

廖雪萍, 黄梅丽, 雍阳阳, 等. 气候变化对广西农业影响的研究进展与展望[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(4): 72–80.

Liao Xueping, Huang Meili, Yong Yangyang, et al. Research progress and prospect of climate change impacts on agriculture in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(4): 72–80.

气候变化对广西农业影响的研究进展与展望

廖雪萍¹, 黄梅丽², 雍阳阳³, 李妍君⁴, 周绍毅², 秦 川⁴

(1. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022; 2. 广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022;

3. 广西大学, 南宁 530022; 4. 广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

摘要: 为全面了解气候变化对广西农业的影响, 以期广西农业趋利避害、适应与减缓气候变化, 尽可能降低气候风险对粮食安全和农业经济可持续发展造成的不利影响提供理论依据, 并为今后相关研究工作提供参考, 文章简述了气候变化对广西农业气候资源、农业气象灾害、作物生长发育和产量、种植制度和品种布局、农业病虫害等方面影响的研究进展与存在问题, 并展望了该领域未来重点研究方向。在气候变暖背景下, 广西热量资源呈增加趋势、光照资源呈减少趋势、水分资源变化趋势不明显但年际间变化较大, 从而造成农作物发育期、品种布局和种植制度的变化; 干旱、洪涝、高温等农业气象灾害有明显加重的趋势, 作物灌溉需水量增长, 作物病虫害加剧, 使农业生产的不稳定性增大, 造成作物产量波动加大, 作物品质和产量下降。总体上看, 气候变化对广西农业的影响利弊共存, 以不利为主。未来应加强农业气候资源和农业气象灾害变化归因研究, 在考虑多因子变量综合影响下, 改进目前气候变化对农业影响的研究方法, 丰富和扩展广西气候变化影响评估的领域, 加强气候资源高效利用与农业适应技术及其示范基地试验的研究。

关键词: 广西; 气候变化; 农业; 影响; 进展; 展望

中图分类号: P467

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.4.11

OSID:



引言

农业生产受气候环境的直接影响, 包括受光照、温度、降水等气候条件及其协同作用的影响。气候变化背景下, 农作物的适宜生长发育进程改变, 发育期会发生相应改变, 其变化对不同地区、不同品种有所不同, 品种布局、种植制度等农业生产方式也会随之发生调整, 进而影响到品质、产量变化; 同时高温、干旱、洪涝等极端天气气候事件出现频率和强度增大, 异常的天气和气候会导致农业减产^[1], 影响农业生产甚至危及粮食安全, 随着全球气候持续变暖, 极端天气气候事件频发, 未来中国农业受灾风险和粮食安全的不确定性将加大^[2]。因此, 自 20 世纪 80 年代

中期开展以来, 气候变化对农业影响的研究一直是气候变化研究领域的热点问题^[1-23], 区内外学者从 20 世纪 90 年代以来亦开展了广西区域的系列相关研究, 主要成果主要体现在气候变化观测事实及其引起的作物生育期、种植制度与布局、产量、病虫害、农田生产管理以及农业经济发展的变化和影响等方面^[13, 21, 24-60]。因此, 本文就广西农业气候资源和主要农业气象灾害的变化特征及其对农作物的生长发育、产量、品种布局、种植制度, 以及对农作物灌溉量、农业病虫害等方面影响的研究成果进行综述, 并提出这些领域研究尚存在的不足之处, 同时展望未来主要的研究方向, 以期广西农业在全球气候变化背景下主动适应与采取减缓措施, 降低气候风险

收稿日期: 2020-10-28

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项“我国东南部地区主要热带果树关键气象保障技术研究”(GYHY201406027)、广西科技计划项目“广西新兴热带果树寒冻害风险预警与精细区划技术研究”(桂科 AB16380260)、广西自然科学基金“广西北部湾城市群气候承载力定量评价和预估研究”

作者简介: 廖雪萍(1967—), 女, 硕士, 编审, 主要从事期刊、生态与气候变化关系研究等工作。E-mail: 785835336@qq.com

影响,保障粮食安全提供参考依据。

1 对广西农业气候资源的影响

1961—2015 年广西年平均气温变化速率为 $0.143^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,呈现出明显的上升趋势,与全球、中国及华南地区的气温变化总趋势基本一致^[2,30,32-34],但比同期中国平均升温率 $0.32^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 明显偏低,略低于 1960—2011 年华南地区(海南、广东、广西和福建四省)平均升温率 $0.19^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。上世纪 80 年代后期开始振荡上升,1986—2015 年平均气温较 1961—1985 年平均升高了 0.4°C ^[31],90 年代后期以来升温更加明显,1991 年后平均气温比 1991 年前增加了 0.46°C ^[30],并于 1997 年开始增温突变^[32];桂北、桂东、桂南、桂西均比桂中的年平均温度上升速度快,其中防城港上升速度最快^[35]。各季节平均温度均为上升趋势,以冬季升温最为明显^[30-32]。温度升高导致广西热量分布格局改变及热量资源总体增加。广西东南、西南和北部地区日平均气温稳定 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温,以及东北部、西南部双季稻安全期内 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温和华南地区一样,呈现出明显增加趋势^[14,32-35],其中 1961—2010 年广西 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加速率 $68^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,接近 1960—2011 年华南地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温平均增加速率 $76.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。沿海地区大于 8000°C 积温所占面积呈明显增加趋势^[34]。积温的增加使适宜种植热带作物的区域界限向北、向高海拔扩展,种植面积有所增加^[19]。

对于光照资源,近 50 多年来,广西大部分地区日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的日照总时数和广西年平均日照时数均呈显著下降趋势,与 1960—2011 年华南地区日照时数以及 $\geq 1800\text{h}$ 日数时数高值区面积变化趋势相同,降幅和年代际变化相似^[34-37]。

