

马伟东, 苏鹏, 贾伟, 等. 气候变化背景下青藏高原青稞自然灾害暴露研究进展[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 215–221. [MA Weidong, SU Peng, JIA Wei, et al. Advances in the Research on the Exposure of Highland Barley Natural Disasters on the Background of Climate Change [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 215–221. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.04.040.]

气候变化背景下青藏高原青稞自然灾害暴露研究进展^{*}

马伟东¹, 苏鹏¹, 贾伟¹, 刘峰贵^{1,2}, 王静爱^{2,3}

(1. 青海师范大学 地理科学学院, 西宁 青海 810008; 2. 高原科学与可持续发展研究院, 西宁 青海 810008;
3. 北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875)

摘 要: 青稞是青藏高原特有的农作物, 是世居民族依赖的主要食物, 全球变化背景下自然灾害的加剧, 使青稞的灾害暴露加大, 威胁到高原世居民族的粮食安全。在梳理高原青稞种植范围、品种变化、产量需求等研究基础上, 界定青稞面向自然灾害风险的暴露内涵及时空表达, 并对基于现代技术条件下青稞暴露的定量分析方法和未来可能技术进行了总结和展望, 以期从青稞暴露研究的角度为农作物自然灾害风险评价提供参考。

关键词: 青稞; 自然灾害暴露; 青藏高原; 气候变化

中图分类号: X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)04–0215–07

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.04.040

全球变暖导致各类极端天气和气候事件频发^[1]。极端天气和气候事件引发的自然灾害, 主要威胁全球的农业生产, 农业生产作物的风险暴露和脆弱性程度会强化灾害事件的严重性。因此, 对农作物自然灾害暴露的研究已成为防灾减灾工作的重要基础^[2–3]。

青藏高原气象灾害频发, 对农牧业生产威胁巨大, 但由于高原地区社会经济发展水平较低, 工业基础薄弱, 社会经济对农牧业的依赖程度较高。目前, 青藏高原地区的人口已突破一千万^[4], 约有一半以上的人口仍依赖于当地农牧业生产。青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.)是禾本科大麦属的一种作物, 由于其生长期短、耐寒耐旱和抗逆性强的特点, 成为青藏高原特有的作物^[5–6]。在青藏高原社会活动和农牧业发展中, 青稞具有极其重要的经济和社会地位^[7]。

面对全球气候变化的不确定性和青藏高原面临的多重风险, 评估青藏高原地区青稞的自然灾害暴露对高原农牧业发展尤为重要^[8]。本文通过梳理青藏高原现代青稞种植范围、品种变化及产品需求的基础上, 界定青稞的自然灾害暴露内涵, 综述青稞暴露参数提取可参考利用的方法与模型, 以期开展青稞暴露的定量评估提供参考。

1 青藏高原青稞研究现状

当前对青藏高原青稞的研究, 主要集中在青稞产量的变化、青稞的品种、品质以及需求变化方面。

1.1 青藏高原青稞种植范围及产量变化

青藏高原青稞的种植区分布较为广泛, 主产区在西藏自治区的日喀则市、昌都市、拉萨市和山南市^[9]; 青海省的海北州、海南州和海西州^[10]; 四川省的甘孜州和阿坝州^[11]; 甘肃省的甘南州以及云南省的迪庆州和丽江市^[12–14]。根据青藏高原各县(区)2010–2019年常年种植青稞面积的数据, 青稞种植区域涉及青藏高原约一半以上的县域(图1)。青稞年产量超过 1.10×10^6 t, 种植面积约 2.50×10^5 hm²。青稞的熟制为一年一熟制, 其主产区的海拔区间为 2 400 ~ 4 200 m^[15–16]。根据播种期的不同, 可分为春青稞和冬青稞, 其中春青稞的生长期在 4 月到 9 月之间, 生长期约 120 d, 种植面积超过总种植面积的 95%; 冬青稞的生长期在 9 月到翌年 7 月之间, 生长期长达 270 d 左右, 种植面积不足 5%, 主要分布在海拔 3 700 m 以下的温暖河谷地带且能够保灌的区域^[13, 17–18]。

^{*} 收稿日期: 2020–04–07 修回日期: 2020–07–01

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0606); 国家重点研发计划项目“全球变化及应对”重点专项(2016YFA0602402)

第一作者简介: 马伟东(1994–), 男, 回族, 青海西宁人, 博士研究生, 主要从事自然灾害风险研究. E-mail: mwd0910@sina.com
通讯作者: 王静爱(1955–), 女, 河北定州人, 教授, 博士生导师, 主要从事自然灾害风险评价和区域地理研究.

