

气候变化对西藏农业生产的影响

刘国一^{1,2}

(1. 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室, 西藏 拉萨 850000; 2. 西藏自治区农牧科学院农业资源与环境研究所, 西藏 拉萨 850000)

摘 要: 气候变化已成为全球公认的环境问题, 主要因人类活动温室气体排放增加导致, 青藏高原是气候变化的敏感区, 生态环境和农业生产受气候变化的影响较大, 研究气候变化对西藏农业的应对意义重大。文章综述了当前西藏气候变化方面的研究进展, 分析气候变化对西藏农业产生的影响, 西藏的温度增加趋势比较明显, 高于全球同纬度的平均增温速率。降水量也呈增加趋势, 增温与降水在空间上具有不一致性, 西藏的气候将朝着暖湿化方向发展, 对农业的生产形成较大的挑战。冬春季的增温趋势使得作物的物候期提前, 使得播期提前, 作物的布局向高纬度和高海拔地区推移, 有利于套复种。温度增加使土壤中微生物的活性增加, 加速对土壤有机质的分解, 土壤有机质含量呈下降趋势。气候变化对西藏的农业生产带来了影响, 严重威胁到西藏的粮食生产安全问题, 需要积极探寻应对策略。

关键词: 青藏高原; 气候变化; 增温; 降水

中图分类号: S812 **文献标识码:** A

Effect of Climate Change on Tibetan Agricultural Production

LIU Guo-yi^{1,2}

(1. Barley Improvement and Yak Breeding Key Laboratory of Tibet Autonomous Region, Tibet Lhasa 850000, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Tibet Autonomous Region Academy of Agriculture and Animal Husbandry, Tibet Lhasa 850000, China)

Abstract: Climate change has become a globally recognized environmental problem, mainly due to increased greenhouse gas emissions from human activities. The Qinghai-Tibet Plateau is a sensitive area for climate change. The ecological environment and agricultural production are greatly affected by climate change. The response is significant. The article reviews the current research progress on climate change in Tibet and analyzes the impact of climate change on Tibetan agriculture. The temperature increase trend in Tibet is relatively obvious, which is higher than the average temperature increase rate at the same latitude in the world. Precipitation also shows an increasing trend. The temperature increase and precipitation are spatially inconsistent. The climate of Tibet will develop in the direction of warming and humidification, which will pose a greater challenge to agricultural production. The warming trend in winter and spring makes the phenological period of the crop ahead, so that the sowing date is advanced, and the layout of the crop moves to high latitudes and high altitudes, which is conducive to the replanting. The increase of temperature increases the activity of microorganisms in the soil, accelerates the decomposition of soil organic matter, and the soil organic matter content decreases. Climate change has had an impact on Tibet's agricultural production, which seriously threatens Tibet's food production security and needs to actively explore coping strategies.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; Climate change; Warming; Precipitation

气候变化已成为全球公认的环境问题, 2013 年 IPCC 第五次评估报告指出^[1], 全球气候系统变暖的事实是毋庸置疑的, 人类活动对于气候变化发挥了一半以上的影响, 主要是温室气体的大量排放与土地利用的变化, 自从人类 1750 年工业化以来, 使用石化燃料使 CO₂、CH₄ 等温室气体的排放持续

增加, 2012 年达到 393.1×10^{-6} 和 1819×10^{-9} , 大气浓度分别比工业革命以前增加了 41 % 和 160 %。而与此同时, 大量的森林被砍伐, 土地被开垦为耕地, 利用性质发生改变, 从碳汇转变为碳源, 减少了对 CO₂ 等温室气体的固定, 空气中温室气体的浓度进一步增加, 加速了全球气候系统的变化。全球气候变化的一个明显表现就是温度上升, 1906 - 2005 年, 100 年间全球地表气温平均上升了 $(0.74 \pm 0.18) ^\circ\text{C}$ ^[2], 温度上升导致海洋对热量的吸收, 1971

