

陈燕丽,冯利平,丁美花,等. 2016. 广西宿根蔗生育期气象条件变化特征及其影响. 气象, 42(12):1554-1559.

广西宿根蔗生育期气象条件变化特征及其影响^{*1}

陈燕丽^{1,2,3} 丁美花^{1,3} 冯利平² 莫伟华^{1,3} 匡昭敏^{1,3}

1 广西气象减灾研究所/国家卫星气象中心遥感应用试验基地, 南宁 530022

2 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094

3 广西气象 GIS 应用联合实验室, 南宁 530022

提 要: 利用 2000—2011 年广西 5 个农业气象试验站的甘蔗生育期及同期气象观测资料, 分析了宿根蔗生长发育变化特征及不同生育期气象条件差异及对宿根蔗生长发育的影响。结果表明: (1) 2000—2011 年广西宿根蔗发株期呈波动推后趋势, 延后约 $2.5 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。发株—茎伸长、全生育期间隔天数均呈明显缩短趋势, 分别约为 2.9 、 $2.7 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。发株—茎伸长期间隔天数年际波动较大, 变幅约 15 d (16%), 但茎伸长—工艺成熟期间隔天数年际变化稳定, 变幅仅为 4 d (3%)。宿根蔗最大茎高呈逐年上升趋势, 增幅为 $5.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 单茎鲜重呈明显上升趋势, 增幅为 $64.4 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ 。(2) 宿根蔗全生育期相对湿度呈逐年下降约 $0.38\% \cdot \text{a}^{-1}$; 发株—茎伸长期间日照时数呈逐年下降约 $10 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$ 。各生育期最低气温、降水量年际变化较大, 平均气温、相对湿度年际变化较小, 其中发株—茎伸长长期气象条件的年际变幅明显大于茎伸长—工艺成熟期和全生育期。(3) 气温升高缩短了宿根蔗生育期, 但最低气温、平均气温、最高气温与最大茎高和鲜重均无显著关系。降水量对宿根蔗的发株—茎伸长、全生育期调控作用非常显著, 但其对宿根蔗茎伸长—工艺成熟期作用不明显。日照时数对宿根蔗各个生育期发育天数的延长或缩短作用不明显, 但在发株—茎伸长长期, 由日照时数的减少形成的较湿润条件对宿根蔗生长更有利。

关键词: 甘蔗, 宿根蔗, 生长发育, 气象因子

中图分类号: S16

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.12.014

Characteristics of Meteorological Condition and Its Effects on Ratoon Sugarcane in Different Stages in Guangxi

CHEN Yanli^{1,2,3} DING Meihua^{1,3} FENG Liping² MO Weihua^{1,3} KUANG Zhaomin^{1,3}

1 Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute/Remote Sensing Application and Validation Base of NSMC, Nanning 530022

2 College of Resources and Environment, China Agriculture University, Beijing 100094

3 Joint Laboratory for GIS Application of Guangxi, Nanning 530022

Abstract: In this paper, sugarcane observation data and meteorological data of five agrometeorological experimental stations in Guangxi are used to analyze the growth and development characteristics of ratooning cane, meteorological condition differences in different growing stages and its relationship with sugarcane's growth and development. The results show that: (1) From 2000 to 2011, the emergence date of ratooning cane delays about $2.5 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$; the duration from emergence to stem elongation shortens about $2.9 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ and $2.7 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ for the whole growing period; interannual fluctuation of duration from emergence to stem elongation is bigger than the period from stem elongation to maturity, about 15 d (16%) and 4 d (3%) respectively; the maximum stalk height increases about $5.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ and single stem fresh weight increases about $64.4 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$. (2) Relative humidity of the whole growth period declines about 0.38% every year;

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB430205)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406030)和广西自然科学基金项目(2013GXNSFAA019282)共同资助

