

气候变化对我国棉花生产的影响

王友华, 周治国*

(南京农业大学, 南京 210095)

摘要:棉花为喜高温、干旱、无限生长型植物,其产量品质形成对光照、辐射、积温等环境变化较其他作物更为敏感。全球温室化导致的积温增加、CO₂ 浓度上升、辐射量下降、水分分布不均匀及极端天气爆发日趋频繁将对棉花生产产生显著影响。棉花生长期(4—11 月)长达 7 个月,其产量品质形成关键期(7—9 月)极易遭受多种极端天气气象条件。因此,尽管温室化效应产生的气温升高、CO₂ 浓度增加将对棉花增产提质带来积极影响,并一定程度扩大我国可种植面积,但温室化效应导致的光辐射量的下降、尤其是短期极端高温/低温、短期极端干旱/暴雨等极端天气发生的日趋频繁将严重威胁我国的棉花安全生产。因此,进行前瞻性的气候变化对中国棉花生产影响的评估、棉花适宜种植区的重新区划、环境稳定型棉花品种选育、应对极端气候条件下的棉化抗逆栽培技术体系的构建对保证全球温室化背景下我国棉花产业的稳定和发展具有极其重要的意义。

关键词:棉花;气候变化;作物生产力

中图分类号:X16 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)09-1734-08

Effect of Climate Changing on Cotton Fiber Production

WANG You-hua, ZHOU Zhi-guo*

(Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract:Cotton is an indeterminate growth plant which prefers to grow in comparative high temperature and droughty condition. And the development of cotton fiber yield and quality is more sensitive to solar radiation, water condition and environment temperature than most of other crops. It is believed that the enhancement of temperature and CO₂ concentration, the reduction of solar radiation and the imbalance of rainfall would cause great changes on cotton fiber production. As the cotton grow season lasts seven months long(from April to November), it is inevitable to encounter kinds of extreme weathers. So, even the enhancement of temperature and CO₂ concentration in the future could to some extent increase cotton fiber yield and quality, the reduction of solar radiation and the extreme weather such as temporary drought/water-logging and extremely high/low temperature would highly risk cotton production of China in large fluctuation. Therefore, it is in great necessary to strategically evaluate the effect of global warming on Chinese cotton production, to re-define the fitting planting area, to breed high environment-stress tolerance cultivar and to figure out special techniques to tackle extremely weather for us.

Keywords: cotton; climate change; crop productivity

棉花是我国仅次于粮食的第二大农作物,涉及农业和纺织工业两大产业,是全国 1 亿多棉农收入的主要来源和纺织工业的主要原料,是广大人民生活必需品,同时棉纱及棉布还是出口创汇的重要商品。目前我国常年棉面积在 500 万 hm²(8 000 万亩)左右。加入 WTO 以来,棉花产需缺口逐年增大,2002—2007 年分别为 40、179、233、228、370、340 万 t。因此,

棉花是关系国计民生的战略物资,前瞻性的评估气候变化对中国棉花生产的影响并及早提出相应应对方案对保证全球温室化背景下我国棉花产业的稳定和发展具有极其重要的意义。

1 气候变化对各棉花适宜种植区的影响

光热条件变化是影响植棉区面积变化的最主要因素,光热资源不足将导致棉纤维发育不能成熟或者品质大为降低。棉花原属热带和亚热带多年生植物,具有喜温、喜光耐干旱和无限生长的习性,其生长发育需要较高的温度和较长的生长期,≥15℃的活动积温超过 2 500℃、无霜期大于 150 d 或 7 月份平均

收稿日期:2011-03-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903003)

作者简介:王友华(1977—),从事棉花生理生态及棉花生产管理技术研究。

* 通讯作者:周治国 E-mail: giscott@njau.edu.cn

气温高于 24℃ 的地区方可植棉。按照气候适宜性分析,我国植棉地区可划分为华南棉区、长江流域棉区、黄河流域棉区、西北内陆棉区和北部特早熟 5 大棉区。

气候变暖使我国年平均气温上升,从而导致积温增加、生长期延长^[1]。根据“当年平均温度增加 1℃ 时,大于或等于 10℃ 积温的持续日数全国平均可延长约 15 d;在 45°~60° 的中纬度地区,每增高 1℃,气候带便会向高纬度地区移动约 200~300 km,垂直上移 100~200 m^[2]”的农业区划学结果并结合棉花的生物学特性,可以推测:随着温室化效应的加剧,棉花的可种植面积将在一定程度上扩大,但温室化效应在各生态区的影响也存在较大差异。

1.1 黄河流域棉区

黄河流域棉区是中国植棉面积最大的棉区,本区属暖温带半湿润季风气候区,棉花生长期(4—8月)平均温度 19~22℃,水资源比较丰富,年降水量 500—800 mm;土壤非常肥沃,同时也是重要的商品棉基地。该区兼有南北棉区的优点:一方面,水热条件比华北平原好、光照充足、降水适中,春天气温回升较快,春末旱情也比华北平原轻;另一方面,夏季降水少于长江流域,阴雨、洪涝灾害较少,而雷雨和暴雨较多,有利于缓解夏季旱情,十分有利于棉花生长。此外,该地区的秋季晴天多,也有利于棉花多结秋桃和棉铃吐絮。因此,全球温室化产生的积温升高会使该地区的棉花发棵提前、伏桃比例升高、霜前花增多。同时全球温室化导致的温度和水分分布的不均衡将进一步导致该地区棉花产量的年际间差异增大,并有可能产生严重的春旱、夏旱或夏涝,对该棉区灌排系统的要求将进一步提高。因此,温室化效应加剧将增加黄河流域棉区的棉花产量和品质的不稳定性,对不同年份的影响将可能存在极大差异,但黄河流域棉区种植面积将不会发生较大变化。