收稿日期: 2018 - 12 - 20

作者简介: 刘国一 (1979 -), 男, 副研究员, 主要从事作物栽培、植物营养等方面的研究, E-mail: guoyiliu@qq.com。

-2010年间海洋(上层0~700 m)热含量增加了 $17 \times 10^{22} \text{J}^{[3]}$,温度上升还导致冰川融化,大量淡水汇入海洋,加之海水受热膨胀,海平面上升;海水大量吸收热量,改变了全球水汽的循环格局,降水的分配发生了变化,极端气候出现频率增加,特别是近年来因气候变化导致的极端气候出现对农业、生态环境和社会经济造成严重的影响,对人类的生存与发展形成极大的威胁,气候变化已成为人类共同关注的话题,世界各地对气候变化及其影响都进行了广泛的研究^[4]。

在全球气候变暖的大背景下,西藏气候也发生了明显的改变,西藏处于世界第三极,平均海拔高度为5000 m,特殊的环境条件,在气候变化上发挥了极其重要的角色,学者们将其描述为全球气候变化的“驱动机与放大器”^[5]。在全球气候变化的影响下,西藏的气温呈明显上升趋势,降水的格局也发生改变,年平均气温增加倾向率 $0.58 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,多年平均降水量倾向率增加 $12.5 \text{ mm}/10\text{a}^{[6]}$,这一增温速率明显高于全球 $0.12 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的平均增温速率^[7],所以西藏是受全球气候变化严重影响的区域。

在西藏,由于平均海拔较高,生态环境脆弱,气候变化对高原的植被覆盖已经产生了影响^[8],也必然会对农业产生影响,当前,农业仍然是西藏地区的主导产业,农业基础条件比较差,发展还比较落后,受自然条件的约束较大,属于典型的弱质产业,作物种植类型和生长状况对气候环境的依存度较大,对气候变化的影响比较敏感。气候变化将严重影响到西藏的粮食安全,西藏主要种植的作物是青稞,青稞的种植面积占66%以上^[9],青稞是西藏的特需粮食作物,只有青藏高原周边几个藏区才有青稞的种植,青稞的生产出现安全问题,很难从周边省市进行调运满足西藏的粮食需求,所以,西藏对于粮食安全问题格外重视,农业生产的地位也更为重要。

对于西藏及青藏高原的气候变化问题是近年来的研究热点,多数研究是以气象台站的观测数据为基础,然后运用模型进行模拟未来气候情景变化趋势^[10-11],该研究数据易于获取,方法简便,但是限于气象台站所记录的气象资料不长,导致研究结果的时间跨度不大,对未来气候情景的模拟准确性难以把握。为了弥补气象数据在时间跨度上的不足,科学家们开展了通过冰芯、树轮、湖泊沉积等记录推测对青藏高原不同时段气候变化的特征^[12-13],使研究结果形成了互补,所以就青藏高原气候变化的趋势及特点,目前形成了相对比较统一的结论。但是气

候变化对西藏农业生产的影响方面的研究,还比较分散,没有形成体系。本文将对西藏农业生产相关的气候变化特点进行综述,并分析这些变化对西藏的农业可能产生的影响,将有利于进一步开展西藏农业应对气候变化的研究,充分挖掘气候变化下农业的发展潜力,趋利避害,提高对未来气候资源的利用效率具有积极的现实意义。

1 西藏气候变化特征

1.1 气温变化特征

《西藏生态安全屏障保护与建设规划(2008-2030)》^[14]指出,西藏地区1961-2008年年平均气温大约以 $0.32 \text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率升高,明显高于全国和全球的增温率。从增温的空间分布上看,增温最明显的地区是西藏的西部地区,其次是沿雅鲁藏布江一线和西藏东南部,西藏东北部地区增温幅度最小;在高海拔地区比低海拔地区增温明显。^[15]增温不均的原因主要是西藏降水分布不均造成的,西藏东北部降水较多,逐渐向中西部地区减少,水分含量影响了土地的热容率,所以在降水较少的地区表现出较高的增温率。从时间上看,年度内各个季节均表现为增暖趋势,但以冬季和秋季变暖尤为突出^[16],1998-2007年西藏连续出现暖冬,冬季平均温度明显偏高,近35年位居前4位的暖冬,都出现在2000年以后。通过选取西藏拉萨、林芝、山南泽当、日喀则市、阿里狮泉河镇等代表性站点1970-2014年35年来的年平均温度数据,以4年为周期求滑动平均曲线,如图1。