2015 年 4 月 30 日收稿; 2016 年 9 月 13 日收修定稿

第一作者: 陈燕丽, 主要从事作物模型与遥感应用研究. Email: cyl0505@sina.com

通信作者: 丁美花, 主要从事甘蔗遥感应用研究工作. Email: dding1030@163.com

sunshine hours in the emergence to stem elongation stage descends $10 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$. For each stage, the interannual variation of minimum temperature and precipitation is big while that of mean temperature and relative humidity is small. The variation of meteorological factors from emergence to stem elongation is higher than those from stem elongation to maturity and in the whole growing period. (3) Rising temperature shortens the ratooning sugarcane growing period obviously, but there is no significant relationship between the highest temperature, lowest temperature, mean temperature and the largest stem height, fresh weight. Effect of precipitation on ratooning sugarcane is very significant in the emergence to stem elongation stage and the whole growth stage except the stem elongation to maturity stage. The effect prolonged or shortened sunshine hours during each growth stage is not obvious. However, in the emergence to stem elongation stage, the reduction of sunshine hours is more favorable for the growth of ratooning sugarcane because the environment becomes wetter.

Key words: sugarcane, ratooning cane, growth and development, meteorological factor

引 言

甘蔗是一年生宿根热带和亚热带草本植物,生长迅速、繁殖力强,已经成为世界第一大糖料作物,全世界食糖产量中蔗糖约占 60%。甘蔗还可生产酒精和乙酸等燃料产品,能源甘蔗也正成为生物质能产业开发的热点。中国是世界主要的甘蔗生产国,而广西得益于其丰富的雨热资源,已成为我国最重要的甘蔗主产区和最大的蔗糖生产基地,2013 年广西甘蔗产量占全国 66%,位居全国第一。

甘蔗从芽出现开始至茎秆成熟收获,大田历时长达 10 个月以上,气象条件对其生长发育及产量影响显著,在甘蔗种植气候区划(苏永秀等,2006;刘建波等,2009)、气象条件对甘蔗产量(陈志彪等,2002;罗武,2011;谭宗琨等,2007;欧钊荣等,2008;古丽等,2011;关志明,1984)、糖分(谢平等,2007)的影响方面已有诸多研究。在气象因子对甘蔗生长发育影响的已有研究中,学者多以株高、蔗茎伸长量为切入点进行分析。蒋菊生等(1999)研究发现降雨、积温、日照时数对海南甘蔗主栽品种新台糖 1 号株高生长影响显著。谢贵水等(2003)的进一步研究指出,平均气温是海南甘蔗株高生长的主要影响因素,其他气象因子多通过平均气温起间接作用。吴炫柯等(2008a;2008b)对广西柳州甘蔗茎生长的研究发现,湿度是影响该地区蔗茎伸长最重要的气象因子,其次是日照时数、降水量、气温、空气湿度的直接效应及其通过温度和日照时数产生的间接正效应,提高了其对蔗茎伸长的影响。多个气象水分参数对蔗茎伸长影响显著,水分收入量是最重要的因子,且其影

响具有滞后性和累积性(吴炫柯等,2011)。陈燕丽等(2016)的进一步研究指出,新植蔗和宿根蔗茎生长具有明显差异,气象因子对新植蔗的影响大于宿根蔗。钟楚等(2011a)分析了云南耿马县甘蔗茎生长与同期多个气象因子的相关性,发现积温、平均气温、降水量和日照时数与蔗茎伸长显著正相关,较好的雨热光照条件可以促进蔗茎生长。已有的研究中,对甘蔗不同生育期气象条件变化特征及其影响关注较少,目前仅见钟楚等(2011b)以耿马县单个站点的甘蔗生育期和气象资料,分析了新植蔗生长发育变化及气候变化对其的影响,发现整个生育期积温和日照的正作用较大,气温的负作用较大,不同生育期影响甘蔗生长发育的主导气候因子有差异。新植蔗和宿根蔗的生育期存在时间差,两者在发育中可利用的气象资源有一定差异,但鲜见有关气象因子对宿根蔗不同生育期生长发育影响的研究报道。