E-mail: jwang@bnu.edu.cn

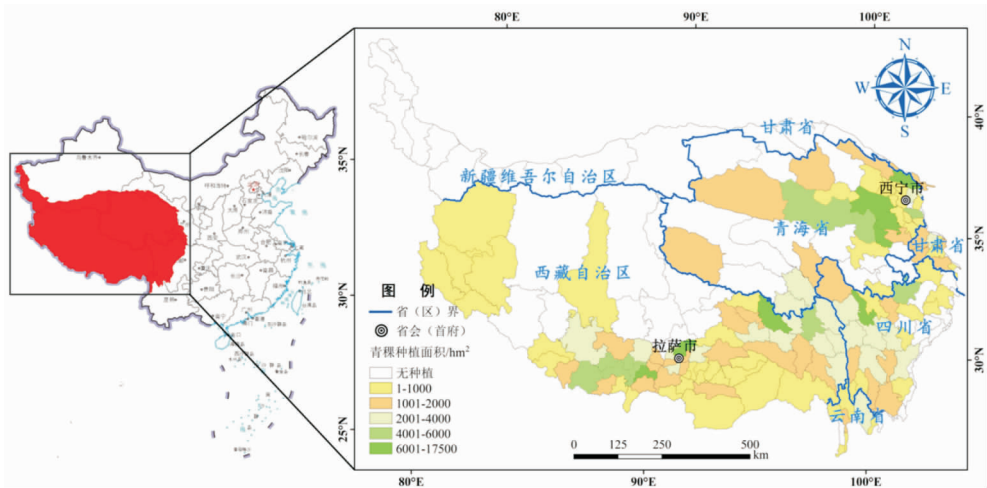


图1 青藏高原青稞种植面积分布图(审图号: GS(2019)1697 号)

表 1 不同粮食作物中主要营养成分的对比(单位:%)

作物	蛋白质	直链淀粉	支链淀粉	总淀粉
小麦	4.0 ~ 16.0	2.0 ~ 32.0	32.0 ~ 61.0	62.0 ~ 65.0
玉米	8.0 ~ 12.0	2.0 ~ 34.0	28.0 ~ 59.0	58.0 ~ 65.0
高粱	5.0 ~ 15.0	10.0 ~ 29.0	31.0 ~ 51.0	58.0 ~ 65.0
青稞	9.0 ~ 17.0 (均值: 12.9)	1.7 ~ 31.2 (均值: 12.8)	30.7 ~ 67.4 (均值: 53.0)	56.5 ~ 71.8 (均值: 65.8)

1980 年以前,青稞一直是青藏高原农牧民的主要口粮,随着交通运输业的发展和贸易商品的增多,高原世居民族的饮食结构发生变化,青稞产量在青藏高原粮食作物产量中的比重处于波动变化。2000 年后,随着国家“退耕还林(草)”“天然林保护工程”“生态公益林建设”等生态保护政策和生态建设工程的实施,青藏高原青稞种植面积占较大比重的坡耕地、宜草地和低等级耕地恢复为林地或草地,致使青稞的种植面积有所下降^[10]。这种变化直接影响了青稞的种植范围和总体产量,使高原世居民族对本地粮食作物的依赖程度降低。

1.2 青藏高原青稞的品质及主要品种

青稞的营养价值、品种和产量的研究,一直是青藏高原本地农业学家高度关注的农业问题。通过对高原青稞营养成分的研究发现,青稞籽粒不仅包含高比例的蛋白质和淀粉^[19],是富含高能量的粮食作物(表 1),同时还包含膳食纤维和诸多的微量元素。青稞中含有高比例的 β -葡聚糖,而 β -葡聚糖具有抗癌、降低血压、血糖、血脂以及胆固醇的功效,这使得青稞的保健功能被深入挖掘,因此青藏高原当地政府和企业对青稞产品的深加工需求增加,围绕青稞的相关产业得到发展和重视^[20-22]。

对于青稞品种的培育,早期以高产、抗病以及适应性强为目标,把引进外地优秀品种作为主要手段,但引进种在后期表现出较强的对本地环境的不适应性。因此,育种工作转向在本地种间杂交育种,这一转变取得明显效果,先后培育出了“昆仑”“藏青”“喜马拉雅”等品系的诸多品种^[23-24]。优质的青稞品种在缓解了部分因人口增

长带来的青稞刚性需求压力的同时,又满足了多元化青稞产品的弹性需求,为青藏高原农牧民带来了可观的经济效益。青稞品种的变化,不仅提高了青稞产量,还使青稞在高原极端气候条件下具有了多元的适应能力。

1.3 青稞需求的变化

青藏高原农牧民长期以来对青稞的食用需求(生存需求),是高原青稞的刚性需求。新中国成立后,高原地区人口增长明显,青稞的总需求量不断增加,各地通过扩大种植面积和提高单产来满足日益扩大的刚性需求;但同时由于近几十年来,青稞深加工产品的日益扩大,高原地区对青稞产生了弹性需求(生活和生产需求)。为了满足高原青稞的多元需求,青稞的育种向多极化方向发展,除了培育为了满足口粮和种子需求的更优质青稞品种外,还需要培育品质专用的特殊青稞品种,即培育为了生产青稞相关专用产品的品种,例如专用于青稞酒酿造原料的青稞品种。刘廷辉对此提出了“超级青稞”的概念,即品质专用、产量超级、多抗稳产以及具有广适性的青稞^[25]。目前除了口粮消耗以及青稞酒的酿造以外,青稞甜醅、青稞八宝粥、青稞挂面、青稞饼干、青稞方便面、青稞酸奶以及以青稞为原料的药品和保健品都需要消费青稞,因此青稞的供给侧结构发生调整^[26-29]。因此,未来青稞的供给应是以满足民众对青稞的刚性和弹性需求为目标,采用传统育种技术和转基因、分子标记等现代生物技术相结合的培育手段,培育出高产、专用、广适、多抗和优质的青稞品种(图 2)。这些变化间接影响青稞种植的范围和脆弱性水平,进而也影响其灾害风险水平。