从1961年来西藏主要气象台站的年平均温度呈现上升趋势,增温现象比较明显。

1.2 降水变化特征

气候变化除了对温度影响外,对高原地区的降水量和降水分布格局也产生了较大的影响。目前西藏地区年平均降水量呈现增加趋势,平均每10年增加 8.9 mm (1961-2007年),据研究该增加趋势还会持续到2030年,此后由于升温的影响,降水呈现减少趋势^[17]。在降水格局的分布上,降水量变化的空间差异性比较显著,高原地区东部降水呈增加趋势,以 $30.9 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的趋势增加,该地区的气候变化朝暖湿化方向发展;而西北部的降水量呈减少趋势,特别是阿里地区降水减少明显, $11.2 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的趋势减少,气候变化朝着干热化方向发展^[18]。从降水的季节上看,其变化趋势表现为春季在西藏阿里、那曲大部分地区降水量趋于减少,减少

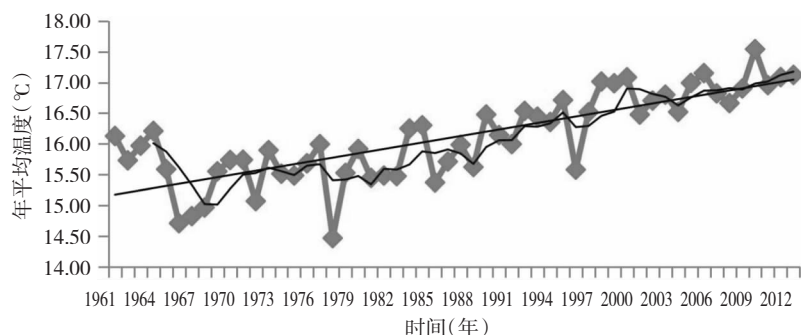


图 1 西藏主要气象站点年平均气温变化

的倾向率为 $-12.1 \sim -0.3 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 夏季大部分站点的降水量呈增加趋势, 增幅为 $0.1 \sim 21.4 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ [19]。

1.3 光能资源变化特征

西藏因处于低纬度地区, 加之云层稀薄、空气净度高、降水较少, 太阳辐射较强, 光照资源丰富, 是我国太阳辐射最多的地区, 年日照时数在 $1500 \sim 3500 \text{ h}$ 以上, 年辐射量为 $4000 \sim 8000 \text{ MJ/m}^2$, 是长江中下游地区太阳辐射量的 1 倍以上。较高的太阳辐射量, 为作物干物质质量的积累创造了良好的光照条件, 为作物的高产奠定了基础, 从太阳辐射计算的作物理论产量居全国第 1, 在 20 世纪 70、80 年代, 西藏的小麦单产也屡创全国第一 [20]。在全球气候变化背景的影响下, 因云层的改变, 西藏的光能资源也发生了变化。杜军 [21] 采用气候倾向率的方法, 对西藏 25 个气象站点, 近 30 年来的逐月日照时数及其相关因素进行统计分析, 结果表明, 近 30 年来西藏的日照时数呈现明显的减少趋势, 减少幅度为 $34.1 \cdot (10\text{y})^{-1}$, 这一趋势主要是由降雨增加所导致, 天空中的云层在增加降雨的同时也阻挡了部分太阳辐射使得日照时数降低。日照时数的变化, 在空间上与降水量呈负相关关系, 呈现明显的区域差异, 减少量从西藏的西部向东北部逐渐增加 [22]。

1.4 气候变化导致极端气候出现频率增加

气候变化导致降水和气温的快速大幅波动, 导致西藏干旱、暴雨雪、霜冻、冰雹、大风等气象灾害频发, 严重影响农牧业生产。杜军对西藏 18 个气象站点近 50 年来的气象数据分析发现西藏近 30 年来极端最低气温升幅较大, 极端暖指标 (暖昼、暖夜指数) 呈明显的增加趋势, 西藏极端气温变化指数, 要高于周边和全国其他地区 [23]。韩国军也认为在青藏高原大部分地区极端高温和极端低温, 都表现出增加趋势 [24]。杨志刚利用 1961–2010 年西藏自治区 21 个气象观测站逐日降水量, 统计分析了降水的极端时间, 发现西藏东北部极端降水事件出现频