1.2 长江流域棉区

长江流域棉区是中国的第二大棉区,面积地处中亚热带和北亚热带湿润季风气候区。4—8月平均温度 21~24℃,年降水量 1 000~1 600 mm;热量条件较好,生长季节长,雨水充沛。该棉区的主要植棉限制因素为春末夏初有梅雨、秋季会出现连阴雨,日照时数少。而温室化效应的加剧势必进一步增加该地区春末夏初及秋季的连阴雨天气总日数及降水总量,基于棉花是喜干旱作物,因此,温室化会进一步导致该地区棉花吐絮不畅、烂铃,不利于棉苗生长。此外,夏季的

高温、高湿还会引起较多的病虫害。所以,该棉区棉花生产的比较优势会进一步降低,棉花种植面积会有一定程度的减少。

1.3 西北内陆棉区

新疆地域辽阔、地势复杂,具有典型的大陆性气候特点。棉区日照充足,光热资源丰富,昼夜温差大,空气湿度小,极利于棉花生产,而且干旱、昼夜温差大的气候特征还能够有效抑制棉花病虫害的发生,近年来,新疆棉花种植面积稳定在 113 万 hm² 左右,棉花总产量由 2001 年的 157 万 t 增加至 2005 年的 195.7 万 t,增幅 24.6%,占国内产量的 34.3%。

近年来,随着棉花生长期积温的逐步增加,北疆北部位于和布克赛尔蒙古自治州县境内的 184 建设兵团从 2001 年开始连续 8 a 大面积植棉成功,创造棉花种植北界推移到 46°23'N 的纪录,说明气候变暖使得植棉区能够进一步北移,并且从 184 团向北至乌伦古河的大片区域地理差异性小,存在植棉区能够进一步北移的可能^[3];因此,西部内陆棉区在可保证灌溉的条件下,棉花种植面积将有大幅度增加。

1.4 其他棉区

此外,北部特早熟棉区将随着区域积温的增加,棉花种植北界可北移 100~200 km,可种植面积将有很大提高,但考虑到当地的农业生产传统、国家农业生产布局等经济政治因素,其棉花实际种植面积的变化趋势目前尚难定论。

2 气候变化对棉花生长发育与产量品质的影响

分析制约棉花产量品质形成的关键气象条件,可以推测温室化背景下影响棉花生长的主要气象条件为:CO₂ 浓度增高、温度增高及分布不均衡及水分分布和光照分布的不均衡。

2.1 CO₂ 浓度增高对棉花生长发育的影响

CO₂ 升高会导致棉株生育进程加快、各发育期平均提前^[4]。CO₂ 升高会导致棉株生物量增加:700 mol·L⁻¹ CO₂ 浓度处理条件下,植株高度比对照增加 5~11 cm,主茎长由 79 cm 增加到 90 cm,茎基部直径由 1.14 cm 增加到 1.53 cm;CO₂ 浓度增加对地下部分的影响大于地上部分,地下部生物量增加 66.2%,而地上部增加 64.5%^[5]。

CO₂ 升高会增加棉花经济产量。CO₂ 浓度增加一倍后,蕾铃脱落率由 30% 下降到 24%,每株果枝数增加了 1.8 个,且每个果枝长度增加了 7.99 cm,棉花有效铃数比对照增加了 69.2%,单铃重增加 1.165 g,壳

重增加了 95.3%。子棉总产量增加 68.8%, 皮棉产量提高 68.2%, 伏前桃和秋桃产量都有一定增加^[5]。CO₂ 升高将一定程度上提高品质。CO₂ 浓度增加后, 伏桃比例提高、霜前花增加、纤维长度增加^[5]。

CO₂ 升高也会对棉花生产带来不利影响, 其主要体现在对棉花冠层通风透光率的影响, 温民等研究发现, 高 CO₂ 处理后棉花枝繁叶茂, 导致内部通风透光下降, 僵烂铃率比对照提高 3.79 个百分点, 给产量和品质带来不利影响^[5]。

2.2 温度增高对棉花生长发育与产量的影响

在棉花生产中温度增高产生的影响主要体现在两个方面: 一是播种期的提前和棉花生育期积温的增加, 另一个是高温胁迫出现的概率增加或胁迫持续时间延长。

播种期的提前和棉花生育期积温的增加会显著提高棉花产量, 尤其是春季最低气温的升高减少了迟霜冻对棉花的危害, 有助于棉花的高产; 王润元等对我国河西走廊棉花生长的研究发现, 在 1983—2002 年的 20 a 间, 随着 4 月份平均气温的上升, 该地区棉花播种期呈提前趋势。温度每上升 1 ℃, 播种期约提前 3 d。具体表现为, 棉花播种期~5 叶期随该段时间内极端低温的升高而缩短, 开花~吐絮期间日数基本没有变化; 五叶~现蕾、吐絮~停止生长期和全生育期呈现延长的趋势; 棉花产量与开花以前的平均最低气温呈显著正相关^[6]。