广西水分资源的变化趋势不明显,但时空分布不均,年际间变化较大^[30,38-42]。

以上针对广西农业气候资源变化事实的研究可以发现,广西热量资源呈增加趋势、光照资源呈减少趋势、水分资源年际变化大,这对作物种植制度、作物产量和农业结构等产生影响^[5]。未来农业气候资源继续变化,基于 PRECIS 模拟广西冬季气候^[43-44],预估 A2 和 B2 情景下广西冬季平均气温和日辐射强度均为增加趋势,降水量在 A2 情景下变化趋势不大,B2 情景下有减少趋势。A2 与 B2 情景下,广西各地区农业气候资源以及不同作物的种植潜力将有不同的响应。

2 对广西主要农业气象灾害的影响

气候变化背景下,高温、干旱、强降水等极端天气气候事件与病虫害频发^[2]。对广西农业影响较大的气象灾害主要有干旱、洪涝、高温热害以及低温阴雨、霜冻、寒露风等低温冷冻害^[45-46]。干旱是广西发生最为频繁、受灾面积最大并对农业生产影响最为严重的气象灾害^[45,48],春、夏、秋、冬四季都会有干旱发生,时空分布不均。干旱强度桂东南较大,历时则在贺州—来宾—崇左的带状区域内较高,桂中为重旱高频中心,频率约 5%^[49-50]。1961—2010 年广西干旱指数、SPEI 指数、水分盈亏指数、干旱受灾面积及损失率均呈上升趋势^[30,47-55],秋旱更为突出。20 世纪 90 年代后广西甘蔗秋季中度和重度以上干旱发生频率和强度总体呈增加和加重趋势,广西甘蔗各个生育期多呈干旱化趋势。广西以夏秋季干旱(伏秋旱)对水稻生产的影响较大,1981—2010 年早稻生育期干旱频率为 10.4%;甘蔗、水稻的干旱以轻度等级为主;气象干旱指数与基于土壤水分盈亏指标表征的相关研究指标比,作物中度以上干旱频率明显偏低,可能是农业灌溉条件缓解了气象干旱对作物干旱的影响^[56-57]。1961—2011 年广西农业旱灾综合损失率低于中国南方平均水平,进一步结合社会发展数据,采用灾害风险系统理论对广西农业旱灾风险进行评估,结果表明最高风险是桂东南的崇左及桂中来宾^[51,60]。广西农业旱灾与降水的负相关性大于其与气温的正相关性,对降水的明显响应集中在 6—11 月份^[59-61]。降水时空分布不均和气候变暖两因素叠加加剧了干旱的发生。

广西早涝灾害具有频繁交错,早涝急转,突发性强等特点^[47]。伴随着极端强降水事件的增多,广西洪涝灾害也呈现增加趋势;近 50a 最严重的洪涝灾害多数发生在 90 年代后,造成的灾害损失呈上升趋势,1987—1996 发生严重洪涝机率比 1957—1986 年偏高 20.0%,重涝发生频率最大是沿海的钦州、防城、北海等地,多出现在 5—7 月份^[30,48-49]。

高温热害对水稻影响主要体现在抽穗扬花期和灌浆成熟期。此期间广西早稻高温热害平均频率为 35.4%,高值区主要分布在左右江河谷以及桂东南梧州市,稻区高温热害总次数、总天数和强度桂南>桂中>桂北。近 50 多年来,广西早稻高温热害与广西年高温日数一样呈现出增多趋势,其中 1961—2016 年桂南稻区早稻高温热害总次数、总天数、强

度均呈微弱增加的趋势;早稻轻、中度高温热害次数在 2009 年发生突变^[62-64]。RCP2.6 和 RCP8.5 情景下,全国稻区高温敏感期的高温日数、积温及其持续日数均增多,后者增幅更大,华南增幅明显高于全国其他稻区^[77],广西大部地区发生高温热害损失的概率较基准年(1961—1990 年)增加超过 20%,RCP8.5 情景下超过 20%的区域面积更多。随着气候变暖,虽然低温冷寒冻害呈减少趋势^[65-71],但极端事件仍有发生,A1B 情景下,未来广西热带作物安全种植北界北移明显,将导致热带作物寒害风险增高^[63]。以上研究说明,除低温冷冻寒害外,广西主要农业气象灾害有明显加重的趋势,且未来广西农作物受到热害的机率增高,但也需注意应对因种植北界北移带来的低温冷害的挑战,这些变化因素势必增大广西农作物尤其是甘蔗等大宗作物产量的波动和农业生产的风险。因此,控制温室气体排放是气候变化背景下降低农业生产损失、确保粮食安全的重中之重。

3 对广西农作物生长、发育和产量的影响

3.1 对农作物生长发育的影响

气候变暖对广西水稻生育期有明显的影响,但早晚稻及不同地区受到的影响略有不同^[72-73],大部地区早稻播种期、出苗期、三叶期、拔节期、抽穗期和成熟期呈提前趋势,早稻全生育期普遍延长;晚稻播种期、出苗期、三叶期、拔节期呈推迟趋势,抽穗期、成熟期既有提前也有推迟、以提前偏多,晚稻全生育期明显变短;桂北和桂西水稻安全生育期显著延长^[35]。广西春玉米随播期延迟,生育期日平均气温升高,生育期缩短,主要表现在出苗至抽雄阶段;播期每延迟 7.0d,生育期平均缩短 3.9d^[74]。桂林市气候变暖引起柑桔物候期的变化明显,表现为春季物候期提前,秋季物候期推迟,生长季呈延长的趋势^[75]。广西百色市降水量变化对芒果秋梢抽发期、花芽分化期、开花结果期、果实膨大期、成熟期的影响既有利又有弊^[76]。气温是影响农作物生育期最为显著的气象因子^[75]。