数呈增多趋势, 其频次达到准 3 年周期 [25]。从对降雨的强度分析来看, 自上世纪 90 年代后期大雨对降水的贡献率增大, 高原降水朝着不平衡、极端化方向发展, 从而也增加了旱涝灾害的产生频次 [26]。

2 气候变化对西藏农业的影响分析

2.1 增温对农业的影响

西藏地区的增温幅度较大, 在季节上的增温冬春季更加明显 [27], 高原地区冬春季温度的增加使得作物的物候期发生了改变, 具体体现为春季物候期提前, 冬季物候期推迟, 作物的生长期延长。从全区的 25 个气象站点 1971–2000 年的数据来看, 积温呈现增加趋势, 积温的变化对作物的布局、耕作制度等均有重要影响 [28]。 $\geq 0^\circ\text{C}$ 初日呈现提早出现的趋势, 平均每 10 年提早 $1 \sim 4 \text{ d}$, 76% 的站点 $\geq 0^\circ\text{C}$ 终日呈推迟结束的趋势, 平均每 10 年推迟 $1 \sim 5 \text{ d}$, 以拉萨、泽当最为显著。 $\geq 0^\circ\text{C}$ 持续日数表现为延长的趋势, 平均每 10 年延长 $2 \sim 6 \text{ d}$, 无霜期也呈现明显的增多趋势 [29]。可以看出在过去的 30 年里, 各主要农区 $\geq 10^\circ\text{C}$ 热量资源有所增加。赵雪雁比较近 50 年来青稞生长季的有效积温发现, 青藏高原地区青稞生长季的有效积温均呈增加趋势, 但高原地区复杂, 增加的幅度变化较大, 有的地区有效积温值约增加 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ [30]。有效积温增加使得一些以前不太适合种植青稞的地区也可以种上青稞了, 青稞的种植范围向高纬度和高海拔地区推进, 地理适应性扩大。积温与无霜期的增加使得作物的生长期延长, 生物产量增加。杜军对西藏那曲地区牧草青草期的分析也体现了这样的趋势, $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温显著增加, 导致青草期延长, 牧草的生物量增加 [31]。积温的变化趋势对作物的影响将会使作物的布局向高海拔或高纬度地区转移, 冬播作物的播期往后推迟, 春播作物的播期提前, 河谷农区有多余的积温可以利用, 有利于发展套复种。对比 1976–2007 年的饲草复种产量, 发现产量呈明显上升趋势, 除了品

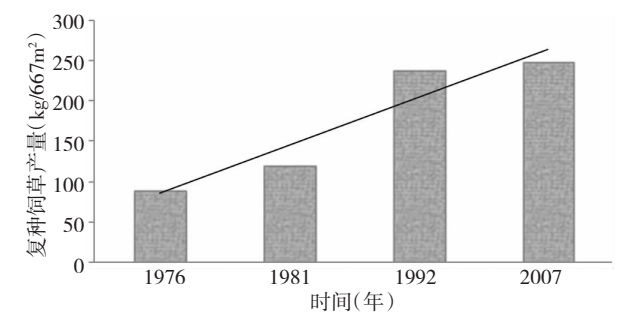


图 2 多年复种饲草产量

种、耕作管理等因素外,气候变化所导致的温度与降水的增加,延长了复种作物的生长期,使生物量的积累增加(图 2)。

气候变化除了对作物的布局产生影响外,还影响到作物的播种期。由于春季出现了明显的增现象,春季气温的快速上升,使土壤解冻加速,物候期提前,物候期与温度增加的相关性更为明显,丁明军研究了西藏墨竹工卡和那曲地区植物的返青期,发现近 30 年来墨竹工卡植物的返青期从 5 月 20 日提前到 4 月 25 日,提前了 25 d,那曲地区草场的返青期提前了近 1 个月^[32]。物候期提前也使得作物的春播时间也发生相应的改变,在传统上西藏拉萨地区春青稞的播种期一般在 4 月 15 - 20 日^[33],在田间试验中将春青稞的播期提前 20 d,于 3 月 25 日播种,青稞生长良好,且能避开病虫害的高发期,使青稞产量维持高产。所以,需要研究不同地方、不同作物的最佳播期,以适应温度增加导致物候期的改变。