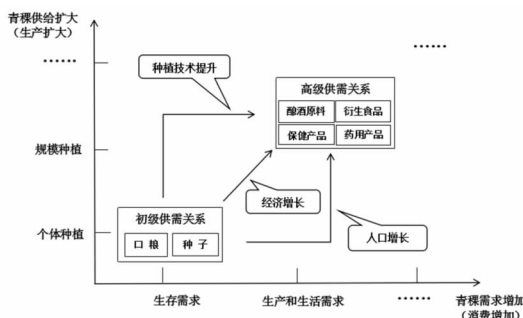


图2 青稞供需关系图

2 青藏高原青稞自然灾害暴露解析

2.1 农作物自然灾害暴露的定义

暴露直接决定其灾情的范围,一般而言,在农作物脆弱性水平一定的条件下,区域自然灾害暴露范围越大与程度越高,所造成灾害损失的风险就越大^[30]。因此,通过分析农作物自然灾害暴露的变化规律,可以实现对区域内面向某种灾害的承灾体风险预估。根据灾害风险理论^[31],农作物自然灾害暴露有以下两个方面的含义:空间层面与时间层面。空间层面上,暴露是农作物受到致灾因子影响的分布范围,即致灾因子和农作物的空间遭遇;时间层面上,暴露是农作物受致灾因子影响的时间长度,即农作物生长期致灾因子影响的强度和时长。

2.2 青藏高原青稞自然灾害暴露的内涵

青稞是青藏高原特有的农作物,因独特的生长环境,青稞所对应的自然灾害暴露也具有其特点。青稞分布于青藏高原海拔较高的区域,其生长主要包括播种、出苗、分蘖、拔节、孕穗、抽穗、灌浆、成熟八个阶段。在青藏高原,青稞生长的主要致灾因子为气象与生物致灾因子,其中,气象致灾因子包括干旱、强降水、冰雹、大风以及霜冻等;生物致灾因子以危害青稞植株生长的各类病虫害为主,其中病害包括黄矮病、黑穗病、条纹病、云纹病、网斑病、鞘腐病和锈病等;虫害包括青稞蚜虫、飞蝗和青稞穗蝇等^[32-41]。青藏高原青稞自然灾害暴露即为青稞生长期与其致灾因子在时空上的遭遇。本文也依此为依据,进行青藏高原青稞自然灾害暴露的综述。

2.3 青藏高原青稞自然灾害暴露的时间维表达

在青藏高原暖湿化的气候背景下,作为青藏高原高寒地区特有的农作物,青稞在全生长期的不同阶段受到不同致灾因子的影响,不同生长期阶段的致灾因子也不一样,有些生长阶段受单一致灾因子的影响,有些生长阶段受多种致灾因子叠加影响。鉴于青藏高原各个地区青稞的生长期差异显著,加之不同青稞品种的生长期也不尽相同,因此,以种植最为普遍的春青稞品种——“肚里黄”为例,梳理青藏高原青稞生长期遭遇的致灾因子,如图3所示^[42]。由图3可以看出,春青稞“肚里黄”从播种后的出苗期开始就受到各类致灾

因子的影响,不同致灾因子影响的时间尺度不一样,有些致灾因子影响春青稞“肚里黄”单一生长阶段,有些致灾因子影响其多个生长阶段,例如黑穗病只影响春青稞“肚里黄”的孕穗期,而霜冻既影响其出苗期又影响其灌浆期。

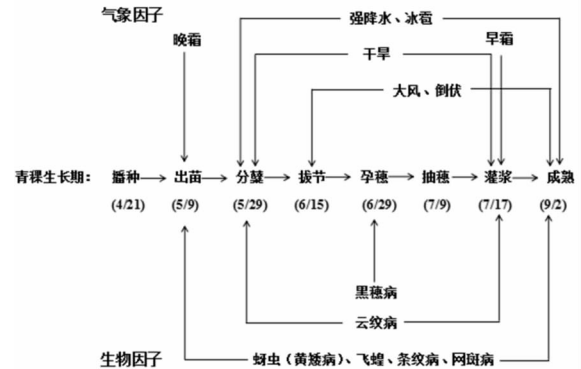


图3 青藏高原春青稞品种——“肚里黄”不同生长期内所遭遇的致灾因子

为了明确春青稞“肚里黄”自然灾害暴露在时间上的表征,首先要厘定青稞“肚里黄”不同生长期阶段遭遇的自然致灾因子。对受单一致灾因子影响的青稞“肚里黄”生长期阶段进行单一性的灾害防范,而对受多致灾因子共同造成影响的青稞“肚里黄”生长期阶段,则是其致灾危险的最高时期,需要针对多种致灾因子进行多灾种综合防范,亦可通过对青稞品种的调整以调整种植时间,使青稞生长期与致灾因子发生时期错位,从而减少青稞的自然灾害暴露。

