



Risk Assessment of Potato Drought Disaster in the Northern Single Cropping Area of China

Dao Riao¹, Kaiwei Li¹, Suri Guga¹, Du Walian¹, Jiquan Zhang^{1,*}

¹ School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

*Corresponding author. Email: zhangjq022@nenu.edu.cn

ABSTRACT

Climate change brings extreme weather and precipitation heterogeneity, which seriously threatens the agricultural ecosystem and food security, and increases the difficulty of agricultural risk management. This study, the potato in the northern single cropping area was taken as the research object, quantitatively assessed potato drought disaster risk based on the four-factor theory of natural disaster risk formation. The results show that; (1) The hazard and vulnerability show opposite trends in space; (2) The exposure decreases from the middle to the east-west direction; (3) Cross distribution of high and low values of disaster prevention and mitigation capabilities; (4) The areas with extremely high and high risks drought disasters are mostly located in the central and southeast regions of the study, and the risk changes at all levels show different trends in numerical values. The non-overlap of high-yield areas, high adaptability areas and main planting areas is currently the main problem faced by the northern single cropping area. To develop potato industry, we must pay attention not to blindly expand the planting area, but to neglect the improvement of agricultural productivity, scientific layout and the prevention of increasing agrometeorological disasters.

Keywords: Potato, Drought, Risk, Northern Single Cropping Area

中国马铃薯北方一作区干旱灾害风险评估

道日敖¹, 李凯伟¹, 苏日古嘎¹, 都瓦莲¹, 张继权^{1,*}

¹ 东北师范大学环境学院, 东北师范大学自然灾害研究所, 长春130024, 中国

* 通讯作者. 电子邮箱: zhangjq022@nenu.edu.cn

摘要

气候变化带来极端天气和降水异质性, 严重威胁农业生态系统、粮食安全, 并增加了农业风险管理的难度。本研究以马铃薯北方一作区为研究对象, 基于自然灾害风险形成四因子理论定量评估了马铃薯干旱灾害风险。结果表明; (1)危险性、脆弱性在空间上呈相反趋势; (2)暴露性从中部向东西方向减少; (3)防灾减灾能力高低值交叉分布; (4)干旱灾害极高、高风险区空间上多位于研究中部与东南部地区, 数值上各级风险变化呈现不同变化趋势。高产区、高适应性区和主要种植区的不重叠目前是马铃薯北方一作区主要面临的问题。发展马铃薯产业, 必须要注意不能盲目的扩大种植面积, 而忽略提高农生产力、科学布局与日益增加的农业气象灾害的防御。

关键字: 马铃薯, 干旱, 风险, 北方一作区

1. 引言

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属茄科多年生草本植物,块茎可供食用,是全球第四大重要的粮食作物。联合国将2008年确定为“国际马铃薯年”,称马铃薯为“被埋没的宝物”,号召全世界重视马铃薯在缓解粮食危机、保证食品安全和实现千年发展目标中不可替代的重要性。马铃薯也是发展中国家收入主要来源和保证粮食安全的重要手段,也被很多国家列为战略储备粮。我国是世界上最大的马铃薯生产国^[1],有四个主要的马铃薯种植区。北方一作区由于气候优势和丰富的耕地资源优势,一直是我国主产区 and 重要的种薯基地^[2,3]。

气候变化带来极端天气和降水异质性,严重威胁农业生态系统、粮食安全,并增加了农业风险管理的难度。干旱灾害是限制中国农业发展的主要因素之一。然而目前的农业气象灾害风险研究主要关注玉米、小麦、水稻等主要粮食作物。对于马铃薯干旱的研究多围绕生理生化、品质方面。王永利等通过降水距平百分率建立区域性的马铃薯干旱指标,基于自然灾害风险理论构建了马铃薯干旱综合风险评价指标模型^[4]。此本文在前人的研究基础上,考虑具体作物不同生育阶段需水量进行马铃薯北方一作区不同生育阶段、不同地区的干旱灾害风险评价,以期为马铃薯干旱灾害形成机制提供科学基础,促进气候变化背景下马铃薯干旱灾害风险的认识,为马铃薯北方一作区可持续生产提供新思路。