极端天气气候事件频发,对农作物生长发育的影响日趋严峻。广西前汛期高强度降雨发生频率增大,对早稻的分蘖期、抽穗扬花期、拔节期、孕穗期和乳熟期等生育期造成了较大的伤害^[42]。间断性高温胁迫可抑制早稻四叶一心期和拔节期叶片的生长,但连续性高温和夏季异常低温胁迫对叶片的生长反而有促进作用^[76];温度胁迫后,水稻的株高均受到不

同程度的抑制。桂林市阴雨寡照异常天气对西瓜全生育期、雌花授粉受精率、结果期的影响十分严重^[77],直接导致西瓜的坐果率降低。百色市芒果花期高温热害呈加重趋势,不利于芒果生产^[78];干旱、高温高湿、冰雹等变化趋势虽不明显,但年际和年代变化特征明显,使芒果各生育期仍存在较大的受灾风险。极端天气气候事件对农作物不同生育期的影响不尽相同,如夏季异常温度对水稻四叶一心期和拔节期的株高、叶片生长等影响显著^[76],广西早稻干旱主要发生在移栽一分蘖期^[59]。

3.2 对农作物产量的影响

气象因子变化对广西农作物产量的影响因作物而不同,温度变化对甘蔗产量的影响较显著,降水变化对甘蔗产量的影响较小^[79-80]。气温上升有利于甘蔗产量的提高,气温每增高 1℃,单产约增加 2401kg·hm⁻²,但 9 月上旬至 10 月上旬气温呈显著增高的趋势,对广西上思县甘蔗糖分的积累不利,影响蔗糖产量。降水量变化引起广西甘蔗产量上升。气候变化对广西粮食作物(包括谷物、薯类和豆类)产量的影响是客观存在的,且以不利影响为主,1978—2015 年广西降水增多和日照时长增加较有利于水稻产量增加,气温升高对水稻产量则具有显著负作用^[29]。使用桑斯维特纪念模型,基于平均实际蒸散量估算 A2 情景下广西冬季作物生产潜力,虽然温度升高带来冬季热量资源充足,但因降水量减少制约,冬季作物气候生产潜力整体减少,广西冬季农业气候生产潜力总体是东高西低^[45]。利用气候模式 HadCM2 和 ECHAM4 与作物模式 CERES 模拟了 4 种气候情景下我国主要水稻产区产量变化,结果发现,南宁和桂林早稻和晚稻在 4 种情景下都有不同程度的减产,气候变化对南宁和桂林晚稻的影响比早稻强^[81],这与我国其他水稻产区的结论是相反的,这可能与广西地区特殊的地理条件和模型本身有关,有待进一步的研究。RCP4.5 和 RCP8.5 情景对广西甘蔗增产有利,但前者情景下增产程度更高^[82],说明中等的排放路径对广西甘蔗生产是最有利的。

极端天气气候事件加剧了作物产量的波动,造成农作物产量的损失因作物、区域不同而具有显著的差异性^[82-83]。1961—2016 年,桂北、桂中、桂南双季稻稻区的年代产量波动变化大,尤其是桂南、桂中稻区进入 21 世纪以后产量波动更明显;大多数稻区高温热害次数、天数多以及强度大的年份对应其早稻产量偏低^[62]。广西暖冬不利于龙眼和荔枝花芽分

化,使翌年成花率极低,导致龙眼和荔枝产量明显减少^[83];严重霜冻、冰冻天气会造成甘蔗受灾严重,蔗糖产量减少,还造成果树、蔬菜产量大幅度减少^[84];20世纪90年代以后,干旱发生频率和强度的增加加重了对甘蔗产量的不利影响^[55]。广西甘蔗主产区受到干旱、低温霜冻等气象灾害影响,甘蔗产量波动风险程度以贵港市最大,防城港市最小^[85]。1981—2010年广西地区早稻旱灾高发区域集中在广西西南部至东南部一带,减产率为1%~3%^[59]。干旱年份下广西玉米等作物在几乎各生育期都会遇到水分亏缺,造成严重减产^[86]。

总体上看,气候变化使农业生产的不稳定性增加,作物产量波动加大,高温、干旱、冷害等极端天气气候事件还导致作物品质和产量下降^[14,29,62]。气候变化对广西农作物产量的影响有利有弊,以不利影响为主。

4 对广西农作物种植制度和品种布局的影响

包括广西在内的华南地区农业气候资源发生了变化,这对该地区作物种植制度和农业结构等产生了影响^[33],使一些作物的适宜种植区及种植界线等发生了改变,如1961—2010年单季稻种植区和1971—2000年双季稻种植区,广西北部地区分别存在单季稻低、中气候适宜等级之间以及双季稻低、中气候适宜等级之间的转换^[87]。1990—2019年广西单季再生稻和中迟熟双季稻气候适宜区面积较1960—1989年分别提高2.1%和4.2%,而早中熟双季稻和迟熟双季稻气候适宜区面积较前30a(1960—1989年)分别下降了3.6%和2.7%,变化显著的区域主要分布在桂林阳朔、荔浦地区,贺州市区周边以及南宁马山、隆安地区^[34]。受广西近50a(1961—2010年)气候变暖的影响,广西冬种马铃薯种植气候最适宜区、适宜区往北扩张,次适宜区、不适宜区往北缩小;极端最低气温、霜冻日数一直是制约广西冬种马铃薯扩大种植的主要气象因素^[21]。河池市油茶最适宜种植区面积有所增大,适宜区向北迁移,北部次适宜区和不适宜区面积相应减少,而南部部分最适宜区和适宜区转变为适宜区和次适宜区^[88]。