生育期的增温特别是十月最低气温的变暖将使棉花停止生长期推迟, 有效增加棉花干物质积累, 提高霜前花的产量, 对棉花生产产生积极的作用。在十月份, 棉花随第一次霜冻的出现而逐渐停止生长, 而霜前花是棉花产量的主要组成部分, 故霜前花产量与十月最低气温呈显著相关。平均最低气温每上升 1 ℃, 棉花停止生长日期推迟约 4 d。

2.3 年降水分布变化对棉花生长发育与产量的影响

温室化背景下降水量的变化主要表现在降水时间分布和空间分布上的不均衡。空间分布上的不均衡主要体现在部分地区降水量增大和另一部分地区降水量减少, 时间分布上的不均衡主要体现在降水在时间上的趋于集中, 两者均极易导致棉花生产上的干旱胁迫或短期渍涝。

2.3.1 年降水分布变化对棉花产量的影响

棉花各生育阶段适宜土壤水分下限(田间最大持水量百分数)苗期为 55%、蕾期为 60%、花铃期为 70%、成熟期为 55%, 当各生育阶段土壤水分比适宜

土壤水分下限值低 10%~15%时为中等干旱, 小于 10%时为轻度干旱, 大于 15%时为重度干旱^[7]。

轻度水分胁迫的程度、持续的时间、植株的生育阶段和在缺水开始时结实器官所达到的发育阶段不同, 对最终产量品质的影响程度存在很大差异^[8]。棉花苗期适度干旱可有效蹲苗, 促进根系下扎, 增加抗逆能力, 有利于利用深层的水分和养分, 形成合理的群体结构, 减少蕾铃脱落, 提高水分利用效率。

干旱胁迫使“源”能力减弱、生物量降低。干旱胁迫使绿叶面积、叶日积量减少、光合速率降低, 导致光合物质生产能力下降, 进而影响产量形成。盛蕾期、初花期是棉株营养生长旺盛时期, 缺水对棉株营养生长影响最大。盛铃期、始絮期干旱胁迫则加速棉叶衰老、叶片功能期缩短从而减少了光合产物供应, 进而导致棉花减产。

干旱胁迫导致棉铃库容量减少。盛花期土壤干旱导致的减产最为严重, 盛蕾期、初花期次之, 盛铃至始絮期相对较轻。盛花期是棉株由生殖生长与营养生长并进向以生殖生长为中心转移的时期, 正值一年中气温最高的时节, 是需水高峰和临界期, 缺水极易导致棉株内部生理失调引起大量脱落。该时期缺水, 可使单株成铃率降低, 外围圆锥体成铃数减少, 从而减少亩铃数, 降低产量^[8]。盛蕾期、初花期受旱减产的主要原因是单株成铃数减少; 盛铃至始絮期受旱减产主要是铃重下降较多所致^[9]。

缺水导致的落蕾随蕾龄的增加而迅速下降。干旱条件下, 现蕾后的第 1 周内, 幼蕾对水分亏缺的刺激最为敏感^[8,10], 6~10 日龄的幼蕾脱落率较高, 即将开花的蕾对缺水的敏感性大幅下降, 到开花时, 因缺水导致的脱落几乎为零。

2.3.2 土壤水分对棉花品质的影响

土壤相对湿度 65%~75%可以作为获得优质纤维的水分指标, 过多过少都会使纤维品质下降^[7]。干旱条件下, 棉花衣分、整齐度、马克隆值随供水量的增加有递减的趋势, 而跨长、伸长率、黄度、环纱缕强随供水量增加呈递增趋势^[11]。土壤湿度在 58%~70%范围内时, 纤维长度较长而且比较稳定^[7]; 正午叶片水势低于-2.5~-2.8 MPa 时, 纤维伸长受到抑制。相对湿度是影响棉株多部位铃棉纤维强度的主要气象因子, 相对湿度对纤维强度的作用均为负效应, 作用大小因棉铃着生部位而异^[12]。土壤水分不足或过多时, 纤维粗短, 马克隆值增大, 比强度减小, 而土壤水分在 65%~78%之间时, 马克隆值为 4.25~4.31 之间, 接近

纺织要求的中值;在花铃后期对其进行适当干旱,避免了棉花的贪青晚熟,促进吐絮并能够提高纤维品质^[7]。

2.4 光照变化对棉花生长发育与产量的影响

我国大部分地区年总太阳辐射量呈下降趋势^[13],在过去的四五十年中黄河流域棉区和长江中下游流域棉区日照时数平均每年下降 3.74~9.22 h^[14-15],随着全球温室化效应的加剧,太阳辐射量将进一步下降。

2.4.1 对棉花产量的影响

棉花光饱和点和补偿点约为 $(5\sim 8)\times 10^4$ lx 和 750 lx,一般全生育期需要日照时数 1 100 h,均大幅度高于其他主要农作物,光照时间的缩短和光照强度的下降都会对棉花的生长发育产生不利影响。

光照强度下降则植株光合产物减少,生殖器官有机养分供应不足,脱落率上升。6 月份光照强度是否充足,直接影响到现蕾、开花以及成铃的多少。日照时数与铃数也呈正相关,光照时数不足,僵烂铃率以及脱落率也升高。长江流域棉花花铃期、吐絮期、整个生育期的日照时数与单株总铃数都呈极显著的正相关。