本文利用 2000—2011 年广西 5 个农业气象试验站宿根蔗生长发育观测资料和同期平均气温、降水量、降水日数、相对湿度和日照时数等气象数据,分析宿根蔗生长发育变化特征,在此基础上分析生育期内不同气象因子变化规律及其与宿根蔗生长发育的关系,为合理制定甘蔗生产措施提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

广西地处我国南疆,位于 $20^{\circ}54' \sim 26^{\circ}24' \text{N}$ 、 $104^{\circ}26' \sim 112^{\circ}04' \text{E}$,属亚热带季风气候区,雨热同季,是我国最大的蔗糖生产基地,蔗糖产量已连续

18 年稳居全国首位,占全国总产量 60%以上。区内 90%以上甘蔗主要种植在无灌溉条件的旱地、坡地和丘陵山地。新植蔗一般于 3 月开始播种,5 月进入分蘖期,6—10 月为茎伸长期,11 月为工艺成熟期;宿根蔗一般于 3 月中旬开始发株,6 月中旬进入茎伸长期,10 月中旬进入工艺成熟期。

1.2 资料来源

所有资料均由广西壮族自治区气象信息中心提供,包括广西 5 个农业气象试验站,分别是:沙塘、宜州、平果、贵港、来宾(表 1),均为广西中部甘蔗主产区的代表站点,种植品种以台糖系列为主。5 个试验站甘蔗地均为旱地,土壤类型为砂壤土,土壤肥力中等,其中宜州、贵港土壤呈微酸性,沙塘、来宾、平果土壤呈中性。

甘蔗数据:按照《农业气象观测规范》要求,宿根蔗发育期分为发株期、茎伸长期、工艺成熟期 3 个时期。甘蔗数据主要包括生育期日期、茎高(地面量至最上部一片展开叶的基部叶枕,进入茎伸长期当旬开始,于每旬末测量)、茎鲜重(砍收后单茎的鲜重)。

气象数据:包括 5 个试验站各生育期内逐日的降水量、日照时数、相对湿度、最低气温、平均气温,分别计算宿根蔗 2000—2011 年发株—茎伸长期、茎伸长—工艺成熟期及全生育期的降水量、日照时数、相对湿度、平均气温和最低气温,其中降水量、日照时数为求和统计,相对湿度、平均气温、最低气温为均值统计,取 5 个站点的平均值作为某年某生育期的代表值。

表 1 研究涉及的广西 5 个农业气象试验站资料
Table 1 Sugarcane information of 5 agro-meteorological stations in Guangxi

站名	纬度/°N	经度/°E	资料年份
沙塘	24.44	109.38	2006—2009,2011
宜州	24.46	108.70	2004—2006,2008—2010
平果	23.40	107.68	2000—2010
贵港	23.14	109.68	2000—2011
来宾	23.76	109.26	2005—2006,2008—2011

2 结果与分析

2.1 生育期变化特征

2000—2011 年广西宿根蔗发株期多集中在 2

月下旬至 3 月下旬,呈波动推后趋势,延后约 $2.5 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ($R^2=0.414^{*①}$)。发株—茎伸长期间隔天数为 70~119 d,平均 91 d,呈明显缩短趋势,约 $2.9 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ($R^2=0.509^{**②}$);茎伸长—工艺成熟间隔天数为 145~159 d,平均 152 d,趋势变化不明显;但整个生育期间隔天数 222~270 d,平均 243 d,呈缩短趋势,约 $2.7 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ($R^2=0.401^{*}$)(图 1)。利用标准差和变异系数分析宿根蔗各生育期间隔天数年际变化波动情况(表 2),其茎伸长—工艺成熟期间隔天数年际变幅为 4 d(3%),发株—茎伸长期间隔天数年际变幅约为 15 d(16%)。

表 2 宿根蔗各生育期间隔天数多年平均值、标准差及变异系数
Table 2 Average value, standard deviation and variation coefficient in different growing stages of ratoon cane during 2000—2011