2.4 青藏高原青稞自然灾害暴露的空间维表达

青藏高原青稞自然灾害暴露在空间层面是指青藏高原青稞的种植范围与致灾因子发生范围在空间上的遭遇。青藏高原青稞种植范围的确定是青稞自然灾害暴露量计算的前提。目前,尚没有整个青藏高原地区青稞种植范围的研究,仅有学者以省(区)、市、县为区域讨论了局部地区青稞的种植范围。袁雷及杜军等利用气候因子对西藏以及江孜的青稞适宜生长区进行了划分^[43];张涪平基于自然属性和社会属性构建了西藏青稞生态适宜性评价因子体系^[44];马扶林基于积温和日照时数绘制了青海青稞种植适宜区图^[45];曹家兵采用温度、降水和积温作为区划指标,完成了四川甘孜康定的青稞种植气候区划^[46]。各位学者确定青稞种植范围的指标如表2所示。

综上所述,青藏高原青稞生长范围的确定,只考虑温度和降水要素是不够的,还要充分考虑地形、海拔以及日照时长等诸多因素。由于青稞的生长期较短,为了更科学地划分出青稞种植适宜区,需要重点关注其生长期内的各要素,非生长期各要素的表现会对适宜区划分的最终结果产生干扰。从整体来看,各区域对同一指标的等级划分存在明显差异,这是由于青藏高原各区域自然地理环境和人为耕作方式存在差异。因此,对青藏高原青稞种植适宜区的划分采用全区统一的划分依据是不合理的。如何对不同区域采用不同的指标划分,需进一步深入研究。

表 2 青藏高原不同地区的青稞种植适宜性分区指标及评价标准

区域	所选指标及评价标准				
西藏 江孜县	所选指标/单位	评价标准			
		不适宜区	次适宜区	适宜区	
	生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温(T_0)/ $^{\circ}\text{C}$	$T_0 \leq 1000$	$1000 < T_0 < 1900$	$T_0 \geq 1900$	
	最热月平均气温(T_{\max})/ $^{\circ}\text{C}$	$T_{\max} \leq 8$	$8 < T_{\max} < 14$	$T_{\max} \geq 14$	
	生育期降水量(R)/mm	$R \leq 250$ $R \geq 700$	$250 < R < 400$ $600 < R < 700$	$400 \leq R \leq 600$	
	所选指标/单位	评价标准			
禁止开发		限制开发	允许	适宜开发	
西藏	海拔/m	—	> 4650	$4000 \sim 4650$	$3000 \sim 4000$
	坡度/($^{\circ}$)	—	$15 \sim 25$	$6 \sim 15$	$0 \sim 6$
	坡向	阴	—	—	阳
	年均温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	< 0	$0 \sim 3$	$3 \sim 12$
	年降水量/mm	—	< 100	$100 \sim 160$	$160 \sim 1000$
	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温/ $^{\circ}\text{C}$	—	—	$1000 \sim 1300$ $1400 \sim 1600$	$1300 \sim 1400$
	区位	—	经济一般 交通不便	经济一般 交通较发达	经济发达 交通方便
	图斑面积/ hm^2	—	< 1	$\geq 1, < 10$	≥ 10
青海	所选指标/单位	评价标准			
		不适宜区	次适宜区	适宜区	
	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温/ $^{\circ}\text{C}$	< 1180	$1180 \sim 1680$	> 1680	
	日照时数/h	< 860	$860 \sim 1200$	> 1200	
四川 康定	所选指标/单位	评价标准			
		禁止开发	限制开发	允许	适宜开发
	生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温/ $^{\circ}\text{C}$	< 960	$960 \sim 1200$	$1200 \sim 1400$	≥ 1400
	生育期降水量/mm	< 450	≥ 450	≥ 450	≥ 450
	生育期日均温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 日数/d	< 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
	7 月平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	< 8	$8 - 12$	$12 - 14$	≥ 14

3 青藏高原青稞自然灾害暴露的定量研究方法

3.1 青藏高原青稞实际种植范围的计算方法

青藏高原青稞实际种植范围的界定包括两种方法：一是根据不同尺度的农业统计数据来界定青稞的种植范围。由于青稞在粮食作物的分类里属于杂粮类，获取其准确统计数据的难度大，且其统计数据来源不一，因此这种方法较为常用，但圈定范围的精度低；二是综合遥感卫星数据计算其种植面积，这种方法的圈定范围的精度较高。对于青稞种植范围的确定，以遥感影像为数据源，确定青稞提取的最佳波段，通过数字高程模型数据、坡度等辅助数据确定农业用地的范围。以图像光谱及纹理信息为基础，结合图像对象间的空间特征，根据青稞与其他农作物反射率的差异可执行青稞种植区域的提取^[47-50]。