2. 数据与方法

2.1 研究区

马铃薯北方一作区位于(图1),种植面积与总产均占全国的40%以上。研究区从东到西包括黑龙江、吉林、内蒙古、河北、山西、陕

西、甘肃、宁夏、青海和新疆。主要种植品种有克新1号、费乌瑞它、尤金、大西洋和青薯9号等。

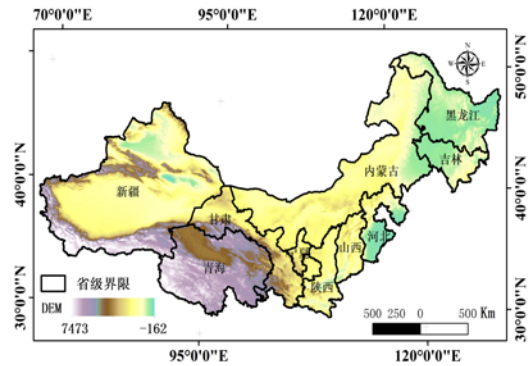


图1 研究区地理位置

2.1 数据来源

本研究使用的数据有:(1)资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)所提供的地形地貌数据、土壤有机质含量、土壤质地数据与2020年的土地利用现状遥感监测数据;(2)来自《中国农业年鉴》的1982-2017年的马铃薯产量与种植面积数据与各省统计年鉴的耕地灌溉面积、农业抗旱支出、教育水平数据;(3)气候数据来自中国气象共享服务系统(<http://data.cma.cn>,2021年4月24日访问),包括1960年至2020年900个气象站的每日气象数据。气象站包括国家基准站、基准站和一般站。最后,将所有数据插值到 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 网格中,以保持其一致性。

2.3 评价指标体系

农业气象灾害风险是指气象灾害发生给农作物和人类社会造成损失的可能性,具有自然属性,也具有社会属性。本研究以北方一作区马铃薯为研究对象,基于农业气象灾害风险形成要素、机制和干旱灾害风险形成机理,收集气象数据、遥感数据、野外田间试验数据、

历史统计数据和环境基础数据等构建马铃薯

为评价马铃薯干旱灾害风险,运用最优分割理

表1 马铃薯干旱灾害风险评价指标体系

马铃薯干旱灾害风险评价指标体系	因子	副因子	指标体系	权重
	危险性 H	致灾因子	干旱频率*干旱强度	0.709
			孕灾环境	海拔
		坡度		0.098
		土壤侵蚀		0.096
	脆弱性 V	敏感性	产量损失率	0.785
		适应性	土壤有机质含量	0.069
			土壤质地	0.085
			水田在农田中占比	0.061
	暴露性 E	作物面积	播种面积空间占比	0.634
		农田面积	农田面积空间占比	0.209
		气候适宜性	马铃薯种植气候适宜度	0.157
	防灾减灾能力 R	灌溉能力	耕地灌溉率	0.543
		投入水平	农业抗旱支出	0.231
教育水平			0.226	

干旱灾害研究综合数据库,根据农业气象灾害风险形成四要素学说,从农作物干旱灾害风险的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力四个方面构建了马铃薯干旱灾害风险评价概念框架、评价模型,对研究区马铃薯干旱灾害风险进行评价。结合前人研究,遵循指标数据的代表性、独立性、易获得性、可操作性和系统性原则,从四因子方面选取了14个指标构建了中国马铃薯北方一作区干旱灾害风险评估指标体系,如表1所示。采用熵权法确定各指标权重。