	发株—茎伸长	茎伸长—工艺成熟	全生育期
平均值/d	91	152	243
标准差/d	15	4	15
变异系数/%	16	3	6

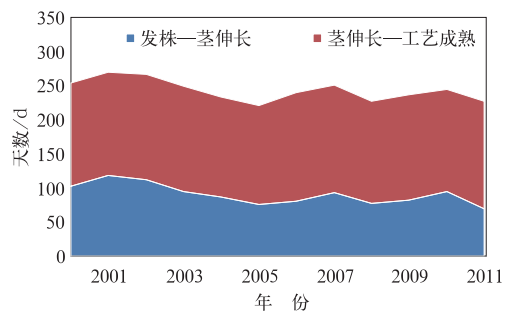


图 1 2000—2011 年宿根蔗各生育期间隔天数

Fig. 1 Interval days of different growing stages of ratoon cane during 2000—2011

2.2 茎伸长及鲜重

进入茎伸长期后,宿根蔗茎高本底值多年均值为 $62 \pm 15.9 \text{ cm}$ (均值±标准差),茎停止伸长时的最大茎高约 $273 \pm 32.3 \text{ cm}$,平均茎高约 $184 \pm 19.1 \text{ cm}$ (图 2)。其中,最大茎高呈逐年上升趋势,增幅为 $5.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ ($R^2=0.411^{*}$)。宿根蔗单茎鲜重多年平均约为 $1162 \pm 258.4 \text{ g}$,呈逐年明显上升趋势,增幅为 $64.4 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ ($R^2=0.808^{**}$)。

① * 表示通过 0.05 显著性水平检验,下同。

② ** 表示通过 0.01 显著性水平检验,下同。

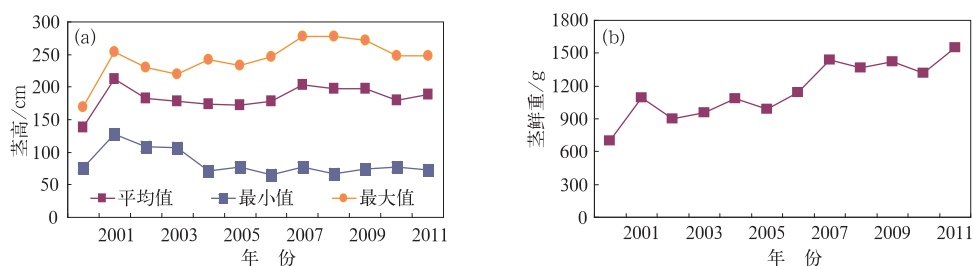


图 2 2000—2011 年宿根蔗茎高(a)和茎鲜重(b)变化趋势

Fig. 2 Variation of stem height (a) and fresh weight (b) of ratoon cane during 2000—2011

2.3 生育期气象条件

2.3.1 平均气温、最高气温和最低气温

2000—2011 年宿根蔗发株—茎伸长期、茎伸长—工艺成熟期及全生育期多年平均气温均值分别

为 23.6、26.4 和 25.4℃(图 3a),最高气温分别为 35.8、37.4 和 36.6℃(图 3b),最低气温分别为 10.1、11.3 和 10.7℃(图 3c)。各生育期最低气温的年际波动均较大,变幅均大于 20%;平均气温、最高气温年际波动较小,变幅均小于 5%。

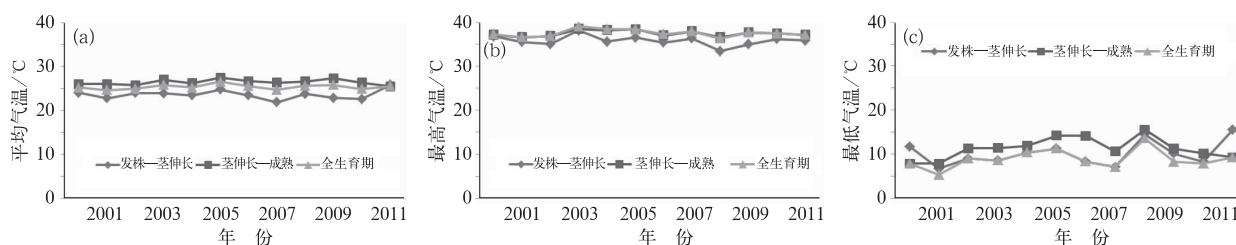


图 3 2000—2011 年不同生育期平均气温(a)、最高气温(b)、最低气温(c)变化趋势

Fig. 3 Variation of mean temperature (a) maximum temperature (b) and minimum temperature (c) of different growing stages during 2000—2011