气候变化对农作物种植结构的影响越来越显著,既给农业生产带来负面影响,也带来了有利因素^[89]。广西百色市降水量变化对早熟芒果有一定的不利影响,但有利于中、晚熟芒果的生长发育^[28];气

温变化对广西地区龙眼生产具有负效应,广西地区气候变暖,尤其是冬春季节气温显著升高,使影响龙眼生产的冬春季“热害”的发生频率增加,龙眼气温适宜度呈降低趋势,严重限制了广西地区龙眼生产^[89];干旱频发对广西钦州市钦南自然水灌区的影响直接导致了早稻种植面积的急剧减少;广西热量增加将改变作物品种布局,作物种植北界向北移,对桂北和山区的农业发展有利^[14]。

在农业生产中应根据气候变化,适当调整农作物种植制度和品种布局,科学规避农作物关键生育期的高温、寒害、干旱等不利影响,充分利用气候资源条件,发挥农作物最大的产量潜力,才能保证气候变化条件下的稳产和丰产。

5 对广西作物病虫害发生发展的影响

我国病虫害随着气候变化呈现出逐渐加重的变化趋势。在病虫害繁殖过程中,温度对其具有极其重要的影响,冬季变暖3.1℃~5.7℃,夏季变暖1.8℃~5.1℃,害虫的危害将加剧10%~20%^[90]。农区平均温度每升高1℃,农作物病虫害、病害、虫害发生面积增加 $15611.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $6095.82 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 $9664.10 \times 10^4 \text{ km}^2$;适宜温度下,升温对病虫害发生有利,而异常高温则不利^[91]。

近50a广西平均气温上升了0.5℃^[38],这很大程度上影响了各地区的有效积温,使得农作物的繁殖周期变短,却使稻飞虱多繁殖了半个世代,导致其繁衍的数量和速度都增加迅速,害虫繁殖代数增加^[92]。冬季最低温度上升有利于病虫害虫卵越冬,暖冬将造成农作物病虫越冬基数增加、越冬死亡率降低、次年病虫害发生加重^[92-94]。受暖冬的影响,1991年广西南部16县冬后褐飞虱残虫比1990年增加了8倍;1998—1999年冬季棉铃虫越冬总虫量比历年或1999年同期偏高^[93]。广西贺州市冬季最低温度与当地水稻病虫害成正相关,如稻飞虱虫卵在冬季极端低温的1992年及1999年冬,其虫卵越冬成活率较小^[94],以至于1993年及2000年稻飞虱始见日期较上年晚了近20d以及当年病虫害受灾面积略有降低;反之,2006年暖冬对2007年稻飞虱害虫越冬虫源和早迁入则较有利^[95]。近几年连续暖冬气候出现,导致广西森林冬季虫害的死亡率下降,病虫害发生面积逐年上升,病虫害种类也逐年增加^[96]。气候变暖还使害虫的地理分布范围扩大,使一些害虫的越冬界线北移^[24]。未来气候变暖1.5℃情景下,广西沿海

和桂南大部地区将从目前的稻飞虱多年越冬气候区变为稻飞虱适宜繁殖气候区;桂中和桂北地区(除桂东北外)将成为稻飞虱的越冬气候区;稻飞虱的安全越冬北界将由 22°N 推至 24°N 附近, 常年可在 $26^{\circ}\text{N}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 越冬^[97], 病虫害的危害范围有所扩大。

气候变化增加了病虫害的繁殖时间与繁殖速度, 病虫害的繁殖能力增强。其次, 冬日温度的提高, 加之降水量较少, 直接使得病虫害生存时间增多, 即病虫害的危害期也相应延长。再者, 病虫害的危害范围有所扩大, 害虫的越冬界线向北移, 病虫害的出现不再是局限于现有地区。这些都增加了病虫害防治的难度, 对广西农业发展存在不利影响。

6 对广西作物灌溉量的影响

随着气候变暖导致旱涝极端事件频发, 全球灌溉用水需求呈增长趋势^[98-99]。在高排放情况下, 2100 年北半球夏季灌溉用水量比 2000 年增加 20%, 用水高峰期会延长 1 个月或更长时间^[100]。1990S 前气候变化主要体现在降雨量对农作物蓝水蒸散量的影响, 而 1990S 后温度成为主要影响因子。华南主要耗水作物水稻的蓝水蒸散量在 1990S 前呈下降趋势, 1990S 后则逐渐增大, 灌溉需水量随之增长^[101]。

近年来, 广西年降水呈两极分化趋势, 偏涝和偏旱的极端年份集中出现, 广西频发的干旱极端现象在特定年份显著提高作物的灌溉用水^[30, 29, 86]。作物需水量与地区干燥度指数和土壤湿度密切相关, 广西地区干燥度指数呈降低趋势, 且存在 5a 和 25a 两个振荡周期, 西部和南部较为干旱, 北部和东北较为湿润^[102]。广西右江河谷甘蔗灌溉需水量随着其全生育期有效降水量的年代际减少趋势而呈现增长的趋势。玉米全生育期灌溉需水量在 90 年代达最大, 21 世纪前 10 年次之^[103]。广西的灌溉玉米和灌溉水稻对气候变化都具有较强敏感性, 而雨生玉米的脆弱性则较小^[11]。广西天等县灌溉条件下的玉米产量明显高于雨养条件下的玉米产量, 说明灌溉对保证当地玉米产量发挥着突出的作用。天等县生态环境脆弱, 干旱发生时如采取灌溉措施将一定程度上降低干旱频发对当地农业的影响^[104]。

未来气候变化持续影响下, 灌溉将对提高作物产量发挥越来越突出的作用。基于 APSIM 模型预测在 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下, 未来灌溉方式下的蔗茎产量均大于雨养产量, 灌溉能提高地上部干重产量^[27]。在降雨量较少地区, 通过灌溉增加土壤含水量