2.4 研究方法

2.4.1 马铃薯干旱灾害风险动态评价模型的构建

农业气象干旱灾害是危险性、脆弱性、暴露性、防灾减灾能力综合作用的结果,采用自然灾害风险指数表征风险程度,具体计算公式如下:

$$ADRI = H \cdot V \cdot E \cdot (1 - R) \quad (1)$$

式中:ADRI为风险指数,H、V、E、R分别为危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力。

论将风险指数分成低(≤ 0.05)、中($0.05-0.1$)、高($0.1-0.15$)、极高(≥ 0.15)4级。

采用综合加权评估模型构建马铃薯干旱灾害危险性评价模型:

$$X = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (2)$$

式中:X为马铃薯干旱灾害风险评价指标体系某一因子量化值; X_i 为指标体系的第*i*项指标的量化值; W_i 为指标体系的第*i*项指标的权重系数; n 为指标体系评估指标个数。

2.4.2 干旱指数

本研究在研究农业干旱时考虑了具体作物,将不同生育阶段作物需水量加入了计算,基于SPEI干旱指数构建了标准化降水作物需水指数(Standardized Precipitation Requirement Index,SPRI)^[5]。致灾因子危险性的主要表现为其危害强度和发生概率研究成果。

$$DI = \sum_{i=1}^n SPRI_i \quad (3)$$

$$DF = \frac{n_i}{M_i} \quad (4)$$

式中:DI为干旱强度,DF为干旱频率。 $SPRI_i$ 是统计时段内该生育阶段发生某等级干

早的 SPRI 值。n 是一个月内发生一定程度干旱的次数，M 是总年数。在这项研究中，对网络进行了统计。

2.4.3 产量损失率

作物产量分为三部分：趋势产量、气象产量和随机误差^[6,7]。趋势产量是指社会因素中生产力水平引起的作物产量的长期变化趋势。气象是指受自然因素的影响，主要是气象条件的差异，导致作物产量的短期波动。随机误差，也称为“随机噪声”，在研究中通常被忽略。本研究使用霍德里克-普雷斯科特滤波器(HP 滤波器)模型^[8]，将实际作物产量分为高频(气象产量)和低频分量(趋势产量)。本文参考各代表站点灾情资料，提取所有单独发生干旱的年份，结合干旱造成的减产频率和幅度建立农业气象致灾损失指数，用来表征马铃薯的干旱敏感性。减产率分为轻度(-5%--10%)、中度(-10%--15%)和重度($\leq -15\%$)三级，计算每个等级中的减产频数和组中值，频数和组中值乘积之和的绝对值即为马铃薯的干旱敏感性。

2.4.4 气候适宜性

结合研究区实际情况、马铃薯各生育期气象指标及相关检测结果，确定了基于温度、降水与日照时数适宜度模型确定了气候适宜度计算模型。

温度适宜度计算：

$$F(t) = \frac{(t-t_1)(t_h-t)^B}{(t_0-t_1)(t_h-t_0)^B} \quad (5)$$

$$B = \frac{t_h-t_0}{t_0-t_1} \quad (6)$$

其中， F_t 为区域马铃薯温度适宜度， t_1 、 t_0 、 t_2 分别为马铃薯生长温度下限、最适宜温度和生长温度上限，T 为马铃薯某生育期平均气温。

降水适宜度计算：

$$R < R_0, F_r = \frac{R}{R_0} \quad (7)$$

$$R \geq R_0, F_r = 1 \quad (8)$$

其中 F_r 为降水适宜度，R 为降水量， R_0 为作物需水量。

日照适宜度计算：

$$F(s) = \begin{cases} \frac{s}{S_0} \cdots \cdots S < S_0 \\ 1 \cdots \cdots S > S_0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\sin \frac{t}{2} = \sqrt{\frac{\sin(45^\circ - \frac{\varphi - \delta - \gamma}{2}) \times \sin(45^\circ + \frac{\varphi - \delta - \gamma}{2})}{\cos \varphi \times \cos \delta}} \quad (10)$$

$$L_0 = \frac{2t}{15} \quad (11)$$

其中， F_s 为马铃薯某发育时期日照适宜度函数，S 为某生育时期实际日照时数， S_0 为可日照时数(L_0)的 55%， Φ 为地理纬度， δ 为赤纬， γ 为蒙气差，t 为时角。

