重与生育时间关系曲线只能挑选较为具有代表性的年份且田间试验开展较为顺利而获取的数据进行拟合。

（3）土壤氮含量、pH和日照时长的显著地带性分布是限制冷凉区马铃薯种植的重要因素。无论是指标评价方法还是模型评价方法，低适宜区的分布都与土壤氮含量、pH和日照时长表现出明显的空间相关性。在模拟水氮限制产量时，未考虑管理投入因素，仅模拟气候和土壤本底养分值等自然环境因素对马铃薯种植的影响；因而，从产量的空间分布可以看出，受冷凉区土壤养分的地带性分布影响较大，尤其是土壤氮含量的影响，其分布很大程度限制了水氮限制情景下马铃薯的适宜区分布。在实际生产中，土壤养分可以通过测土配方，定量施加特定肥料品类解决。日照时长的限制可以通过合理规划早、中晚熟品种，实现气候资源利用的最大化。

（4）两种评价方法之所以在晚熟品种产生较大差异，可能由于晚熟品种种植时间长，不确定性因素更多导致，模型方法本质为非线性方法，虽然基于过程导向加入了随机森林加权但仍是线性方法，但结果模型方法更可靠。但模型方法需要的参数多，较为复杂，而基于过程指标方法较为简单，因此，这两种方法的互验证体现了计算复杂度与精度的平衡。

参考文献

[1] Julie C, Iñaki G C A, Marie, L, et al. Broadening the scope for eco-climatic indicators to assess crop climate suitability according to eco-physiological, technical and quality criteria. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 207: 94-106.

[2] 史同广, 郑国强, 王智勇, 等. 中国土地适宜性评价研究进展. 地理科学进展, 2007, 26(2): 106-115.

[3] 赖纯佳, 千怀遂, 段海来, 等. 淮河流域小麦—水稻种植制度的气候适宜性. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2868-2875.

[4] 何奇瑾, 周广胜. 我国夏玉米潜在种植分布区的气候适宜性研究. 地理学报, 2011, 66(11) : 1443-1450.

[5] 赵锦, 杨晓光, 刘志娟, 等. 全球气候变暖对中国种植制度的可能影响X. 气候变化对东北三省春玉米气候适宜性的影响. 中国农业科学, 2014, 47(16): 3143-3156.

[6] 侯雯嘉, 耿婷, 陈群, 等. 近20年气候变暖对东北水稻生育期和产量的影响. 应用生态学报, 2015. 26(1): 249-259.

[7] 何英彬. 农作物种植空间适宜性分析研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015.

[8] 胡雪琼, 徐梦莹, 何雨芩, 等. 未来气候变化对云南烤烟种植气候适宜性的影响. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1241-1247.

[9] 屈振江, 周广胜. 中国富士苹果种植的气候适宜性研究. 气象学报, 2016, 74(3): 480-490.

[10] 周冬梅, 张仁陟, 孙万仓, 等. 北方旱寒区冬油菜种植气候适宜性研究. 中国农业科学, 2014, 47(13): 2541-2551.

[11] Ye Q, Yang X G, Dai S W, et al. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. Agricultural Water Management, 2015, 159: 35-44.

[12] 高蓓, 高茂盛, 董金芳. 基于最大熵模型和ArcGIS的陕西省单季稻种植分布预测及适宜性. 中国农业大学学报, 2016, 21(3): 8-15.

[13] He Y B, Liu D M, Yao Y M, et al. Spatializing growth suitability for spring soybean cultivation in northeast China. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2013, 52(4): 773-783.
[14] Zhao J F, Guo J P, Xu Y H, et al. Effects of climate change on cultivation patterns of spring maize and its climatic suitability in Northeast China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2015, 202: 178-187.
[15] 李亚萍, 马蓉. 土地适宜性评价方法研究. 现代化农业, 2009(3): 30-32.
[16] Karimi M, Sharifi M A, Mesgari M S. Modeling land use interaction using linguistic variables. International Journal of Applied Earth Observation Geo-Information, 2012, 16: 42-53.
[17] Xu E Q, and Zhang H Q. Spatially—explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. Applied Geography, 2013(45): 1-9.
[18] Hamzeh S, Mokarram M, Alavipanah S K. Combination of fuzzy and AHP methods to assess land suitability for barley: case study of semi-arid lands in the southwest of Iran. Desert, 2014, 19: 173-181.
[19] Schmitter P, Zwart S J, Danvi A E, et al. Contribution of lateral flow and ground water to the spatio-temporal variation of irrigated rice yields and water productivity in a West-African inland valley. Agricultural Water Management, 2015, 152: 286-298.
[20] 杨近鹏, 何英彬, 张胜利, 等. 基于光温模型的吉林省马铃薯物候期预测效果比较. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 209-215.
[21] 段丁丁, 何英彬, 于金宽, 等. DSSAT-SUBSTOR马铃薯模型的参数敏感性分析及适宜性评价. 安徽农业大学学报, 2019, 46(3): 521-527.
[22] 何英彬, 高明杰, 周振亚, 等. 基于FCS及EPIC模型的未来情境下作物空间竞争模拟. 农业工程学报, 2015, 31(13): 171-177.