3.2 青藏高原青稞未来种植范围的计算方法

农作物种植范围的预估已有较多研究，以气候变化下作物适宜分布区预估为主流，常用的方法主要有农作物物种分布模型和图层约束法。

农作物物种分布模型的基本原理是基于生态位理论，将已知物种分布数据与环境变量数据进行关联，通过特定算法构建物种分布与环境因子之间的关系，用于预测研究区目标物种的潜在分布。初期物种分布模型以 Bioclim、Habitat 与 Domain 等简单模型的运用为主^[51]。后来随着计算机技术的发展以及数学理论的介入，机器学习概念与模糊数学原理被融入到生态位理论中，经改进形成模拟过程更加复杂、同时统计准确度更高的物种分布模型，如 GARP 与 Maxent 模型^[52-54]。随着物种分布模型不断发展与完善，该方法已成为模拟未来农作物物种分布的重要方法。

图层约束法的基本原理是将农作物分布适宜性评价指标体系和 GIS 图层叠加等空间分析功能相结合，通过对影响要素图层组合的多重判据约束得到农作物适宜分布区^[55-57]。该方法已广泛用于土地适宜性评价和制图等研究，也被用于未来农作物生境适宜区预估，如 Lane 使用 Ecocrop 模型（内含多种栽培作物的气温、降水需求），结合降水、气温的观测与未来模拟数据，评估了气候变化下 43 种主要粮食和经济作物适宜种植范围和种植面积的变化^[58]。相较于物种分布模型，图层约

束法简单快捷,但环境变量的选取和权重的设置等多来自专家经验,具有一定的主观性。

4 结论与展望

4.1 结论

(1)青稞在青藏高原的种植区分布较为广泛,其主产区在西藏自治区的日喀则市、昌都市、拉萨市和山南市;青海省的海北州、海南州和海西州;四川省的甘孜州和阿坝州;甘肃省的甘南州以及云南省的迪庆州和丽江市。青稞育种方向的转变培育出了一批优质的青稞品种,缓解了部分因人口增长带来的需求压力的同时,又满足了青稞产品的多元化发展,为高原地区的农牧民带来了可观的经济效益。这些变化直接影响青稞种植的范围和脆弱性水平,进而影响其灾害风险水平。

(2)青稞需求侧结构的变化使供给侧结构随之发生变化。为了满足多极需求,青稞的育种向多极化发展,除了培育为了满足口粮和种子需求的更优质青稞品种外,还需要培育品质专用的特殊青稞品种,即培育为了生产青稞相关专用产品的品种。这些变化间接影响青稞种植的范围和脆弱性水平,进而也影响其灾害风险水平。

(3)青稞自然灾害暴露是指致灾因子与青稞种植范围在时空维度上的遭遇。在时间维层面,青稞的自然灾害暴露即致灾因子持续时间与青稞生育期范围内的遭遇;在空间维层面,青稞的自然灾害暴露是指致灾因子的范围和青稞种植范围在空间上的遭遇。

(4)在青稞生长期内,不同致灾因子对青稞的影响时间不同,有些致灾因子影响单一生长阶段,有些致灾因子影响多个生长阶段。为了降低青稞的暴露量,要厘定青稞不同生育期阶段影响其生长的致灾因子。对受单一致灾因子影响的青稞生长期阶段进行单一性的灾害防范,而对受多致灾因子共同造成影响的青稞生长期阶段,则是其致灾危险的最高时期,需要针对多种致灾因子进行多灾种综合防范,亦可通过对青稞品种的调整以调整种植时间,使青稞生长期与致灾因子发生时期错位,从而减少青稞的自然灾害暴露。

4.2 气候变化背景下青藏高原青稞自然灾害暴露研究展望

在气候变化背景下,随着气候要素的变化承灾体受到的影响程度也在变化。由于气候变化对农作物的影响既有突发的、趋向的,又有渐发的,因此对农作物暴露的刻画指标不仅要考虑空间上的暴露,同时也要考虑暴露的时间,即从时空两个维度关注农作物的自然灾害暴露。因此在未来气候变化背景下对于青藏高原青稞自然灾害暴露的研究,包括两个方面:一是构建青稞自然灾害暴露评价指标体系;二是探索未来气候变化情景下青稞的自然灾害暴露评价。

对于青稞自然灾害暴露指标的确定,参照小麦、玉米和水稻等其他农作物的暴露指标厘定,可选的指标有青稞自然灾害暴露范围、暴露程度(单产水平等)以及暴露时间。对于青稞自然灾