光照不足还将导致棉花铃重、衣分、总纤维量降低,尤其是裂铃前后的光照直接影响到棉花产量的高低,此外光照对单铃棉籽数、粒重、铃壳重也有显著影响。在适宜的棉花生长条件下,苗蕾期的日照时数与衣分显著正相关,花铃期的日照时数则与衣分呈极显著负相关,花铃期良好的光照条件将导致子指变大,衣分降低,但单株总纤维产量增加,单株籽棉重与日照也呈显著正相关。

2.4.2 对棉纤维品质的影响

光照不足还将导致棉纤维的三大主要品质指标(棉纤维长度、比强度及麦克隆值)变劣。蕾期遮荫对棉纤维品质形成影响较小,在开花期、盛花期和吐絮期遮荫对棉纤维品质影响较大^[16]。

光照不足及由此导致的温度降低会使棉纤维伸长速率下降,最终长度缩短^[17]。研究表明,40%遮荫条件下纤维长度缩短 1.76~1.99 mm,而 70%条件下则缩短 2.61~3.15 mm;光强下降会导致纤维比强度降低^[18]。马富裕等则进一步认为光强每下降 10%,纤维比强度将下降 0.68~0.91 cN/tex^[19];光辐射量大能够产生高的光合速率从而供应较多的碳水化合物,提高棉纤维的麦克隆值^[20],马富裕等研究发现,光强每下降 10%,麦克隆值下降 0.35~0.425^[19]。研究还发现,光照强度下降,短纤维比例上升,长度整齐度下降。

3 极端天气对棉生产的影响

随着温室化效应的加剧,短期极端高温、极端干旱、暴雨、台风及多种形式的强对流天气暴发必将日趋频繁,此类气象条件的发生必将对棉花生产带来严重影响。

3.1 暴雨对棉生产的影响

暴雨的发生将导致不同程度的涝渍。涝渍会使棉花产量品质下降^[21]。涝渍对棉花生殖生长的影响大于对营养生长的影响,将直接导致棉花产量下降^[23]。苗期棉花在遭受涝渍灾害后,如果采取有效的补救措施恢复较快,对其产量基本上不构成重大影响^[24]。花铃期棉花对水分反应最为敏感。渍水会导致棉花蕾、花、幼铃的大量脱落、成铃减少。花铃期受淹,其营养生长的恢复及其补偿能力较小,减产十分严重,李乐农等研究了洪涝对棉花产量的影响,认为洪涝灾害主要通过降低单株成铃数和伏桃数使产量下降^[25]。但渍水对棉花产量及其构成因素的影响程度,因品种和淹水时间而异^[26-27]。

暴雨导致的涝渍还会严重影响棉花品质。渍水条件下棉花纤维比强度、长度、衣分、籽指、衣指、单铃重等品质指标均会不同程度变劣^[7]。苗期、蕾期、花铃期渍水均会导致纤维长度、整齐度、籽指下降,其中,对品质的影响最大的时期是花铃期,花铃期渍水可分别使纤维长度、整齐度及籽指下降 11.8%、32%和 4.8%。不同品质指标对渍水时间的反应性存在差异,短期渍水对纤维长度、籽指影响较小。纤维整齐度及籽指对渍水反应较为敏感,短期渍水即可造成纤维整齐度下降,7 d 持续渍水可使纤维整齐度下降 29.0%。

此外,暴雨发生时如伴随有大风天气将会导致棉花大面积倒伏,雨后棉株的人工扶起过程中,棉株的根系将大幅度受损,这将使棉株在后期生长过程中的抗倒伏能力、养分吸收能力及下部冠层通风透光能力下降,棉铃大量脱落,烂铃发生比例增加,对棉花产量与品质形成带来显著不利影响。

3.2 短期极端低温的影响

棉花各生育阶段的最低临界温度均较高,因此,生产中任何一个生育阶段如若遭遇短期极端低温天气,棉花产量、品质都将显著下降。具体危害程度与低温程度及其持续时间密切相关。2001 年 7 月 31 日—8 月 3 日连续最低温在 11~13 ℃,导致新疆昌吉、石河子、奎屯 26.7 万 hm² 棉花减产 40%~50%,纤维品质下降 1~2 级,经济损失 20 亿元^[28];2005 年江西潜江市

棉花生产前期出现了较好的局面,但8月中旬至9月上旬出现罕见低温阴雨天气,导致棉株在气温升高后出现了大面积急性萎蔫死亡,蕾铃脱落严重,同时枯萎病及黄萎病发生蔓延,严重影响棉花生产发育和产量品质^[29]。

3.3 短期极端高温的影响

高温胁迫出现概率的增加或胁迫持续时间的延长会导致棉花产量品质显著下降。高温胁迫下,日最高温度每升高1℃,将可能导致皮棉产量减少110 kg·hm⁻²^[30]。气温达38℃以上时,RuBP羧化酶的活力下降,棉叶光合作用的正常进行受到抑制,引起棉株体内光合产物亏缺^[31];高温会导致棉株呼吸强度升高,增加棉株体内有机养料的消耗,引起植株体内光合产物亏缺;高温还将提高棉叶的蒸腾作用强度,使棉株体内水分供求失衡,造成花粉生活力下降^[32];其次,高温条件下柱头伸长明显,长柱头花的比例增加,致使受精受阻,育性下降,不孕籽粒增加,蕾铃大量脱落,铃重下降,严重影响棉花产量和品质^[33];最后高温胁迫还会导致根系养分吸收能力下降、根系早衰,使土壤肥效难以发挥^[30],棉株生理性早衰,现蕾数减少、蕾铃因得不到足够有机养分而脱落率增加,铃重减轻,最终导致棉花减产^[34-36]。