2.3.2 降水量和相对湿度

宿根蔗发株—茎伸长期、茎伸长—工艺成熟期及全生育期降水量分别为 468.0、726.2 和 1194.0 mm(图 4a)。各生育期降水量的年际变幅均大于 15%,其中发株—茎伸长期年际变幅最大,为 29%。

宿根蔗发株—茎伸长期、茎伸长—工艺成熟期及全生育期相对湿度多年均值分别为 78.9%、76.1%和 77.2%(图 4b)。相对湿度的年际变幅均小于 5%,且全生育期呈逐年下降趋势 $0.38\% \cdot a^{-1}$ ($R^2=0.372^*$)。

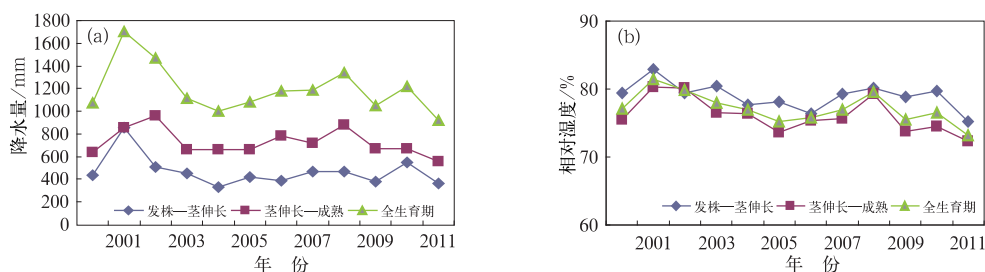


图 4 同图 3,但为降水量(a)和相对湿度(b)

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for precipitation (a) and relative humidity (b)

2.3.3 日照时数

宿根蔗发株—茎伸长期、茎伸长—工艺成熟期及全生育期日照时数多年均值分别为 308.4、907.9 和 1216.3 h,其发株—茎伸长期间日照时数呈逐年

下降趋势 $10 h \cdot a^{-1}$ ($R^2=0.427^*$)(图 5)。发株—茎伸长期日照时数年际变幅 17.9%,其余生育期变幅均小于 10%。

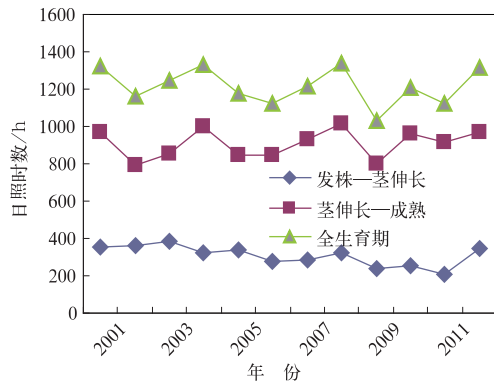


图 5 同图 3, 但为日照时数

Fig. 5 Same as Fig. 3, but for sunshine hours

2.4 气象条件与甘蔗生长发育的关系

宿根蔗发株—茎伸长期间隔天数与同期降雨量、日照时数呈极显著正相关,与最低气温极显著负相关,与平均气温显著负相关。茎伸长—工艺成熟期间隔天数与同期日照时数极显著正相关,与最低气温、平均气温极显著负相关。全生育期间隔天数与同期降雨量、日照时数极显著正相关,与相对湿度显著正相关,与平均气温、最低气温呈极显著负相关(表 3)。鲜重与发株—茎伸长期日照时数极显著负相关,与降雨量显著负相关。