害暴露范围的确定,可以通过青稞分布模型或者图层约束法来确定青稞的分布范围,以图层约束法为例,通过对海拔、温度、日照时长等影响要素的空间叠加分析,对图层组合进行多重判据约束以确定其分布范围;对于历史青稞种植范围的确定,以遥感影像为数据源,确定青稞提取的最佳波段,减少影像各波段间的信息冗余量,通过数字高程模型数据、坡度等辅助数据确定农业用地的范围。以图像光谱及纹理信息为基础,结合图像对象间的空间特征,采用面向对象提取方法的多尺度分割技术找到最优分割尺度,其基本处理单元是分割后所形成的多边形对象,减小噪声的影响并有效的避免传统基于像元分类方法中“椒盐现象”的产生。根据青稞与其他农作物反射率的差异,利用支持向量机方法执行青稞种植区域的提取;而对于青稞暴露时间的识别,通过其生长期内的各个阶段受致灾因子的影响时期,确定其敏感期作为青稞的暴露时间。

未来气候变化情景下的青稞暴露评价,主要是关注青稞在气候要素(如温度、降水、日照时长等)的趋势、波动和极端情况下的暴露变化。未来青稞的暴露评价可以分为四个维度:一是情景维度,主要包括不同的未来气候变化情景;二是致灾因子维度,主要包括各致灾因子的趋势、波动和极端情况;三是暴露指标维度,主要包括青稞的暴露范围、暴露面积、暴露产量和暴露时间;四是时间维度,包括历史时期和未来时期。在此评价模型内,分析青稞暴露在未来气候变化情景下的时空变化。

据此,提出气候变化背景下青藏高原青稞自然灾害暴露研究构想(图4)。

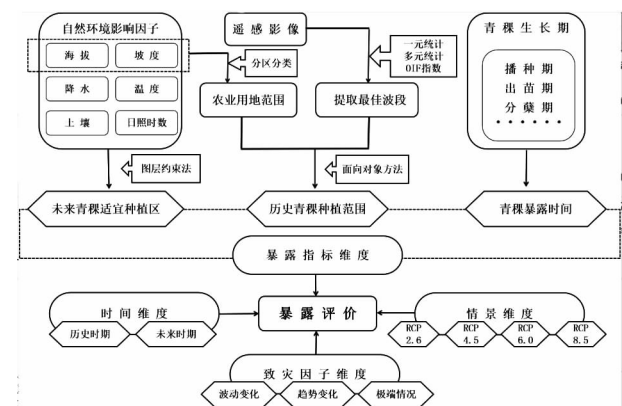


图4 气候变化背景下青藏高原青稞自然灾害暴露研究构想

致谢: 本文在写作过程中,得到北京师范大学/青海师范大学史培军教授、青海师范大学周强教授、陈琼副教授、研究生李红英、赵佩、张亮、顾锡静、支泽民以及北京师范大学冯星云的指导与帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] Ipcc. Climate Change 2013: The Physical Science Basis [EB/OL]. [2020-01-19]. <http://www.ipcc.ch>.
- [2] Ipcc. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate

- Change[M]. New York: US: Cambridge University Press, 2012.
- [3] FRASER S A W N J J. Variable population exposure and distributed travel speeds in least-cost tsunami evacuation modelling[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2014, 14(11): 2975–2991.
 - [4] 戚伟, 刘盛和, 周亮. 青藏高原人口地域分异规律及“胡焕庸线”思想应用[J]. *地理学报*, 2020, 75(2): 255–267.
 - [5] 段瑞君, 任又成, 熊辉岩. 4种青海青稞品种的染色体核型分析[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(15): 78–82.
 - [6] 任又成. 青海特色作物裸大麦(青稞)的开发及利用[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 2015, 33(4): 89–94.
 - [7] 邹薇, 和卫泽, 李德元, 等. 云南高原青稞生产存在问题及提高产量途径[J]. *中国农学通报*, 2003(6): 71–72.
 - [8] 王然, 江耀, 张安宇, 等. 农作物自然灾害暴露研究进展[J]. *灾害学*, 2019, 34(2): 215–221.
 - [9] 杜军, 刘依兰, 建军, 等. 气候变化对西藏青稞种植的影响研究[M]. 北京: 气象出版社, 2017.
 - [10] 贾娟琪, 李先德. 青海省青稞产业发展现状、问题和政策建议[J]. *中国食物与营养*, 2016, 22(11): 21–24.
 - [11] 李健. 甘孜州青稞品质研究现状与育种展望[J]. *南方农业*, 2019, 13(27): 187–188.
 - [12] 尚晓花. 甘南州青稞生产的新思路[J]. *江西农业*, 2018(4): 77.
 - [13] 米艳华, 张建华, 张金渝, 等. 云南青稞产业的现状及优势分析[J]. *大麦科学*, 2004(4): 1–5.
 - [14] 格茸取次, 赵鸭桥, 张新蕾. 基于云南省迪庆青稞产业发展的现代农业多功能研究[J]. *云南农业大学学报(社会科学)*, 2020, 14(1): 75–82.
 - [15] 边巴卓玛. “春青稞3414”肥料试验效应分析[J]. *西藏农业科技*, 2017, 39(2): 16–18.
 - [16] 马生祥. 青海省青稞加工产业发展现状及对策[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(10): 4620–4622.
 - [17] 普布卓玛. 加快西藏地区冬青稞成果助推乡村振兴战略[J]. *西藏农业科技*, 2018, 40(2): 62–64.
 - [18] 其美旺姆. 西藏冬青稞育种研究进展与展望[J]. *西藏农业科技*, 2018, 40(S1): 80–82.
 - [19] 金玮璠, 张晓蒙, 郝建奎, 等. 不同产区青稞原料成分差异性与酿造适用性的分析[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(1): 121–125.
 - [20] D C, X Z, M M. Inhibitory effect on HT-29 colon cancer cells of a water-soluble polysaccharide obtained from highland barley[J]. *International Journal of Biological Macro molecules*, 2016, 92: 88–95.
 - [21] S C, V R D, M P. Glycemic response and glycemic index of semolina spaghetti enriched with barley β -glucan[J]. *Nutrition*, 2011, 27(6): 653–658.
 - [22] A E. Glycemic effect of oat and barley beta-glucan when incorporated into a snack bar: a dose escalation study[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2014, 33(6): 442–449.
 - [23] 任又成, 吴昆仑, 姚晓华, 等. 高产优质青稞新品种昆仑15号的选育及其特征特性[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(8): 1161.
 - [24] 普布顿珠, 刘磊. 春青稞“喜马拉雅22号”高产栽培技术[J]. *西藏科技*, 2016(4): 6–7.
 - [25] 刘廷辉, 杨开俊, 冯继林, 等. 超级青稞的育种研究与应用前景分析[J]. *大麦与谷类科学*, 2006(3): 12–15.
 - [26] 王显萍. 青海省青稞品质育种现状与方向[J]. *青海农林科技*, 2009(3): 26–29.
 - [27] 强小林, 顿珠次仁, 次珍, 等. 西藏青稞产业发展现状分析[J]. *西藏农业科技*, 2011, 33(1): 1–3.
 - [28] 王凤忠, 张玉红, 次旦央金, 等. 西藏青稞产业发展现状及对策建议[J]. *西藏农业科技*, 2019, 41(2): 1–5.
 - [29] 贺凤玲, 刘梅金, 卓玛草. 甘南州青稞产业发展的优势及建议[J]. *甘肃农业科技*, 2009(2): 35–37.
 - [30] HE C, HUANG Q, DOU Y, et al. The population in China's earthquake-prone areas has increased by over 32 million along with rapid urbanization[J]. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(7): 74028.
 - [31] SHI P. *Disaster Risk Science*[M]. Springer, 2019.
 - [32] 徐云, 木德伟, 梅红, 等. 迪庆青稞黄矮病和介体蚜虫发生规律及防治技术[J]. *植物保护学报*, 2003(2): 219–220.
 - [33] 扈玉婷. 青稞常见病虫害的发病规律与防治方法[J]. *农业与技术*, 2019, 39(2): 121–122.
 - [34] 朱海霞, 郭青云, 陈海民, 等. 青稞条纹病流行动态及敌萎丹对病害流行的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(12): 127–130.
 - [35] 张生菊. 青稞条纹病、云纹病防治技术的推广应用[J]. *南方农机*, 2018, 49(12): 113.
 - [36] 任又成, 段瑞君. 青海高原青稞危害因子及防治方法[J]. *农技服务*, 2011, 28(5): 632–633.
 - [37] 何苏琴, 王三喜, 赵桂琴, 等. 燕麦和青稞的一种新病害—鞘腐病[J]. *甘肃农业科技*, 2010(10): 3–4.
 - [38] 李吉有. 青海民和县青稞种植常见病虫害的防治措施[J]. *农业工程技术*, 2017, 37(29): 26.
 - [39] 徐云, 木德伟, 梅红, 等. 青稞蚜虫及黄矮病发生规律及防治技术研究[J]. *西南农业学报*, 2004(1): 41–44.
 - [40] 姚小波. 西藏飞蝗对青稞危害损失与防治指标初步探讨[J]. *西藏农业科技*, 2014, 36(4): 42–44.
 - [41] 车玉芬. 青海省大通地区青稞穗蝇的发生特点与防治措施[J]. *北京农业*, 2011(15): 58.
 - [42] 聂永喜, 王喆, 赵久渊. 贵南地区青稞发育期及产量预报[J]. *青海气象*, 2018(3): 49–53.
 - [43] 袁雷, 刘依兰. 基于GIS和气候—土地利用信息的西藏青稞种植适宜性区划[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(17): 92–97.
 - [44] 张浩平, 周炼清, 喻武. 基于GIS的西藏青稞生态适宜性评价因子体系构建[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(13): 119–121.
 - [45] 马扶林, 周秉荣, 许正福. 基于GIS的青海省主要农作物种植区划[J]. *现代农业科技*, 2016(12): 207–208.
 - [46] 曹家兵, 杜清友, 孙树峻, 等. 康定市青稞精细化农业气候区划探析[J]. *现代农业科技*, 2018(18): 193–194.
 - [47] 龚健雅, 姚璜, 沈欣. 利用AdaBoost算法进行高分辨率影像的面向对象分类[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2010, 35(12): 1440–1443.
 - [48] 贾伟, 高小红, 杨灵玉, 等. 面向对象方法的复杂地形区地表覆盖信息提取[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(4): 486–493.
 - [49] N E, E N, D A. Object-based Classification of Mixed Forest Types in Mongolia[J]. *Geocarto International*, 2019(2): 1–12.
 - [50] BACHA A S, VAN DER WERFF H, SHAFIQUE M. Transferability of object-based image analysis approaches for landslide detection in the Himalaya Mountains of northern Pakistan[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2020, 41(9): 3390–3410.
 - [51] M E J, J F R, J A. Using species distribution models to identify suitable areas for biofuel feed stock production[J]. *Global Change Biology Bioenergy*, 2010(2): 63–78.
 - [52] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法[J]. *生态学报*, 2015, 35(2): 557–567.
 - [53] J H Q, S Z G. Climate-associated distribution of summer maize in China from 1961 to 2010[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2016, 232: 326–335.
 - [54] J H Q, S Z G. The climatic suitability for maize cultivation in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57: 395–403.
 - [55] N W, O R G, A M. GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India[J]. *Computer & geosciences*, 2012(41): 108–118.
 - [56] MENDAS A D A. Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria[J]. *Computer and Electronics in Agriculture*, 2012, 83: 117–126.
 - [57] L Y, S W, U W S. Generating plausible crop distribution maps for Sub-Saharan Africa using a spatially dis-aggregated data fusion and optimization approach[J]. *Agricultural Systems*, 2009, 99(2): 126–140.
 - [58] A L, A J. Changes in climate will modify the geography of crop suitability: agricultural biodiversity can help with adaptation[J]. 2007, 4(1): 1–12.