气候适宜度计算：

$$S = \sqrt[3]{ST * SS * SR} \quad (12)$$

其中，综合适宜度指数的取值范围为(0,1)，越接近于 1，则适宜性越高，反之亦然。

3. 结果分析

3.1 马铃薯干旱灾害危险性

危险性主要由致灾因子危险性和孕灾环境危险性决定。本研究基于马铃薯不同生育阶段需水量不同计算致灾因子的危险性；孕灾环境危险性由研究区海拔、坡度及土壤侵蚀程度决定。马铃薯北方一作区干旱灾害危险性具有明显的区域差异，从东北向西南增加(图 2)。北方地区属典型的温带季风气候，降水季节分配不均匀，因此马铃薯开花-成熟期作为各生育期中需水量最大时期，相较于其他生育期的危险性指数较高，并且面积较大。

3.2 马铃薯干旱灾害脆弱性

脆弱性用来衡量承灾体遭受损害的程度，由农作物对灾害的敏感性、种植区的适应性组成。作物对灾害的敏感性，本研究由年产量损失计算。适应性由作物种植环境的土壤条件计算。因此脆弱性由整个生育期计算。北方一作区单产从中部向东西两向增加。不同行政单位的产出存在明显差距。青海和新疆的产量具有绝对优势。除了山西省，其他九个区域呈现增长态势。变异系数表明，河北地区产量变化幅度最大，波动幅度最大。变化幅度为陕西