2.2 对农业土壤有机碳的影响

全球气候变暖,温度升高深刻影响着高原陆地生态系统地上和地下部分的生态过程^[34],目前的研究表明,由于高原多山地和低植被覆盖度的特点,生态极具脆弱性,重度和极度脆弱区集中分布的趋势明显,占全区面积的 49.46 %^[35],对气候变化的响应也比其他类型的植被区更加敏感,气候变化会影响高海拔地区植物群落特征^[36],1982 - 2002 年,20 年的研究表明,气候变暖使青藏高原植被覆盖度降低,两者相关关系显著^[37]。植被覆盖度的变化对农田土壤系统也会产生影响,土壤是农田生态系统的重要组成部分,对于系统中的养分循环,特别是对有机碳的循环表现更为直接^[38]。土壤有机碳是土壤的重要组成部分也是土壤肥力的重要标志之一,在碳聚和转化方面发挥重要的作用,在土壤中的含量与区域气候、植被覆盖度和有机物的投入等关系密切,因而对全球气候变化的响应也更为敏感。近年来,西藏农田土壤有机质出现下降趋势,20 世纪 60 年代西藏“一江两河”地区土壤养分均超过一级养

分含量标准,土壤有机质(一般 >5 %)含量丰富,80 年代中期,表层有机质含量普遍低于 2.0 %^[39]。2009 - 2013 年我们连续 4 年对西藏 12 个主要农业县的耕地取样进行养分分析,对比 20 年前西藏土壤普查有机质含量数据,土壤有机质呈现明显下降趋势,各地区耕地土壤有机质含量均下降,全区土壤有机质含量下降了 1.36 个百分点。导致农田土壤有机质退化的原因是多方面的,除了耕作方面的原因外,气候变暖微生物活性增加,加速对土壤有机质的分解,使土壤有机质含量下降^[40]。

2.3 气候变化对病虫害的影响

西藏的气候变化向增温趋势发展,在西藏中西部地区冬季的温度增加幅度较大,今后暖冬出现的几率将会增加。暖冬降低了低温对农作物病虫、病原微生物的破坏,使得病原、病虫微生物能够更加安全越冬,从而在春季提高病原微生物的种群数量,危害范围扩大、程度加剧,一些病虫害进一步向高海拔和高纬度等温凉地区迁移。温度升高还会使害虫春季迁出的时间提前,秋季回迁的时间推迟,这导致许多过去危害不大的次要病虫害上升为主要病虫害^[41]。同时,气候变化为一些伴随农作物新品种和花卉苗木引进的有害生物创造了有利的温湿度条件,致使其在西藏发展壮大,成为西藏农牧林渔业生产的隐患。在另一方面气候变化对虫害的中间寄主和天敌产生了干扰,如果天敌的种群发生变化,害虫会因为暂时得不到天敌的控制而迅速繁殖,害虫就会爆发^[42]。而一些病原微生物达到活跃的温度条件后,也会大面积爆发形成灾害,2008 年在西藏山南地区大面积爆发的青稞细菌性条斑病就是一个例证,该病最早在菲律宾发现,之后在亚洲的热带、亚热带地区广泛传播^[43],随着气候的变暖该病逐渐向北和低温地区传播。2014 年在西藏墨竹工卡县甲玛乡大面积爆发青稞黄矮病,使得部分地块青稞绝收。突发性的新型病虫害,由于农作物没有抗体,又没有天敌,同时农民又缺乏应对经验和措施,一旦爆发将会造成大面积的减产,给农业生产带来严重的损失。所以气候变化将会使西藏农作物的抗逆性降低,爆发一些罕见的或新型的作物病虫害,给作物的高产与稳产带来风险。

2.4 降水变化对农业的影响

气候变化将对水资源的时空分布产生较大的影响,从而间接的影响农业生产。未来的增温趋势将加速冰川的融化,西藏中西部地区很多河流的水源都是依靠冰川雪山融水补充的,冰川的加速溶解,将会使河流径流及湖泊水量在短时间内增加,当前藏北南羌塘高原湖泊:色林错、兹格塘错为代表的高原