对甘蔗产量增加效果明显;但在降雨多、土壤含水量较大地区, 灌溉则对甘蔗产量增加较少。预计玉米、水稻(无论是雨养还是灌溉)对未来气候变化十分敏感, 如果没有适应措施, 未来广西作物产量将大幅度下降^[11]。

7 结论和展望

7.1 结论

(1) 近三十年来的研究对当前气候变化对广西农业的影响取得了一定的认识。广西热量资源呈增加、光照资源呈减少的趋势, 而水资源年际变化较大, 干旱、洪涝、高温等农业气象灾害有明显加重的趋势, 从而造成农作物发育期、品种布局和种植制度的变化, 进而影响产量发生变化;灌溉需水量增长, 病虫害加剧以及极端天气气候事件频发使农业生产的不稳定性增大, 造成作物产量波动加大, 作物品质和产量下降;总体上看, 气候变化对广西农业的影响利弊共存, 以不利影响为主。

(2) 开展了许多未来气候变化对广西农业影响方面的研究。未来气候变化情景下, 热害、干旱等风险增高, 病虫害的危害范围有所扩大, 对农业生产将造成不利影响;未来气候变暖对甘蔗生长发育和产量增加有利, 但气候变化造成降水量减少, 对大多数农作物将造成越来越不利的影响。并提出了调整农作物种植制度和品种布局、控制温室气体排放等应对气候变化不利影响的措施和建议。

(3) 研究的内容比较丰富, 涉及面比较广。在研究对象上不仅有水稻、玉米等粮食作物, 还有甘蔗、芒果、龙眼等经济作物和果树;在研究地域上, 既有省级, 又有地级市区域尺度, 还有县级的。气候变化对广西农作物生长发育、产量、种植制度、品种布局、灌溉量、病虫害等均造成了不同程度的影响。

7.2 展望

气候变化对广西农业影响的研究已取得了丰富的成果, 但各方面的研究也存在一些不足及未来需要进一步加强的方向, 主要有以下几方面:

(1) 广西农业气候资源和农业气象灾害变化归因研究有待深入。以往研究的内容主要以农业气候资源和农业气象灾害产生变化的表象为主, 缺少产生变化的原因和机理的研究, 这也是未来需要加强的研究方向。

(2) 对农作物影响的研究方法, 目前主要有田间试验观测、统计分析和模型模拟三种, 田间观测法耗

时、耗力,实验要求高、数据获取难,不适合长周期、大区域研究;统计分析法对许多影响因素考虑不充分,所得结论难以有效指导实践,此外统计模型外推效果较差,在预测变化趋势方面局限性大;模型模拟法存在模型结构复杂、输入数据量多、模型本地化处理难度较大等不足。未来应完善研究方法,如开展遥感反演方法的研究;加强和改进作物模型模拟和统计模型,如开展单一模型法向综合模型法过渡,以及探索多源数据融合和多目标研究模式;在影响因子方面,除气象因子外,还需考虑 CO_2 浓度增加、病虫害、栽培技术、管理措施等其他因子的综合影响作用;将多种方法结合使用,以提高研究结果的可靠性。

(3)未来情景气候变化对广西农业的影响方面,选用了气候模式结合作物模式对气候情景下的农业生产情况进行模拟,模式本身的不确定性和模式之间的差异会对结果造成影响。此外,大部分研究基本上只考虑了气候资源的变化,极端气候事件并未被考虑在内,对社会经济发展、政策、技术进步等方面的变量也未多加考虑,使得研究结果过于理想化,没有考虑气候要素的叠加影响也使研究结果多少存在一定的偏差。

目前针对气候情景下广西地区农作物生产的相关研究较少,大多数都是基于全国或华南地区的研究,未来的研究应多关注广西全区或广西农业的关键地区,例如气候生产潜力较大的桂东北和较小的桂西北等。大部分研究仅考虑了 1 或 2 个气候情景,对中等排放情景和严格的减排情景讨论较少,丰富各类气候情景的模拟研究可以为农业发展提供更多的决策参考依据。未来研究还应加入极端气候事件和社会经济因素的影响,综合考虑经济发展、政策变化、科技进步等社会因素,以求更精细地模拟气候情景下广西农业的发展情况。针对广西受气候变化影响较大的农作物种类,开展更深入的研究,用作物生长模型结合大田试验,综合当地的经济条件和农产品效益,讨论经济效益最大化的种植制度^[25,45]。

参考文献:

- [1] 丁一汇.气候变化对生态系统和农业的影响[J].气象,1989,15(5):3-8.
- [2] 周广胜.气候变化对中国农业生产影响研究展望[J].气象与环境科学,2015,38(1):81-92.
- [3] 束页译.欧洲在研究气候变化对农业的影响[J].环境科学,1988,9(5):90.
- [4] 李淑华.气候变暖对我国农作物病虫害发生、流行的可能影响及发生趋势展望[J].中国农业气象,1992(2):46-49.
- [5] 王馥棠.我国气候变暖对农业影响研究的进展[J].气象科技,1994(4):19-25.
- [6] 林而达,王京华.我国农业对全球变暖的敏感性和脆弱性[J].农村生态环境(学报),1994,10(1):1-5.
- [7] 赵跃龙.全球气候变化对美国农业经济影响的再评估[J].地理译报,1996(12):39-45.
- [8] 张厚宣,林而达.中国农业响应全球气候变化的策略问题[J].农业环境保护,1997(1):35-39.
- [9] 金之庆,葛道阔,郑喜莲,等.评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响[J].作物学报,1996(5):513-524.
- [10] 熊伟,陶福禄,许吟隆,等.气候变化情景下我国水稻产量变化模拟[J].中国农业气象,2001(3):2-6.
- [11] 孙芳.我国主要作物对气候变化的敏感性和脆弱性研究[D].中国农业科学院,2005.
- [12] 居辉,许吟隆,熊伟.气候变化对我国农业的影响[J].环境保护,2007(6A):71-73.
- [13] 孙白妮,门艳忠,姚凤梅.气候变化对农业影响评价方法研究进展[J].环境科学与管理,2007,32(6):165-168.
- [14] 黄梅丽,林振敏,丘平珠,等.广西气候变暖及其对农业的影响[J].山地农业生物学报,2008,27(3):200-206.
- [15] 汤绪,杨续超,田展,等.气候变化对中国农业气候资源的影响[J].资源科学,2011,33(10):1962-1968.
- [16] 王静,杨晓光,李勇,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅵ.黑龙省三江平原地区降水资源变化特征及其对春玉米生产的可能影响[J].应用生态学报,2011,22(6):1511-1522.
- [17] 潘根兴,高民,胡国华,等.应对气候变化对未来中国农业生产影响的问题和挑战[J].农业环境科学学报,2011,30(9):1707-1712.
- [18] 杨晓光,刘志娟,陈阜.全球气候变暖对中国种植制度可能影响:Ⅵ.未来气候变化对中国种植制度北界的可能影响[J].中国农业科学,2011,44(8):1562-1570.
- [19] 戴声佩,李海亮,刘海清,等.全球气候变暖背景下华南地区农业气候资源时空变化特征[J].中国农业资源与区划,2014,35(1):52-60.
- [20] 赖荣生,余海龙,黄菊莹.宁夏中部干旱带气候变化及其对春玉米气候生产潜力的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(3):108-114.
- [21] 廖雪萍,梁骏,黄梅丽,等.广西冬种马铃薯种植布局对气候变暖的响应[J].西南农业学报,2014,27(6):2311-2315.
- [22] 张秀云,姚玉璧,杨金虎,等.中国西北气候变暖及其对农业的影响对策[J].生态环境学报,2017,26(9):1514-1520.
- [23] 许吟隆,赵运成,翟盘茂.IPCC 特别报告 SRCCL 关于气

- 候变化与粮食安全的新认知与启示[J].气候变化研究进展,2020,16(1):37-49.
- [24] 吴信荣,潘绚.气候变暖对广西农业产生的影响分析[J].农业与技术,2013,33(10):207.
- [25] 王鑫.气候变化对广西农业的影响及其适应研究[D].广西师范学院,2017.
- [26] 廖雪萍,黄梅丽,李耀先,等.基于气候变化视觉下广西粮食安全生产的思考[J].气象研究与应用,2017,38(1):87-91.
- [27] 阮红燕.气候变化对广西甘蔗生产潜力影响的模拟研究[D].广西大学,2018.
- [28] 黄兰杰.广西百色市降水变化趋势及其对芒果生产的影响[D].广西大学,2019.
- [29] 黄凯,邵金华,黄旭升,等.近 40 年广西气候变化、灌溉与施肥对粮食作物产量的影响研究[J].中国农村水利水电,2020(7):129-135.
- [30] 何洁琳,谢敏,黄卓,等.广西气候变化事实[J].气象研究与应用,2016,37(3):11-15.
- [31] 李艳兰,黄卓.气候变化背景下广西农业气候资源的变化特征[C].第 33 届中国气象学会年会论文集,北京:2016:299-300.
- [32] 周绍毅,徐圣璇,黄飞,等.广西农业气候资源的长期变化特征[J].中国农学通报,2011,27(27):168-173.
- [33] 李勇,杨晓光,王文峰,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化 I. 华南地区农业气候资源时空变化特征[J].应用生态学报,2010,21(10):2605-2614.
- [34] 戴声佩,李海亮,罗红霞,等.1960-2011 年华南地区界限温度 10℃积温时空变化分析[J].地理学报,2014,69(5):650-660.
- [35] 黄维,吴炫柯,刘永裕,等.气候变化对广西双季稻种植布局的影响[J].中国农业气象,2020,41(9):539-551.
- [36] 伍红雨,杜尧东,潘蔚娟.近 48 年华南日照时数的变化特征[J].中山大学学报(自然科学版),2011,50(6):120-124+129.
- [37] 叶瑜,苏永秀,李政,等.近 50 年广西日照时数时空变化特征分析[J].中国农学通报,2015,27(27):168173.
- [38] 黄雪松,周惠文,黄梅丽,等.广西近 50 年来气温、降水气候变化[J].广西气象,2005(4):9-11.
- [39] 涂方旭,李耀先,覃峥嵘,等.广西降水量序列的气候变化模型[J].广西气象,2000,21(3):25-28.
- [40] 李政,苏永秀.1961-2004 年广西降水的变化特征分析[J].中国农学通报,2009,25(15):268-272.
- [41] 徐国琼.气候变化对广西水资源的影响及其保护对策研究[J].水文,2009,29(S1):31-33+127.
- [42] 王新然.广西前汛期降雨的低频振荡特征及其对早稻的影响[D].广西大学,2019.
- [43] 梁骏,刘一江,梁驹,等.PRECIS 对未来广西冬季农业气候资源变化的模拟分析[J].中国农业气象,2015,36(2):119-128.
- [44] 刘一江.气候变化情景下广西冬季农业气候资源评估预估研究[D].广西大学,2015.
- [45] 廖雪萍,刘一江,李耀先,等.未来气候情景下广西冬季农业气候生产潜力的变化特征[J].西南农业学报,2017,38(2):438-443.
- [46] 周广胜.气候变化对中国农业生产影响研究展望[J].气象与环境科学,2015,38(1):80-84.
- [47] 蒙远文,李耀先,易燕明,等.广西气象灾害特点及对农业生产的影响[J].广西气象,1992(3):43-47.
- [48] 何燕,高永珍.广西主要农业气象灾害分析及防灾减灾对策[J].广西农业科学,1998(5):254-257.
- [49] 罗红磊,何洁琳,李艳兰,等.气候变化背景下影响广西的主要气象灾害及变化特征[J].气象研究与应用,2016,37(1):10-14.
- [50] 黄雪松,邹立尧,魏春秀,等.广西农业干旱灾害演变态势及防御机制研究[J].气象软科学,2009(2):40-45.
- [51] 杨星星,杨云川,邓思敏,等.基于 SPEI 的广西干旱综合特征及农业旱灾风险研究[J].水土保持研究,2020,27(4):113-120.
- [52] 陈少勇,魏桂英,郭俊瑞,等.中国西南和华南地区秋季干旱变化规律[J].干旱气象,2014,32(6):894-901.
- [53] 李艳兰,何如,覃卫坚.气候变化对广西干旱灾害的影响[J].安徽农业科学,2010,38(21):11299-11301,11430.
- [54] 张景扬,卢远,李嘉力.基于 SPEI 的广西干旱时空变化特征分析[J].云南地理环境研究,2015,27(6):15-24.
- [55] 卢小凤,匡昭敏,李莉,等.气候变化背景下广西甘蔗秋旱演变特征分析[J].南方农业学报,2016,47(2):217-222.
- [56] 陆耀凡,廖雪萍,陈欣,等.近 40 年广西右江河谷甘蔗生长季干旱时空特征[J].气象研究与应用,2015,34(2):62-65.
- [57] 陈燕丽,蒙良莉,黄肖寒,等.基于 SPEI 的广西甘蔗生育期干旱时空演变特征分析[J].2019,35(14):149-155.
- [58] 陈玉萍,陈传波,丁士军.南方干旱及其对水稻生产的影响——以湖北、广西和浙江三省为例[J].农业经济问题,2009(11):51-57.
- [59] 邹菊香.气候变化背景下干旱对两广地区早稻的影响评估[D].南京信息工程大学,2015.
- [60] 张强,韩兰英,郝小翠,等.气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其南北区域差异性[J].气象学报,2015,73(6):1092-1102.
- [61] 陆甲,廖雪萍,李耀先.广西农业旱灾对气温降水的响应特征[J].气象研究与应用,2015,36(2):66-69.
- [62] 胡小晖,延军平,欧维新.1950 年以来广西洪涝灾害及确实预测[J].灾害学,1999,14(4):27-31.
- [63] 黎琼炜,覃卫坚,高安宁.1961-2013 年广西洪涝灾害时空分布特征及成因[J].气象研究与应用,2015,36(1):