最小。马铃薯北方一作区干旱灾害脆弱性从西北向东南方向增加(图 3 a)。

农田面积从东向西减少；气候适宜性从东南部向西北部减少；暴露性从中部向西减少。

3.3 马铃薯干旱灾害暴露性

马铃薯作为承灾体，实际种植面积越大，暴露于干旱风险中的承灾体越多，可能遭受的损失就越大。马铃薯气候适宜度越高，意味着

3.4 马铃薯干旱灾害防灾减灾能力

防灾减灾能力表示受灾区在短/长期内能够从灾害中恢复的程度，包括应急管理能力和、减灾投入、资源准备等。本研究采用年耕地灌

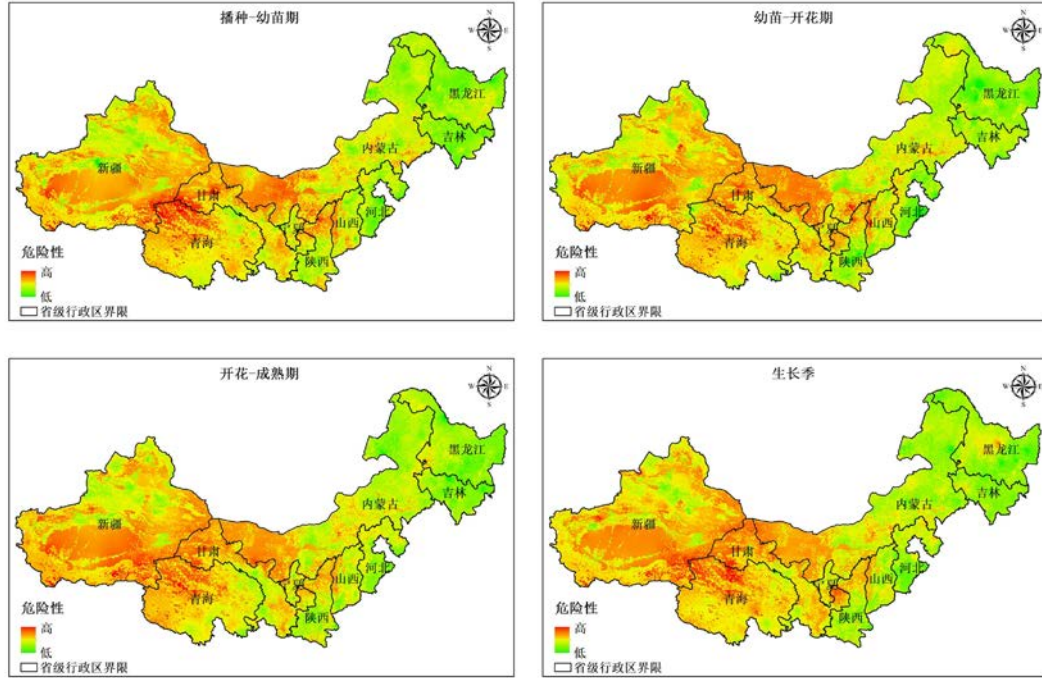


图 2 马铃薯北方一作区不同生育阶段干旱灾害危险性评价结果

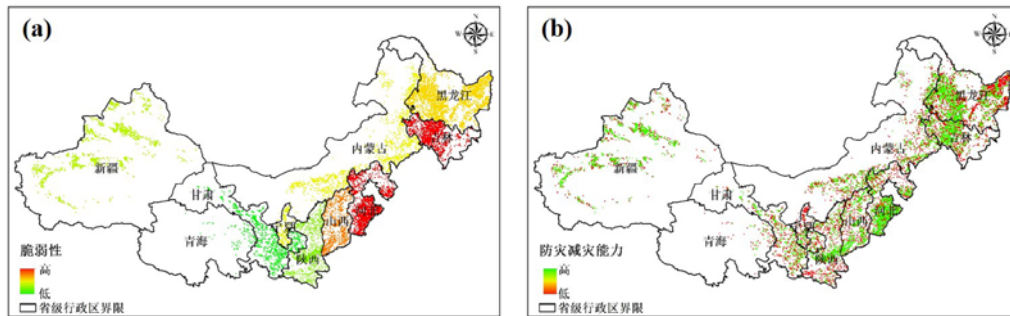


图 3 马铃薯北方一作区干旱灾害脆弱性与防灾减灾能力评价结果

适宜马铃薯种植的面积越大，可能遭受的潜在损失也就越大。因此本研究选取马铃薯播种面积、农田面积及马铃薯种植适宜度作为承灾体暴露性评价指标(图 4)。北方一作区中马铃薯种植面积以内蒙古和甘肃的中南部地区为主；

溉率、农业抗旱支出以及教育水平作为防灾减灾能力评价指标。同时，采用产量变异系数作为衡量指标是否合理及影响大小的标准，确保所选因子可以充分反映当地的抗灾能力。北方农区集多集中欠发达地区，并且农业经营者仍是小农为主，缺乏科学种植马铃薯的意识，对