3.4 其他极端气象条件的影响

此外,在长江流域棉区及黄河流域棉区,棉花花铃期偶有发生冰雹气象天气,冰雹的发生将使一般性农作物生产带来毁灭性打击,也将使棉花生产带来严重影响,但棉花茎秆的高度木质化及棉花的无限生长习性使其具备较高的再生能力,因此,相对其他作物,如冰雹发生在棉花发育前期,棉株将较其他作物具备更高的产量恢复能力。

尽管棉花的产量品质形成对温度、水分、光照等非生物胁迫非常敏感,但棉花具无限开花结铃习性,在产量形成过程中具很强的补偿能力,在遭受胁迫后,如采取有效的补救措施则棉株生长恢复较快,可在很大程度上降低其对产量品质的影响,甚至可利用棉株的“反跳”效应达到增产的目标,合适的氮肥运筹、合理的化学调控等栽培措施均可最大限度的发挥其产量品质补偿能力,降低水分胁迫带来的负面影响。

4 对棉花病虫害发生的影响

目前棉田的主要害虫为棉铃虫、棉蚜、棉盲蝽、棉红蜘蛛、棉尖蛾、斜纹夜蛾、白粉虱及棉小造桥虫

等^[37]。气象因子对棉虫年度发生程度起着关键性作用,尤其是春季气候条件,对棉虫发生期的早晚及发生量的多少有着直接影响。

4.1 棉铃虫

气象条件年际间差别对棉铃虫的发生、发展与危害程度影响较大。气象各因素对棉铃虫的影响是相互关联的,特别是温度和降水共同作用对棉铃虫发生影响较大。

温度高低影响棉铃虫各虫态发生的时间长短、成活率和繁殖率的高低,且温度是影响越冬代和1代发生期、2代卵盛期的最主要因子:暖冬有利于害虫越冬;倒春寒、低温、霜冻、降雨天气将大大降低棉铃虫成虫羽化率,春季霜冻终止日期出现越晚、棉铃虫死亡率越高。4—6月上旬,温度升高,棉铃虫发生提前,此期,温度变化直接影响棉铃虫的羽化和产卵,5月气温偏高,则第1代棉铃虫发生量和第2代棉田虫卵量也升高,后期的虫株率和百株虫量也多。8—9月气温的变化影响秋季种群数量及越冬基数,秋季降温慢、来临晚,末代棉铃虫卵的孵化率发生量就多,越冬蛹就多。11月初,当气温降到10℃时,棉铃虫便以蛹态进入越冬期,棉铃虫越冬的关键因素是最冷月气温的高低,冷冬不利于棉铃虫越冬,暖冬有利于棉铃虫越冬。

降水量、降水日数、相对湿度均是影响棉铃虫消长的重要因子。棉铃虫发育生长的最适湿度为相对湿度的70%以上,其蛹期长短、蛹的存活率、成虫羽化率与土壤湿度关系密切。有学者通过灰色关联分析,认为空气湿度是影响棉铃虫发生量的主要因素,特别是6月份的空气湿度对2代发生期、发生量作用更大。降水量和雨日数主要作用于2、3、4代发生量,各代发生期内,雨量大、分布均匀,雨日数多,空气湿度高,棉铃虫就会大发生。降水强度大还可冲刷部分虫卵与幼虫。

因此,在全球温度升高条件下,棉铃虫发生大幅度增加是大概率事件。

4.2 棉蚜

棉蚜是我国棉花害虫中的优势种群。除直接取食为害外,还可传播病毒病,分泌蜜露遮盖叶片影响光合作用。由于其繁殖力高,世代周期短,为害严重,因此严重威胁着我国棉花生产。在爆发年份,对棉蚜种群数量起决定作用的因子是气象因子^[38]。

棉蚜性喜干旱,对温度适应范围很宽。空气相对湿度75%以下,盛夏的干旱、低温(24~26℃),特别是

时晴时雨次数频繁,是棉蚜发生的最适气候条件。短期高温或连续的高温天气对棉蚜种群数量有强烈的抑制作用。暴发年份一般气温变异程度较大,5日气温波动较大,特别是6—7月的小于10 cm降雨出现,对温度变异影响很大,导致温度处于棉蚜繁殖的最佳温度区间,致使棉蚜种群数量基数持续增加,最终导致大暴发^[9]。此外,适宜的温度会导致棉蚜大量繁殖并引起种内竞争,进而使大量有翅蚜出现并大规模迁飞扩散;湿度对棉蚜发生也会产生极显著影响,连续阴雨5 d以上,雨量60 mm以上,相对湿度90%以上,常使蚜虫大量感病死亡^[39]。