表 3 气象因子与宿根蔗生长发育的相关性

Table 3 The correlation between meteorological factors and growth of ratoon cane

生育期	气象因子	间隔天数	最大茎高	鲜重
发株— 茎伸长	最低气温	-0.414**	0.025	0.172
	平均气温	-0.357*	-0.166	-0.062
	降雨量	0.608**	-0.078	-0.359*
	相对湿度	0.244	-0.150	-0.272
	日照时数	0.578**	-0.298	-0.451**
茎伸长— 工艺成熟	最高气温	0.203	-0.083	-0.129
	最低气温	-0.545**	0.028	0.012
	平均气温	-0.554**	-0.001	0.039
	降雨量	0.176	0.056	0.073
	相对湿度	0.281	0.028	-0.233
全生育	日照时数	0.634**	-0.128	-0.048
	最高气温	-0.081	0.231	0.152
	最低气温	-0.574**	0.024	0.062
	平均气温	-0.669**	-0.031	0.056
	降雨量	0.485**	-0.016	-0.208
全生育	相对湿度	0.374*	-0.058	-0.291
	日照时数	0.496**	-0.270	-0.288
	最高气温	-0.135	0.189	0.104

甘蔗生长发育对温度的响应很敏感,宿根蔗各生育期发育天数与最低气温、平均气温均显著负

相关,可能原因是随着近年来的气候变暖趋势,平均气温、最低气温增高,加速了宿根蔗的发育进程。对宿根蔗多年生育期的变化分析结果也表明,其发株—茎伸长、全生育期间隔天数均呈明显缩短趋势。气温升高虽然缩短了宿根蔗生育期,但最低气温、平均气温、最高气温与最大茎高和鲜重均无显著的关系。甘蔗冻害临界低温为 -1°C ,在广西一般发生在 12 和 1 月,由于榨季较长,冻害发生时会影响及没有及时收获的甘蔗,试验站点的甘蔗均为正常收获。甘蔗的临界高温为 36°C ,在广西一般发生在 7 月,但该期间降雨较充沛,加之风速、甘蔗群体温度调控能力等因素的影响,最高气温对最大茎高、鲜重无显著影响。

降雨量对宿根蔗的发株—茎伸长、全生育期调控作用非常显著,但其对宿根蔗茎伸长—工艺成熟期作用不明显。广西宿根蔗发株—茎伸长期集中在 2 月下旬至 3 月下旬,尽管该时期对水分的需求量占整个生育期的比例最小,但随着蔗芽、蔗茎不断生长,其对水分的需求越来越大。茎伸长—工艺成熟期集中在 5—11 月,是广西雨热资源最丰富的季节,且由于降雨时空分布的不均匀及温度的主控作用,降雨量对该阶段的甘蔗生长影响相对较小。但对于全生育期而言,降雨量和相对湿度对甘蔗生长发育的影响很显著。

日照时数与各发育期间隔天数呈显著正相关,但由于 2000—2011 年广西宿根蔗各生育期日照时数年际波动较大或无明显变化趋势,日照时数对发育天数的延长或缩短作用并不明显。甘蔗是生物量最高的大田 C4 作物,光合能力极强,日照时数的增加可延长甘蔗光合作用的时间,提高碳水化合物产量,但除发株—茎伸长期外,日照时数与最大茎高和鲜重并无显著关系。在发株—茎伸长期,日照时数与单茎鲜重呈显著负相关,该阶段广西地区的日照已能满足甘蔗生长需求,由于日照减少,蒸发量减少所形成较湿润条件更利于其生长。

3 结 论

2000—2011 年广西宿根蔗发株期呈波动推后趋势,延后约 $2.5\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。发株—茎伸长、全生育期间隔天数均呈明显缩短趋势,分别约为 2.9 和 $2.7\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。发株—茎伸长期间隔天数年际波动较大,变幅约 $15\text{ d}(16\%)$,但茎伸长—工艺成熟期间隔天数年

际变化稳定,变幅仅为 4 d(3%)。宿根蔗最大茎高呈逐年上升趋势,增幅为 $5.3 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$,单茎鲜重呈明显上升趋势,增幅为 $64.4 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