大型湖泊水位上升,湖水离子浓度减小^[44]。而随着冰川的面积和储量减少,河流径流也会减少,并面临干枯的风险。在降水少根据文献反映,今后20年对西藏地区的降水总体将成增加趋势,但是降水分布不均,东部的降水量明显增加,而中、西部干旱地区降水量则呈减少。西藏的西部日喀则地区是传统的商品粮生产基地,如果降水量减少,而温度呈现增加的趋势,将使得这些地区的气候向暖干化发展,导致土壤水分加速蒸发,农作物种植需要进一步依靠雪山融水以及地下水进行灌溉,对西藏中西部地区的水利工程提出了更高的要求,过度的开发使用地下水,也会造成地下水位下降,土壤盐碱化加重。在整体缺水的情况下,作物季节性的需水矛盾更加突出。高原温度增加最明显的季节是冬春季,而降水主要是在夏季,7-9月集中了全年降水量的90%,冬春季的降水只占全年的2%~5%^[45],春旱现象将更加严重,春末夏初之际青稞多处于分蘖与拔节期是作物的水分临界期,水分需求量大,耗水量占整个生长期的72%^[46],该时期的水分供应,对作物的生长至关重要,而降水不足,蒸散量增加,作物的水分供应矛盾更加突出,需要通过人工灌溉来补充,这样将增加农业的种植成本。总之气候变化将对西藏农业用水产生较大影响,水资源的脆弱性进一步突出,长期或短期季节性水资源短缺及用水的矛盾进一步加大。

2.5 极端气候对农业的影响

农作物受干旱、降雨等因素影响的频次增加,危害程度加重。在西藏牧区干旱的频发使得牧草的返青期推迟,牧草生长季缩短,牧草质量与产量都下降。在西藏阿里地区冬季频发的暴风雪,使草场易被积雪覆盖,白天积雪在阳光的照射下表层融化,夜晚温度下降融化的积雪结冰形成冰壳,冰壳不易被风吹走,积雪长时间覆盖在草场上,牲畜不能进行采食,以致大批牛羊难以越冬。在农区极端气候对农业造成的负面影响也越来越严重,比如2009年一场严重的干旱席卷了西藏一江两河流域,西藏历史上首次启用了抗旱三级应急响应,使得全区41个县市不同程度地受到旱灾影响,耕地受灾面积达3.33余万 hm^2 ,2010年林芝地区遭受强暴雨袭击,400 hm^2 农田受灾^[47]。

3 结论与展望

青藏高原是气候变化的敏感区,受气候变化的影响较大,同时又会将影响效应进行放大,产生更为严重的后果;西藏是目前世界上污染较少的地区之一,生态环境的变化很大程度上是受气候变化等自

然环境变迁的影响所造成的,研究气候变化对青藏高原农业的影响,可以有效地排除因人类活动造成的干扰,作为气候变化研究的本地地区;同时,农业还是西藏的重要产业,在西藏广泛种植的青稞是藏族同胞的特需粮食,所以研究气候变化对西藏农业的影响意义重大。

文章综述了当前西藏气候变化方面的研究成果,并分析气候变化对西藏农业产生的影响,当前的研究表明,在气候变化方面西藏的温度增加趋势比较明显,高于全球同纬度的平均增温速率。降水量也呈增加趋势,增温与降水在空间上具有不一致性,东部地区降雨量增加明显,增温较少,西部则相反,降水的增加量较低,增温趋势却较明显。总体上西藏的气候将朝着暖湿化方向发展,但中西部因增温明显、蒸发量大,气候将向暖干化方向变化,对农业的生产形成较大的挑战。