大气CO₂浓度升高可通过影响棉花的营养组成和次生代谢物质含量而间接影响棉蚜的发生。高CO₂浓度可导致游离脂肪酸和游离氨基酸增加、可溶性蛋白含量降低、棉花组织内棉酚和单宁含量增加,而棉蚜的发育历期与棉花组织的游离脂肪酸、游离氨基酸、可溶性蛋白、和棉酚的含量呈显著负相关,其繁殖力与组织含水量呈显著负相关,与游离脂肪酸、游离氨基酸和棉酚的含量呈显著正相关^[4]。因此,随着大气CO₂浓度增加棉蚜种群的发生和危害有加重的趋势。

因此,在绝大部分内陆棉区,CO₂浓度上升、气温的剧烈变化会导致棉蚜发生加剧,但在降水量增加地区,其变化趋势需进一步探讨。

4.3 棉红蜘蛛

棉红蜘蛛以卵、若虫、成虫世代交替,性喜高温干燥,繁育生长以18~32℃为宜,温度高则繁育快,为害重,以温度26~30℃、相对湿度35%~55%时发育速度最快,繁殖力最高,取食危害最重。

温度影响棉红蜘蛛的发生。气温影响棉红蜘蛛的世代历期、成虫寿命和产卵数量,温度越高,历期越短,繁殖越快。低于1℃、高于33℃其生长繁育受到抑制,当气温降至-2~3℃时,若虫和雄成虫几乎全部绝迹,雌成虫不活动但仍能存活,温度超过34℃时停止繁殖。有研究表明4—8月平均温度棉红蜘蛛虫株率相关系数为 $r_{0.05}=0.928$,特别是6、7月的温度高,有利于虫卵的生长和繁殖^[37]。

降水和湿度亦显著影响棉红蜘蛛的发生。棉红蜘蛛喜欢高温干旱,它最适宜的相对温度为40%~50%,高于70%时虫口密度迅速下降。夏季温度越高,相对湿度越小,危害就越严重。大雨的冲刷虽对其有一定的抑制作用,但水流也帮助其传播和扩散,雨后天晴,温度回升,棉红蜘蛛数量会急剧上升,研究表明

4—8月的降水、相对湿度与棉红蜘蛛相关系数 $r_{0.05}=-0.582$ ^[38]。

因此,若冬季气温高则次年虫情较重。全球温室化导致的温度上升极有可能加重处于干旱半干旱棉区,如黄河流域棉区、西北内陆棉区棉红蜘蛛的发生和危害,而对降水量较多的长江流域棉区,温室化背景下棉红蜘蛛的危害变化趋势还有待进一步探讨。

4.4 其他棉田虫害

除上述害虫外,棉盲椿、棉尖蛾、斜纹夜蛾、棉造桥虫、白粉虱等棉田重要害虫的发生均受气象条件的影响。如棉尖蛾,其成虫的出现早晚和群体的激增时间与降雨有着密切关系,在发生盛期内如连续降雨总量15 mm以上,则雨后5 d内即出现诱虫量的激增^[40]。

因此,在全球大气CO₂浓度上升、气温升高、降水量分布日趋不均衡的温室化背景下,棉田虫害发生的总体趋势是多数棉花害虫的发生将加重,但因不同害虫其对不同气象因子的反应性存在较大差异,且不同生态区其在全球温室化背景下气象条件的变化趋势不同,因此,不同棉田害虫在不同棉区的具体变化趋势尚难形成明确的结论。

5 结论

综上所述,随着温室化效应的加剧,热量和水分的分布将更为不均衡,高温、干旱及涝渍等环境胁迫发生将更趋频繁,棉花生长期将遭受更为严重的生物及非生物胁迫,棉花生产将遭受严峻挑战。

参考文献:

- [1] 王 飞,邢世和.作物种植区划研究进展[J].中国农业资源与区划, 2007, 28(5):37-40.
WANG Fei, XING Shi-he. Progress of the research on crop planting regional planning[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2007, 28(5):37-40.
- [2] 邢 勇.温室效应加剧对农业的影响及其对策[J].农业现代化研究, 2004, 25(1):72-76.
XING Yong. Possible influence of effects of greenhouse on agriculture and its countermeasures[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2004, 25(1):72-76.
- [3] 王建刚,王建林,徐建春,等.气候变化对北疆北部棉花生产的影响及对策[J].中国农业气象, 2009, 30(增1): 103-106.
WANG Jian-gang, WANG Jian-lin, XU Jian-chun, et al. Impacts and countermeasures of climate change on cotton production in Northern Xinjiang[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(Suppl1): 103-106.