- 80–85.
- [64] 廖雪萍,史彩霞,黄梅丽,等.广西早稻高温热害变化特征及其对产量的影响[J].气象研究与应用,2019,40(2):56–60,114.
- [65] 孙雯,王月.广西南部地区6县(市)水稻高温热害灾损变化及应对策略[J].广东农业科学,2019,46(2):1–8.
- [66] 谭孟祥,何燕,王莹,等.1958—2018年广西早稻高温热害时空变化规律[J].中国农学通报,2020,36(29):107–113.
- [67] 于文金,阎永刚,郝玲,等.基于小波理论的广西低温阴雨灾害天气波动特征[J].地理科学进展,2011,30(9):1135–1142.
- [68] 李艳兰,黄卓,覃卫坚.近50年广西春播期低温阴雨的变化特征[J].安徽农业科学,2011,39(31):19427–19429,19456.
- [69] 李秀存,易燕明,苏志.广西冬季冻害气候变化的多尺度特征[J].热带地理,2003,23(2):123–125.
- [70] 杜裕.气候变化背景下广西冬季寒害与冻害时空分布特征研究[D].广西大学,2012.
- [71] 廖雪萍,李妍君,黄梅丽,等.1961–2016年广西双季稻低温冷害演变特征[J].气象研究与应用,2019,40(4):41–45,112.
- [72] 李艳兰,黄卓,谢敏.近45年广西寒露风的时空变化特征[J].中国农学通报,2017,33(28):117–122.
- [73] 徐圣璇,余锦华,覃卫坚,等.广西霜日气候变化特征[J].气象研究与应用,2013,34(2):47–50.
- [74] 许文龙,李赛声,缪世宁,等.广西蔗区霜冻影响规律及预防措施[J].贵州农业科学,2009,37(12):90–91.
- [75] 李世忠,李江南.气候变暖背景下广西水稻生育期变化特征[C].中国气象学会第32届中国气象学会年会,北京,2015.
- [76] 黄桂珍,李莉,匡昭敏.气候变化背景下广西水稻发育期变化特征分析[J].现代农业科技,2018(11):5–13.
- [77] 黄开健,黄爱花,莫润秀,等.基于气候变化特征的广西春玉米播期研究[J].南方农业学报,2018,49(7):1304–1310.
- [78] 张印平,郭昌东.桂林市气候变暖特征及其对柑桔物候期的影响[J].气象科技,2017(1):202–207.
- [79] 王伟力.异常气温对褐飞虱及水稻生长发育和代谢的影响[D].广西大学,2016.
- [80] 李业勇,李刚,潘玲华,等.桂林市异常气候条件对露地栽培西瓜生长和坐果的影响[J].广西农学报,2015,30(6):4–7.
- [81] 韦金海,陆英,卢小丹,等.气候变暖下百色芒果气象灾害演变特征及适应对策[J].热带农业科学,2019,39(9):101–106.
- [82] 许文龙,莫权芳,黄春华,等.气候因子变化对广西上思县甘蔗产量影响分析[J].南方农业学报,2015,46(12):2146–2152.
- [83] 付建涛,孙东磊,陈立君,等.温度和降水变化与甘蔗产量的关系分析[J].热带农业科学,2018,38(6):13–17.
- [84] 熊伟,冯灵芝,居辉,等.未来气候变化背景下高温热害对中国水稻产量的可能影响分析[J].地球科学进展,2016,31(5):515–528.
- [85] 韩芳玉,张俊飏,程琳琳,等.气候变化对中国水稻产量及其区域差异性的影响[J].生态与农村环境学报,2019,35(3):283–289.
- [86] 钟思强,苏维佳,莫炳泉.1993、1996年广西龙眼荔枝大幅度减产的农业气象因素分析[J].广西气象,1997,18(3):37–40.
- [87] 何燕,谭宗琨,冯源.1999年严重霜冻、冰冻天气对广西农业的影响[J].广西气象,2000(1):6–8.
- [88] 廖雪萍,杜裕,黄梅丽,等.广西甘蔗主产区产量灾损风险评估[J].气象研究与应用,2014,35(3):50–53.
- [89] 易燕明.作物水分盈亏状况分析及灌溉量估算初探[J].广西气象,1989(4):48–50,54.
- [90] 段居琦.我国水稻种植分布及其对气候变化的响应[D].南京信息工程大学,2012.
- [91] 王莹,苏永秀,李政.广西北部油茶种植气候适宜度评价[J].中国农学通报,2013,29(13):24–30.
- [92] 段海来,千怀遂,俞芬,宋秋洪.华南地区龙眼的温度适宜性及其变化趋势[J].生态学报,2008(11):5303–5313.
- [93] 李淑华.气候变暖对我国农作物病虫害发生、流行的可能影响及发生趋势展望[J].中国农业气象,1992(2):46–49.
- [94] 张蕾.气候变化背景下农作物病虫害的变化及区域动态预警研究[D].中国气象科学研究院,2013.
- [95] 王华生,林作晓,唐洁瑜,等.广西水稻稻飞虱的发生演变规律及原因分析[J].广西植保,2009,22(1):27–29.
- [96] 叶彩玲,霍治国.气候变暖对我国主要农作物病虫害发生趋势的影响[J].中国农业信息快讯,2001(4):9–10.
- [97] 刘文栋,葛意活,何燕.气候变化对水稻病虫害发生发展趋势的影响[J].中国农学通报,2010,26(24):243–246.
- [98] 朱豪红,文洪波,卢继英,等.近20年玉林市稻飞虱发生特点及其防控对策[J].中国植保导刊,2012,32(12):25–29.
- [99] 罗建明.广西森林病虫害成灾特点与气象减灾策略[J].中国农业信息,2016(3):115–116.
- [100] 李淑华.气候变化与害虫的生长繁殖、越冬和迁飞[J].华北农学报,1994,9(2):110–114.
- [101] Elliot J, Deryng D, Müller C, et al. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change[J]. PNAS, 2014,111(9):3239–3244.
- [102] Nadine S, Jana Z. Model and Growth Stage Based Variability of the Irrigation Demand of Onion Crops with