冬春季的增温趋势使得作物的物候期提前,无霜期延长,作物的生长期增加,将会对作物的播种期,分布,种植制度等因素形成影响,使得播期提前,作物的布局向高纬度和高海拔地区推移,夏季作物的收获期提前,土地的空闲期延长,在水热资源充沛的地区可以利用夏闲地进行套复种,从多年来饲草复种试验数据看,复种饲草的生物量在增加,这在一定程度上得益于气候向暖湿化方向的变化。气候变化对西藏农田土壤的有机质含量也将产生影响,温度增加使土壤中微生物的活性增加,加速对土壤有机质的分解,经对比20年前的土壤普查数据发现全区土壤有机质含量下降了1.36个百分点。气候变化还对作物病虫害的发生规律产生影响,温度变暖之后一些病虫害也向高海拔地区扩展,近年来在西藏大规模地出现细菌性和病毒性微生物病害,对作物的生长产生较大的影响。

当前西藏在气候变化对农业的影响研究上还停留在定性研究的层面,研究缺乏定量化。因为试验以及长期的观测数据缺乏,很大程度上是建立在根据气候变化的趋势进行判断的,一些规律和机理性的东西尚不清楚。尽管如此还是可以看到气候变化对西藏的农业生产带来了影响,严重威胁到西藏的粮食生产安全问题。

本文分析了气候变化对西藏农业生产的影响,但是农业包含的内容较多,文章只涉及了一部分,分析了对农业的一些重点影响因素,其他对农业产生影响的方面,比如农业生态环境、林果业以及气候变化背景下农田杂草、田间病虫害的演变等内容均没有涉及,有待对这些方面进行更深入的研究,完善研究内容。

参考文献:

- [1]Ippc. Working GroupIContribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers [R/OL]. 2013-10-28]. <http://www.climate-change.org/images/uploads/wgiar5-spm-approved> 27 Sep 2013. pdf.
- [2]姜大膀,富元海. 2℃全球变暖背景下中国未来气候变化预估[J]. 大气科学,2012(2):234-246.
- [3]秦大河,Thomas Stocker. IPCC第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014(1):1-6.
- [4]张强,韩永翔,宋连春,等. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展,2005(9):990-998.
- [5]潘保田,李吉均. 青藏高原:全球气候变化的驱动机与放大器——Ⅲ. 青藏高原隆起对气候变化的影响[J]. 兰州大学学报,1996(1):108-115.
- [6]杨春艳,沈渭寿,林乃峰,等. 西藏高原气候变化及其差异性[J]. 干旱区地理,2014(2):290-298.
- [7]秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展,2014(7):874-883.
- [8]Song MH, Zhou CP, Hua QY. Distributions of dominant tree species on the Tibetan Plateau under current and future climate scenarios [J]. Mt Res Dev,2004,24(2):166-173.
- [9]强小林,迟德钊,冯继林,等. 青藏高原区域青稞生产与发展现状[J]. 西藏科技,2008(3):11-17.
- [10]吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 青藏高原近30年气候变化趋势[J]. 地理学报,2005(1):3-11.
- [11]刘晓东,程志刚,张冉,等. 青藏高原未来30-50年A1B情景下气候变化预估[J]. 高原气象,2009(3):475-484.
- [12]德吉,姚檀栋,姚平,等. 冰芯和气象记录揭示的青藏高原百年来典型冷暖时段气候变化特征[J]. 冰川冻土,2013(6):1382-1390.
- [13]李潮流,康世昌. 青藏高原不同时段气候变化的研究综述[J]. 地理学报,2006(3):327-335.
- [14]孙鸿烈,郑度,姚檀栋,等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报,2012(1):3-12.
- [15]刘晓东,侯萍. 青藏高原及其邻近地区近30年气候变暖与海拔高度的关系[J]. 高原气象,1998,17(3):245-249.
- [16]翟盘茂,任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报,1997,55(4):418-429.
- [17]杨春艳,沈渭寿,林乃峰,等. 西藏高原近50年气温和降水时空变化特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2013(12):167-172.
- [18]谭春萍,杨建平,米睿,等. 1971-2007年青藏高原南部气候变化特征分析[J]. 冰川冻土,2010(6):1111-1120.
- [19]杜军,马玉才. 西藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. 地理学报,2004(3):375-382.
- [20]张谊光. 西藏气候的农业评价[J]. 自然资源,1978(1):108-116.
- [21]杜军,边多,胡军,等. 西藏近35年日照时数的变化特征及其影响因素[J]. 地理学报,2007(5):492-500.
- [22]华维,董一平,范广洲,等. 青藏高原年日照时数变化的时空特征[J]. 山地学报,2010(1):21-30.
- [23]杜军,路红亚,建军,等. 1961-2010年西藏极端气温事件的时空变化[J]. 地理学报,2013(9):1269-1280.
- [24]韩国军. 近50年青藏高原气候变化特征分析[D]. 成都:成都理工大学,2012.
- [25]杨志刚,建军,洪建昌,等. 1961-2010年西藏极端降水事件时空分布特征[J]. 高原气象,2014(1):37-42.
- [26]黄晓清,罗布次仁,杨勇,等. 西藏高原汛期降水日数和强度的时空演变特征[J]. 中国沙漠,2013(3):902-910.
- [27]徐宗学,孟翠玲,巩同梁,等. 西藏自治区气温变化趋势分析[J]. 自然资源学报,2009(1):162-170.
- [28]张核真,马玉才. 西藏地区近四十年积温变化的动态分析[J]. 西藏科技,2000(4):58-59.
- [29]You Q, Kang S, Aguilar E, et al. (2008) Changes in daily climate extremes in the eastern and central Tibetan Plateau during 1961-2005 [J]. J Geophys Res,113:D07101. doi:10.1029/2007JD009389
- [30]赵雪雁,王伟军,万文玉,等. 近50年气候变化对青藏高原青稞气候生产潜力的影响[J]. 中国生态农业学报,2015(10):1329-1338.
- [31]杜军. 藏北牧草青草期的气候变化特征分析[J]. 应用气象学报,2006(1):29-36.
- [32]丁明军,张德钊,刘林山,等. 青藏高原植物返青期变化及其对气候变化的响应[J]. 气候变化研究进展,2011(5):317-323.
- [33]胡颂杰. 西藏农业概论[M]. 成都:四川科学技术出版社,1995:452-453.
- [34]许振柱,周广胜. 全球变化下植物的碳氮关系及其环境调节研究进展——从分子到生态系统[J]. 植物生态学报,2007,31(4).
- [35]于伯华,吕昌河. 青藏高原高寒区生态脆弱性评价[J]. 地理研究,2011(12):2289-2295.
- [36]Zhang Wenjiang, Gao Zhiqiang. Study on the response of vegetation cover to precipitation and temperature in central/east Tibetan Plateau [J]. Progress in Geography, 2005, 24(5): 13-22.
- [37]XU Weixin, LIU Xiaodong, 2007. Response of Vegetation in the Qinghai-Tibet Plateau to Global Warming [J]. Chinese Geographical Science, 17(2): 151-159.
- [38]李娜,王根绪,高永恒,等. 模拟增温对长江源区高寒草甸土壤养分状况和生物学特性的影响研究[J]. 土壤学报,2010(6):1214-1224.
- [39]蔡晓布. 西藏"一江两河"地区土壤退化特征[J]. 土壤肥料,2003(3):4-7.
- [40]Danie M. White, Sarah Garland D., Chien-Lu Ping, et al. Characterizing soil organic matter quality in arctic soil by cover type and depth [J]. Cold Regions Science and Technology, 2004(38): 63-73.
- [41]金飞. 气候变化趋势对农作物病虫害发生趋势的可能影响[J]. 科技传播,2010(8):83,93.
- [42]张润杰,何新风. 气候变化对农业害虫的潜在影响[J]. 生态学杂志,1997(6):37-41.
- [43]刘姮,李雪琴. 水稻细菌性条斑病的研究概述[J]. 湖北植保,2011(5):51-54.
- [44]姜永见,李世杰,沈德福,等. 青藏高原近40年来气候变化特征及湖泊环境响应[J]. 地理科学,2012(12):1503-1512.
- [45]土登次仁,次桑,杨珠,等. 西藏农业气候资源的分析及评价[J]. 西藏研究,2000(2):46-55.
- [46]赵雪雁,王伟军,万文玉,等. 近50年气候变化对青藏高原青稞气候生产潜力的影响[J]. 中国生态农业学报,2015(10):1329-1338.
- [47]沈开艳,徐美芳. 气候变化条件下的西藏特色农业跨越式发展研究[J]. 西藏大学学报(社会科学版),2012(2):32-39.