SPATIO-TEMPORAL REFINED ASSESSMENT OF POTATO PLANTING SUITABILITY BASED ON DYNAMIC PROCESS ORIENTATION*

Wang Long[1], He Yingbin[1,2※], Wang Xiangyi[1], Chen Huicong[3], Wang Yongye[1], Wu Xiuying[1], Ning Jiong[3], Zhang Zhiliang[4], Jiao Yifan[1]

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;
2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, Jiangsu, China;
3. School of Environment, Tiangong University, Tianjin 300387, China;
4. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shanxi, China)

Abstract In order to optimize crops planting layout in the low-temperature region of China, this study selects the low-temperature zones in the provinces of Heilongjiang, Jilin and Inner Mongolia as the study areas, and adopts a refined evaluation method for potato planting suitability based on the dynamic process-oriented, which is for realization of assessment indicators to be more precise and accurate in the spatio-temporal dimension, then conducts a study on the suitability of planting typical potato varieties of early, middle and late maturing.In terms of the function relationship between dry weight values of potato and crop growth thermal time, the different potato growth phase could be weighted on a daily basis, and meanwhile biophysical indicators were weighted by using the random forest method. Moreover, the maps of potato planting suitability assessments were available. The actual potato planting spots and simulated results of the DSSAT-SUBSTOR-Potato model were used to cross-check the suitability assessment results. The Results were listed as follows. (1) The suitably planting areas of the early maturing variety, the Favorita, concentrated on the fringe areas between forest and plain in the Greater Khingan Mountains, while the suitable planting areas of middle and late maturing variety Yanshu No. 4 mainly distributed in the plain and the interacting regions between plain and forest. Whether Favorita or Yanshu 4, suitability in the farmland neighbor to forest was unoptimistic, but it was really high in the plain farmland around the Mudan River. (2) The assessment results for suitability from above-mentioned method and DSSAT-SUBSTOR model coincided with each other with a degree more than 70%. However, in the suitability evaluation for middle-late maturing varieties, results differentiate a lot, especially in the low suitability areas with a consistence degree lower than 40%.

［**Conclusion**］It is concluded that results are different with application of assessment methodologies and targeting at different varieties.

Keywords potato; suitability; refined assessment; process-oriented; random-forest

·资讯·

乡土元素在文创产品设计中的应用

乡土元素是乡土文化的外在表现形式，最能体现乡土文化的独特性。作为一个村落最为独特的文化标志，乡土文化承载的精神内涵是对人们乡土的热爱、对乡土文明生活方式和核心价值观的向往与认同。不断地激励着当地人艰苦奋斗、积极进取，同时也是中华优秀传统文化的重要组成部分。文创产品是通过对特定地域、特定群体、特定文化的挖掘和理解，提取独特的文化元素，将文化元素融入到产品中，从而提升产品的艺术价值、文化内涵和审美体验。乡土元素与文创产品的相性极高，文创产品最重要的功能就是它的文化价值，而将乡土元素应用到文创产品设计中时，能丰富文创产品的文化内涵，满足消费者精神层面上的需求。同时，文创产品具有引导审美的功能，优秀的文创产品很容易得到消费者的认可，而将乡土元素应用到文创产品设计中时，则能让更多消费者关注到乡土元素背后所代表的乡土文化，进而使乡土文化得到传承和发展。

色彩、图形、文字是人们生活中不可或缺的元素，它们与人们所处的文化紧密相关。由于不同文化背景的影响，人们对这些元素的解读和应用方式也各不相同。通过巧妙地组合和变化，人们创造出了独特的乡土元素是当地文化的独特视觉符号。因此，色彩、图形、文字是构成乡土元素的关键视觉要素。在文创产品设计中，乡土元素的应用主要体现在色彩、图形、文字上。通过运用含有乡土文化的色彩元素，文创产品能够传达当地的情感和思想，呈现出独特的意趣。同时，利用乡土元素的图形设计，可以让消费者直观地感受到当地的文化特色和精神内涵。此外，文字元素也可以传达出乡土文化的内涵和价值观。通过在文创产品设计中融入乡土元素，能够更好地表达当地文化魅力。融入乡土元素的文创产品不仅能够吸引消费者的目光，还可以让他们深入了解当地乡土文化。

由此可见，乡土元素一方面能为文创产品设计拓展新的思路，另一方面也能通过文创产品使乡土文化得到传承。

表现在文创产品设计思路拓展上。文创产品设计往往需要借助乡土元素来丰富其创意和实用性。乡土元素能为文创产品设计提供多样化的灵感，其不仅在外观形态上有所创新，还在功能体验上有所突破。将乡土元素恰当地应用于文创产品设计中，能够提升产品的艺术性和实用性，从而增强文创产品在市场上的竞争力。其主要是因为色彩和图形是决定文创产品设计质量的关键要素，而乡土元素中包含了大量富有象征性的色彩和图形，可以为文创产品设计带来独特的美学思想。以古茶文化为例，如果将古茶文化及其背后的精神内涵作为主要设计依据，选择服装、马克杯、雨伞等文创产品作为物质载体，便可以打造出充分体现古茶文化的文创产品。消费者在使用该类文创产品时，不仅能深刻感受到当地古茶文化的魅力，同时也能获得良好的功能体验，从而加深消费者对该类文创产品的印象和对古茶文化的理解和认识。

表现在乡土文化创新传承上。优秀的文创产品能够敏锐地捕捉到当代消费者的审美需求，文创产品设计能将乡土元素与时尚相结合，使其成为符合时代潮流的产物。其不仅提高了产品的视觉效果和吸引力，更是成为乡土文化传承的重要形式。通过将乡土元素应用至文创产品设计中，可以打造深受消费者喜爱的文创产品，以此吸引更多消费者深入探究乡土文化的根源，从而主动参与到乡土文化的传承中，使乡土文化得以保护和传承。此外，乡土元素在文创产品中的应用还可以使乡土文化焕发新生。部分乡土文化传承人虽有精湛的技艺，却无法很好地将其呈现在消费者面前，这使得乡土文化的传承受到了阻碍。而

（下转第 211 页）