- [4] 陈法军, 戈 峰, 刘向辉. 棉花对大气 CO₂ 浓度升高的响应及其对棉蚜种群发生的作用[J]. 生态学报, 2004, 24(5):991-996.
CHEN Fa-jun, GE Feng, LIU Xiang-hui. Impacts of elevated CO₂ on the growth, development and reproduction of cotton aphid *Aphis gossypii* (Glover) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5):991-996.
- [5] 温 民, 王春乙, 白月明. CO₂ 浓度倍增对棉花生长发育和产量形成的影响[J]. 中国农业气象, 1995, 16(3):19-22.
WEN Min, WANG Chun-yi, BAI Yue-ming. The effect of double concentration CO₂ cotton and fiber development [J]. *Agricultural Meteorology in China*, 1995, 16(3):19-22.
- [6] 王润元, 张 强, 刘宏谊, 等. 气候变暖对河西走廊棉花生长的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1):40-42.
WANG Run-yuan, ZHANG Qiang, LIU Hong-yi, et al. Impact of climate warming on cotton growth in the Hexi corridor area [J]. *Advances in Climate Change*, 2006, 2(1):40-42.
- [7] 邓天宏, 朱自玺, 方文松, 等. 土壤水分对棉花蕾铃脱落和纤维品质的影响[J]. 中国农业气象, 1998, 19(3):8-13.
DENG Tian-hong, ZHU Zi-xi, FANG Wen-song, et al. The effect of soil moisture on abscission rate of squares and bolls and fibre quality of cotton [J]. *China Academic Journal Electronic Publishing House*, 1998, 19(3): 8-13.
- [8] McMichael B L, Hesketh J D. Field investigations of the response of cotton to water deficits [J]. *Field Crops Research*, 1982, 5:319-333.
- [9] 李少昆, 陈天茹, 肖 璐, 等. 不同时期干旱胁迫对棉花生长和产量的影响 I. 棉花受旱减产原因分析 [J]. 石河子大学学报, 1999, 3(3): 178-182.
LI Shao-kun, CHEN Tian-ru, XIAO Lu, et al. Effect of drought stress on cotton growth and lint yield at different growing stage [J]. *Journal of Shihezi University*, 1999, 3(3):178-182.
- [10] Guinn G, Mauney J R. Fruiting of cotton I. Effects of moisture status on flowering [J]. *Agronomy Journal*, 1982, 76:90-91.
- [11] 肖俊夫, 刘祖贵, 余希根, 等. 滴灌条件下不同供水模式对棉花产量及品质的影响 [J]. 棉花学报, 2000, 12(4):194-197.
XIAO Jun-fu, LIU Zu-gui, YU Xi-gen, et al. Effects of different water application on lint yield and fiber quality of cotton under drip irrigation [J]. *Cotton Science*, 2000, 12(4):194-197.
- [12] 周治国, 孟亚利, 施 培, 等. 麦棉两熟棉铃铃重与铃期气象因子关系研究 [J]. 棉花学报, 1999, 11(3):134-140.
ZHOU Zhi-guo, MENG Ya-li, SHI Pei, et al. Study of the relationship between boll weight in wheat-cotton double cropping and meteorological factors in boll period [J]. *Cotton Science*, 1999, 11(3):134-140.
- [13] 杨彦武, 于 强, 王 靖. 近 40 年华北及华东局部主要气候资源要素的时空变异性 [J]. 资源科学, 2004, 26(4):45-50.
YANG Yan-wu, YU Qiang, WANG Jing. Spatio-temporal variations of principal climatic factors in North China and part of East China within past 40 years [J]. *Resources Science*, 2004, 26(4):45-50.
- [14] 闫敏华, 邓 伟, 马学慧. 大面积开荒扰动下的三江平原近 45 年气候变化 [J]. 地理学报, 2001, 56(2):159-170.
YAN Min-hua, DENG Wei, MA Xue-hui. Climate variation in the Sanjiang Plain disturbed by large scale reclamation during the last 45 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2):159-170.
- [15] 杨美敏, 曾 燕, 邱新法, 等. 1960—2000 年黄河流域太阳总辐射气候变化规律研究 [J]. 应用气象学报, 2005(16):243-248.
YANG Xian-min, ZENG Yan, QIU Xin-fa, et al. The climatic change of global solar radiation over the yellow river basin during 1960—2000 [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2005(16):243-248.
- [16] Zhao D, Oosterhuis D M. Cotton responses to shade at different growth stages: growth, lint yield and fibre quality [J]. *Experimental Agriculture*, 2000, 36:27-39.
- [17] Pettigrew W T. The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality [J]. *Crop Science*, 2008, 48(1):279-285.
- [18] 王庆材, 孙学振, 郭 英, 等. 光照对棉花生长与棉纤维发育影响的研究进展 [J]. 中国棉花, 2005, 32(1):8-10.
WANG Qing-cai, SUN Xue-zhen, GUO Ying, et al. Study on the effect of solar radiation on cotton and cotton fiber development [J]. *China Cotton*, 2005, 32(1):8-10.
- [19] 马富裕, 曹卫星, 周治国, 等. 田间条件下遮光对棉花棉铃发育及纤维品质的影响 [J]. 棉花学报, 2004, 16(5):270-274.
MA Fu-yu, CAO Wei-xing, ZHOU Zhi-guo, et al. Effects of shading on boll development and fiber quality in field grown cotton [J]. *Cotton Science*, 2004, 16(5):270-274.
- [20] Pettigrew W T. Source-to-sink manipulation effects on cotton lint yield and yield components [J]. *Agronomy J*, 1994, 87:947-952.
- [21] Bednarz C W, Shurley W D, Anthony W S, et al. Yield, quality and profitability of cotton produced at varying plant densities [J]. *Agronomy*, 2005, 97: 235-240.
- [22] 韩会玲, 康凤君. 水分胁迫对棉花生产影响的试验研究 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 37-40.
HAN Hui-ling, KANG Feng-jun. Experiment and study on effect of moisture coerce on cotton producing [J]. *Transactions of the CSAE*, 2001, 17(3): 37-40.
- [23] 张培通, 徐立华, 杨长琴, 等. 涝渍对棉花产量及其构成的影响 [J]. 江苏农业学报, 2008, 24(6):785-791.
ZHANG Pei-tong, XU Li-hua, YANG Chang-qin, et al. Effects of water logging on yield and its components of cotton [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 24(6):785-791.
- [24] 梁哲军, 陶洪斌, 赵海祯, 等. 苗期土壤渍水对棉花恢复生长及光合生理的影响 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(9):1830-1836.
LIANG Zhe-jun, TAO Hong-bin, ZHAO Hai-zhen, et al. Recovery growth and photosynthesis of cotton at seedling stage with waterlogging stress [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(9): 1830-1836.
- [25] 李乐农, 彭克勤, 孙福增. 洪涝对棉花产量及其品质的影响 [J]. 作物学报, 1991, 25(1): 109-115.
LI Le-nong, PENG Ke-qin, SUN Fu-zeng, et al. Effects of flooding on yield and quality of cotton [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 25(1): 109-115.
- [26] 俞希根, 孙景生, 肖俊夫. 棉花适宜土壤水分下限和干旱指标研究 [J]. 棉花学报, 1999(1): 36-39.
YU Xi-gen, SUN Jing-sheng, XIAO Jun-fu. A study oil drought indices and lower limit of suitable soil moisture of cotton [J]. *Cotton Science*, 1999(1): 36-39.