- Predicted Climate Change[J]. Water, 2017, 9(9): 693.
- [103] Wada Y, Wisser D, Eisner S, et al. Multimodel projections and uncertainties of irrigation water demand under climate changes[J]. Geophysical Research Letters, 2013, 40(17): 4626–4632.
- [104] 蔡超, 任华堂, 夏建新. 气候变化下我国主要农作物需水变化[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(01): 71–75.
- [105] 李洪源. 广西甘蔗水分供需特征及干旱分析[D]. 南京信息工程大学, 2018.
- [106] 陆耀凡, 廖雪萍, 陈欣, 等. 广西右江河谷旱作灌溉需水量变化特征[J]. 气象研究与应用, 2015, 36(1): 100.
- [107] 姜江. 贫困地区农业对气候变化脆弱性分析[D]. 中国农业科学院, 2012.

Research progress and prospect of climate change impacts on agriculture in Guangxi

Liao Xueping¹, Huang Meili², Yong Yangyang³, Li Yanjun⁴, Zhou Shaoyi², Qin Chuan⁴

(1. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning Guangxi 530022;

2. Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning Guangxi 530022;

3. Guangxi University, Nanning Guangxi 530022; 4. Guangxi Climate Center, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: The purpose of this paper is to fully understand the impact of climate change, provide a theoretical basis for agriculture in Guangxi, adapt to and slow down climate change, reduce the adverse impact of climate risk on food security and sustainable development of agricultural economy, and provide a reference for related research work in the future. The paper briefly described climate change effects on agricultural climate resources, agricultural meteorological disasters, crop growth and yield, planting system and variety distribution, agricultural diseases and insect pests, agricultural economic development and other aspects in Guangxi, and prospected the future research directions. Under the background of climate warming, Guangxi heat resources are increasing, light resources are decreasing, and water resources are not changing significantly, but the inter-annual changes are large, resulting in the changes of crop development period, variety distribution and planting system. Agro-meteorological disasters such as droughts, floods, and high temperatures have clearly aggravated. Water demand for crop irrigation has increased, and crop pests and diseases have increased, which has increased the instability of agricultural production, resulting in increased fluctuations in crop yields, and decreased crop quality and yield. Generally speaking, climate change impacts on agriculture in Guangxi has both advantages and disadvantages, but disadvantages overweight advantages. In the future, it is necessary to strengthen the research on the attribution of agroclimatic resources and agrometeorological disasters. Further researches should take into account the comprehensive impact of multi-factor variables, improve current research methods, enrich and expand the field of climate change impact assessment in Guangxi, and strengthen the research on the efficient use of climate resources and agricultural adaptation technology as well as its demonstration base test.

Key words: Guangxi; climate change; agriculture; impact; progress; prospect