Advances in the Research on the Exposure of Highland Barley Natural Disasters on the Background of Climate Change

MA Weidong¹, SU Peng¹, JIA Wei¹, LIU Fenggui^{1,2} and WANG Jing'ai^{2,3}

(1. *School of Geographic Science, Qinghai Normal University, Qinghai 810008, China;*

2. *Academy of Plateau Science and Sustainability, Qinghai 810008, China;*

3. *Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Highland barley is a crop unique to the Qinghai-Tibet Plateau. It is the main food that the local national minority depends on. The frequency and intensification of natural hazard makes the highland barley exposure to natural hazard increased, so as to threaten local food security. Based on the current research of highland barley planting range, variety change and yield demand, a definition of the highland barley exposure is determined and a quantitative analysis method of highland barley exposure based on modern technology is summarized and prospected. From the perspective of highland barley exposure research, a reference for crop natural disaster risk assessment is provided.

Key words: highland barley; natural disaster exposure; Qinghai-Tibet Plateau; climate change

(上接第 214 页)

Estimate of China's Economic Recovery and Development After the Impact of COVID – 19 Outbreak

HUANG Chengfang¹, LI Ning¹, ZHANG Zhengtao², LIU Yuan¹ and WANG Fang¹

(1. *The Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, MOE/ Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Emergency Management & Ministry of Education, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;* 2. *The Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China.*)

Abstract: The sudden outbreak of COVID – 19 has seriously affected people's lives and posed a severe test to China's economic development. In order to simulate the dynamic change process during the economic recovery period after the COVID – 19, and to analyze the impact on the macro economy and the difference among sectors, we introduce the characteristics of the economic impact of the COVID – 19 and the parameters of the excess production capacity, and adjusted the Adaptive regional input-output (ARIO) model to simulate the economic recovery and development after the COVID – 19. The results show that: ①The model results are verified based on the official GDP data of the first quarter of 2020, and the error range of the estimated results is less than one percentage point compared with the actual, so the model is valid and the error is acceptable. ②The increase of the excess production capacity is conducive to the rapid recovery of the economy and the reduction of the total economic loss in the short term, by the end of 2020, the economy will recover 91% under the condition of higher excess production capacity, which is 5% higher than the unchanged production capacity, and the total economic loss during the recovery period within the two production capacity constraints will be about 12% – 20%. ③The accommodation and catering industry and the wholesale and retail industry are the two sectors with the most affected by the COVID – 19, with the total loss of economic output about 24.4% and 36.2%; the economic ripple effect exists in the economic system, resulting in the economic losses of the primary industry, information technology industry and financial industry of 15.6%, 17.4% and 18.9% respectively in the recovery period, which with stable economic output in the early. With the release of economic statistics in each quarter in the future, it is expected that this study can further verify the results of the model and adjust the parameter Settings, so as to have a more comprehensive and accurate understanding of the impact of COVID – 19 on China's economic development.

Key words: COVID – 19; ARIO model; excess production capacity; China's economic impact; estimate