- [27] Lacape M J, Wery J, Annals D J M. Relationships between Plant and soil water status in five-grown cotton(*Gossypium hirsutum* L.) cultivars [J]. *Field Crop Research*, 1998, 57(1):29-43.
- [28] 张学文, 张家宝. 新疆气候手册[M].北京:气象出版社, 2006.
ZHANG Xue-wen, ZHANG Jia-bao. Xinjiang climate manual[M]. Beijing: Meteorological Press, 2006.
- [29] 杨平华, 罗华二, 潘久四. 2005年潜江市棉花遇秋后低温阴雨的影响[J]. 江西棉花, 2006, 28(4):36-37.
YANG Ping-hua, LUO Hua-er, PAN Jiu-si. The influence of low temperature and high humidity weather on cotton plant in Qianjiang in the late autumn season of 2005[J]. *Jiangxi Cotton*, 2006, 28(4):36-37.
- [30] Singh R P, Prasad P V V, Sunita K, et al. Influence of high temperature and breeding for heat tolerance in cotton: A review[J]. *Advance in Agronomy*, 2007, 93: 315-385.
- [31] Loka D A, Oosterhuis D M. Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2010, 68:258-263.
- [32] 胡磊, 胡保民, 王沛政, 等. 低温超低温对棉花花粉活力的影响[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(5):941-945.
HU Lei, HU Bao-min, WANG Pei-zheng, et al. Impact of low temperature and ultra-low temperature on the cotton pollen viability[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2009, 46(5):941-945.
- [33] 郑冬官, 方其英, 黄德祥, 等. 高温对棉花花器影响及对策研究[J]. 安徽农业科学, 1993, 21(3):262-264.
ZHENG Dong-guan, FANG Qi-ying, HUANG De-xiang, et al. Effect of high temperature on the flower and countermeasures[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1993, 21(3):262-264.
- [34] 宋艳玲, 张强, 董文杰. 气候变化对新疆地区棉花生产的影响[J]. 中国农业气象, 2004, 25(3):15-20.
SONG Yan-ling, ZHANG Qiang, DONG Wen-jie. Impact of climate change on cotton production in Xinjiang tonomous region[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2004, 25(3):15-20.
- [35] 王鹤龄, 王润元, 赵鸿. 中国西北冬小麦和棉花生长对气候变暖的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1):258-264.
WANG He-ling, WANG Run-yuan, ZHAO Hong. Response of winter wheat and cotton to climate warming in Northwest China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(1):258-264.
- [36] Mauney J R. Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. in response to temperatures[J]. *Exp Bot*, 1966, 17: 452-459.
- [37] 王登琪, 刘学义, 范小九, 等. 麦棉套作主要虫害发生与气象条件的关系[J]. 河南气象, 2006, 4:56-57.
WANG Deng-qi, LIU Xue-yi, FAN Xiao-jiu, et al. Relationships between insects and meteorological conditions in wheat cotton intercropping[J]. *Meteorology Journal of Henan*, 2006, 4:56-57.
- [38] 穆新豫. 棉田主要害虫发生规律及其与气象因子的关系[J]. 现代农业科技, 2010, 10:176-177.
MU Xin-yu. Major pests occurring pattern and their relationship with climate factors[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010, 10:176-177.
- [39] 罗亮, 马德英, 苗伟, 等. 北疆气温与棉蚜发生量之间关系的探讨[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(4):423-428.
LUO Liang, MA De-ying, MIAO Wei, et al. Preliminary discussion on relationship between air temperature and occurrence of cotton aphid *Gossypii* clover in the North of Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007, 44(4):423-428.
- [40] 丁军, 张青文, 徐静, 等. 冀南棉区棉尖象的发生与防治[J]. 植物保护, 2000, 26(3):17-19.
DING Jun, ZHANG Qing-wen, XU Jing, et al. The occurrence and control of cotton stainer in the south area of Heibei Province[J]. *Plant Protection*, 2000, 26(3):17-19.