宿根蔗全生育期相对湿度呈逐年下降趋势 $0.38\% \cdot \text{a}^{-1}$,发株—茎伸长期日照时数呈逐年下降趋势 $10 \text{ h} \cdot \text{a}^{-1}$ 。各生育期最低气温、降水量年际变化较大,平均气温、相对湿度年际变化较小,其中发株—茎伸长期气象条件的年际变幅明显大于茎伸长—工艺成熟期和全生育期。

宿根蔗发育的不同时期,气象条件差异较大,起主导作用的因子及其作用大小也不同。气温升高缩短了宿根蔗生育期,但最低气温、平均气温、最高气温与最大茎高和鲜重均无显著的关系。降水量对宿根蔗的发株—茎伸长、全生育期调控作用非常显著,但其对宿根蔗茎伸长—工艺成熟期作用不明显。日照时数对宿根蔗各个生育期发育天数的延长或所缩短作用不明显,但在发株—茎伸长期,由日照时数的减少形成的较湿润条件对宿根蔗生长更有利。在气候变暖的背景下,气温的持续升高将进一步缩短宿根蔗生育期,节约农时。因此,在甘蔗生产管理中,应采取针对性强及科学合理的栽培管理措施以提高甘蔗产量。

参考文献

陈燕丽,冯利平,丁美花,等. 2016. 气象因子对广西新植蔗和宿根蔗茎伸长的影响. 作物学报, 42(4): 583-590.
陈志彪,朱鹤健. 2002. 漳州甘蔗生长的主要影响因素分析及改善措施. 中国农业气象, 23(2): 40-43.

古丽,黄智刚,李文宝,等. 2011. 1980—2007 年南宁蔗区甘蔗气象产量变化及影响因子分析. 南方农业学报, 42(5): 492-495.
关志明. 1984. 甘蔗产量与大伸长期气象要素的统计分析. 甘蔗糖业, (9): 49-52.
蒋菊生,谢贵水,林位夫. 1999. 气象因子与甘蔗生长的关系及其预测模型的建立. 甘蔗, 6(1): 1-5.
刘建波,彭懿,陈秋波. 2009. 海南甘蔗种植的气候适宜性分析及区划. 中国农业气象, 30(S2): 254-256.
罗武. 2011. 罗城县甘蔗产量与气象条件分析. 现代农业科技, (3): 304-305.
欧钊荣,谭宗琨,何燕,等. 2008. 影响我国甘蔗主产区甘蔗产量的关键气象因子及其丰欠指标. 安徽农业科学, 36(24): 10407-10410.
苏永秀,李政,孙涵. 2006. 基于 GIS 的广西甘蔗种植气候区划. 中国农业气象, 27(3): 252-255.
谭宗琨,欧钊荣,何燕. 2007. 全球蔗糖主产国甘蔗产量与气象条件关系的初步研究. 中国农业气象, 28(1): 71-75.
吴炫柯,段毅强,陈利东. 2011. 甘蔗茎伸长量与气象水分参数的相关性分析. 气象科技, 39(1): 110-113.
吴炫柯,李家文,刘永裕. 2008a. 主要气象因子对甘蔗茎伸长的通径分析. 中国糖料, (3): 25-26.
吴炫柯,刘永裕,刘梅. 2008b. 气象因子对甘蔗茎伸长的影响. 气象, 34(6): 116-118.
谢贵水,蒋菊生,蔡明道. 2003. 影响甘蔗株高生长的气象因子通径分析. 甘蔗, 10(1): 7-11.
谢平,张羽,陈圣南. 2007. 影响湛江甘蔗产量与糖分的气候因子变化特征. 中国农业气象, 28(2): 136-139.
钟楚,金莉莉,周臣. 2011a. 云南耿马甘蔗茎伸长量与气象因子的关系及其模拟预测. 中国农业气象, 32(4): 582-586.
钟楚,周臣,李金惠,等. 2011b. 气候变化对云南耿马甘蔗生长发育的影响. 中国糖料, (3): 38-42.