农业气象灾害的认识不足^[9,10]。图 3 b 所示, 防灾减灾能力高低值交叉分布, 高值多集中于距离城镇用地近的位置。

3.5 马铃薯干旱灾害评价

马铃薯北方一作区干旱灾害风险具有明显的区域差异(图 5)。开花-成熟期的风险值为

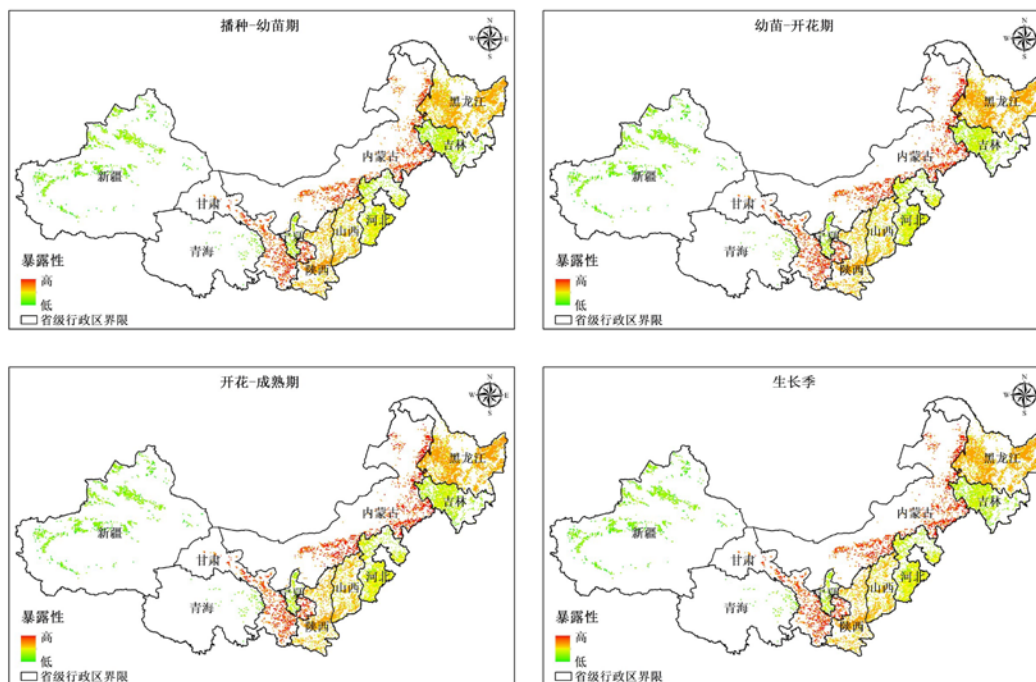


图 4 马铃薯北方一作区不同生育阶段干旱灾害暴露性评价

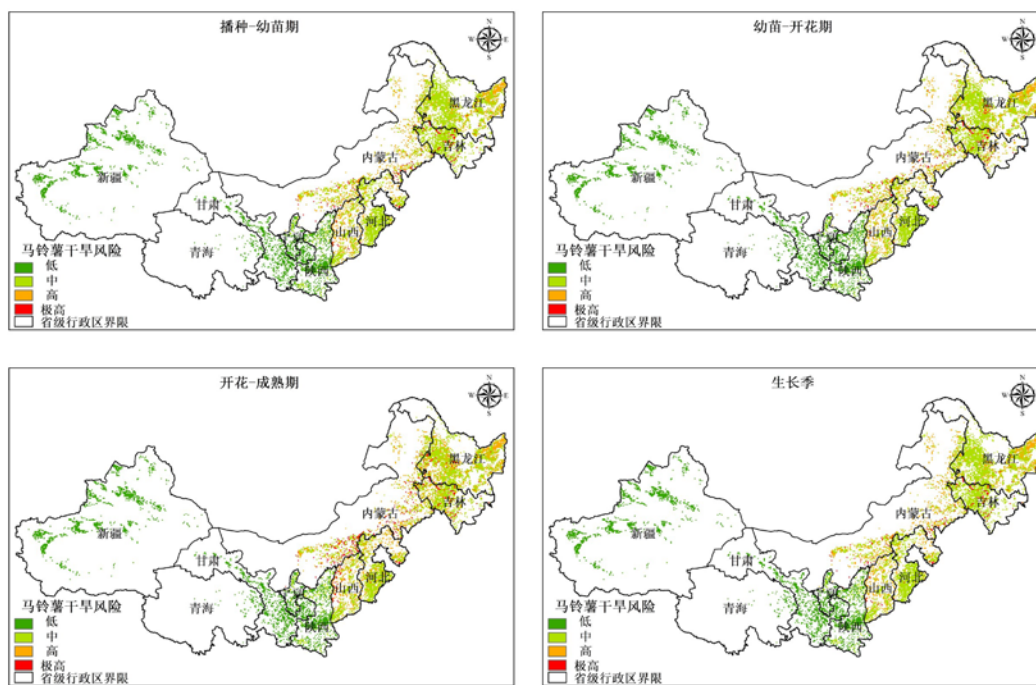


图 5 马铃薯北方一作区不同生育阶段干旱灾风险评价

各生育期中最高,并且极高、高风险值区域面积最大,多分布于研究区中东部。极高、高风险区面积从生育初期至后期依次增加,多集中于中部及东南部。中风险区面积先减少后增加,低风险区先增加后减少。

4. 结论与讨论

本文选取马铃薯北方一作区作为研究区,基于农业气象灾害风险形成机理收集多源数根据,从农作物干旱灾害风险的危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力四个方面对研究区马铃薯干旱灾害风险进行了评价。结果表明:(1)危险性空间上从东向西增加,数值上从生育期初期至后期随着马铃薯需水量的提高依次提高;(2)脆弱性空间上从西北向东南方向增加;(3)暴露性空间上从中部向东西方向减少;数值上依次开花-成熟期、播种-幼苗期、幼苗-开花期减少;(4)防灾减灾能力高低值交叉分布,高值多集中于与城镇用地近的地区;(5)干旱灾害极高、高风险区空间上多位于研究中部与东南部地区,数值上各级风险变化不同。

西部大开发、镰刀湾政策使马铃薯北方一作区生产重心向西南方向的脆弱性低地区移动,但是忽略了危险性高和防灾减灾能力低的问题。导致高产区、高适应性区和主要种植区的不重叠成为了马铃薯北方一作区主要面临的问题。因此发展马铃薯产业,必须要注意不能盲目的扩大种植面积,而忽略提高农生产力、科学布局与日益增加的农业气象灾害的防御。

致谢

本研究得到了“十三五”国家重点研发计划项目“主要经济作物气象灾害风险预警及防灾减灾关键技术”项目(2019YFD1002201)资助。

参考文献:

[1] Wang, Y.D.; Liu, X.; Ren, G.; Yang, G.; Feng, Y. Analysis of the spatiotemporal variability of droughts and the effects of drought on potato production in northern China. *Agric. For. Meteorol.* 2019, 264,

334–342.

- [2] Jansky, S.H.; Jin, L.P.; Xie, K.Y.; Xie, C.H.; Spooner, D.M. Potato production and breeding in China. *Potato Res.* 2009, 52, 57.
- [3] Wang, C.; Shi, X.; Liu, J.; Zhao, J.; Bo, X.; Chen, F. Interdecadal variation of potato climate suitability in China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2021, 310, 107293.
- [4] 王永利,侯琼,苗百岭,云文丽,贾成朕.内蒙古马铃薯干旱风险区划[J].应用气象学报,2017,28(04):504-512.
- [5] 王国强.1961-2015年黄土高原地区玉米生育期干旱演变特征及风险区划[D].西北师范大学, 2017.
- [6] Maqsood, J.; Farooque, A.A.; Wang, X.; Abbas, F.; Acharya, B.; Afzaal, H. Contribution of Climate Extremes to Variation in Potato Tuber Yield in Prince Edward Island. *Sustainability* 2020, 12, 4937.
- [7] Zhao, J.; Li, K.; Wang, R.; Tong, Z.; Zhang, J. Yield Data Provide New Insight into the Dynamic Evaluation of Maize's Climate Suitability: A Case Study in Jilin Province, China. *Atmosphere* 2019, 10, 305.
- [8] Hodrick, R.J.; Prescott, E.C. Postwar US business cycles: An empirical investigation. *Money Credit Bank* 1997, 29, 1–16.
- [9] Yang, X.; Chen, F.; Lin, X.; Liu, Z.; Zhang, H.; Zhao, J.; Li, K.; Ye, Q.; Li, Y.; Lv, S.; et al. Potential benefits of climate change for crop productivity in China. *Agric. For. Meteorol.* 2015, 208, 76–84.
- [10] Rosegrant, M.W.; Cline, S.A. Global food security: Challenges and policies. *Science* 2003, 302, 1917–1919.

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

