



王军, 丁效东, 罗静, 等. 南雄烟区气候条件与烟叶产量构成及主要化学成分的关系[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(3): 54-61.

## 南雄烟区气候条件与烟叶产量构成及主要化学成分的关系

王军<sup>1</sup>, 丁效东<sup>2</sup>, 罗静<sup>3</sup>, 王晓宾<sup>4</sup>, 王政仁<sup>4</sup>, 陈泽鹏<sup>4</sup>

(1 广东省烟草南雄科学研究所/广东烟草粤北烟叶生产技术中心, 广东 南雄 512400;

2 青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109; 3 广东烟草韶关市有限公司南雄市分公司,  
广东 南雄 512400; 4 中国烟草总公司广东省公司, 广东 广州 510610)

**摘要:**【目的】探明影响广东南雄烟区烟叶产量构成及其主要化学成分的主要气象因子。【方法】采用数据调查、相关分析及回归分析方法研究了近几年南雄烟区烤烟大田生育期主要气象因子(降雨量、日照时数和气温)与烟叶产量构成及主要化学成分的关系。【结果】影响烟叶产量及其构成的气候因素依次为降雨量、日照时数和气温;上、下部叶单叶质量及下、中部叶产量比例与成熟期的气温、5月下旬日照时数、旺长期及4月上旬降雨量呈正相关。上部叶还原糖含量、钾离子含量、总氮/总烟碱、还原糖/总糖与气温、日照时数呈显著相关。中部叶总糖、还原糖和钾离子含量与日照时数呈显著正相关, 总氮/总烟碱与5月下旬降雨量呈显著负相关, 还原糖/总糖与3月下旬降雨量呈显著正相关、与6月上旬降雨量呈极显著正相关。【结论】在生产实践中, 可以通过适当调整移栽期来改变烤烟大田各生育期气候条件, 进而达到调控烟叶产量构成及化学成分的目的。

**关键词:**南雄烟区; 烤烟; 生育期; 气候因子; 产量构成; 化学成分

中图分类号:S572.01

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2016)03-0054-08

## Effects of climatic conditions on yield components and main chemical constituents of tobacco in Nanxiong, Guangdong Province

WANG Jun<sup>1</sup>, DING Xiaodong<sup>2</sup>, LUO Jing<sup>3</sup>, WANG Xiaobin<sup>4</sup>, WANG Zhengren<sup>4</sup>, CHEN Zepeng<sup>4</sup>

(1 Nanxiong Tobacco Science Institute of Guangdong/Northern Guangdong Technology Center of Tobacco Production of Guangdong, Nanxiong 512400, China; 2 College of Resources and Environment Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 3 Guangdong Shaoguan Tobacco Co., Ltd., Nanxiong Branch, Nanxiong 512400, China;  
4 Guangdong Tobacco Co., China National Tobacco Corporation, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:**【Objective】To study effects of climatic factors on yield components and chemical compositions of tobacco in Nanxiong, Guangdong Province.【Method】This research employed data survey, correlation analysis, and regression analysis to study the relationship between main climate factors (temperature, sunshine and rainfall) in Nanxiong and tobacco yield components, chemical compositions.【Result】The tobacco leaf yield and its components were mainly affected by rainfall, followed by sunshine hours and temperature. The mass per leaf of the top or bottom leaves and the yield ratio of the bottom and middle leaves were positively correlated with temperature at mature stage, sunshine hour in late May, and rainfall

收稿日期:2015-07-22 优先出版时间:2016-04-15

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160415.1555.020.html>

作者简介:王军(1975—), 男, 高级农艺师, 博士, E-mail: wangjun4170@126.com; 通信作者:陈泽鹏(1965—), 男, 高级农艺师, 硕士, E-mail: chenzp1380888@163.com

基金项目:广东省烟草专卖局(公司)专项(201306)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

in vigorous growing stage and early April. The amounts of reducing sugar and potassium ions, the ratios of total nitrogen to total nicotine, and reducing sugar to total sugar of the top leaves were significantly correlated with air temperature and sunshine hour. For the middle leaves, the amounts of total sugar, reducing sugar and potassium ions were significantly positively correlated with sunshine hour; the ratio of total nitrogen to total nicotine was significantly negatively correlated with rainfall in late May; the ratio of reducing sugar to total sugar was significantly positively correlated with rainfall in late March and rainfall in early June. 【Conclusion】It is feasible to change the climate conditions in the field of flue-cured tobacco by adjusting the transplanting time, and thus to regulate the yield components and chemical constituents of tobacco leaves in production.

**Key words:** Nanxiong tobacco-growing area; flue-cured tobacco; growth period; climatic factor; yield component; chemical composition

生态因素是烟叶质量风格特色形成的基础条件<sup>[1]</sup>,光照、气温、降雨等气候因子通过影响烤烟某些香气物质和次生代谢物合成、碳水化合物和能量代谢、抗逆响应、信号转导与基因表达<sup>[2]</sup>,从而对烟株正常生长及烟叶内在化学成分及风格特色的塑造产生重要作用<sup>[2-3]</sup>,其影响程度大于品种<sup>[4]</sup>和土壤<sup>[5-7]</sup>因子。近年来,随着卷烟工业对烟叶原料风格特色化要求逐步增强,云南<sup>[8]</sup>、贵州<sup>[9]</sup>、四川<sup>[10]</sup>、湖南<sup>[5-6]</sup>、福建<sup>[11]</sup>、湖北<sup>[12]</sup>等烟叶产区对本产区气候条件与烟叶的化学成分及风格特色相关性分析,有利于各产区特定气候条件下采取相应栽培技术措施,趋利避害,生产出满足工业品质及风格特色需求的优质烟叶<sup>[13]</sup>。南雄烟区地处广东省北部,是我国典型浓香型烤烟产区<sup>[14]</sup>,现已规划建成5个国家级基地单元,年产浓香型特色优质烟叶30万担左右。张小全等<sup>[15]</sup>早期对南雄烟区气象因素与烟叶质量特点进行了较为系统的分析,推测大田前期气温较低、光照时数短,旺长期和成熟期气温较高、光照时数多的气候特点可能是南雄烟叶浓香型风格特色形成的气象因素。谢晓斌等<sup>[16]</sup>在分析南雄烟区近25年气象数据和300份土壤样品养分数据基础上,提出了南雄烟区烟叶生产中主要土壤及气象障碍因子。迄今为止,对南雄烟区气象条件与烟叶产量构成及主要化学成分之间关系的研究鲜见报道。由于我国南方烟区烟叶化学成分的主导气象因子是日照时数和降雨量<sup>[17]</sup>,本文选择气温、日照时数和降雨量这3个主要气象因子,以南雄烟区的烤烟大田生育期气象特点为基础,分析其与烟叶产量构成及主要内在化学成分的关系,以期为优化烟叶结构、彰显烟叶浓香型风格特色提供理论和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品与数据的采集

1.1.1 气象数据 烤烟大田生育期气温、日照时数、降水量数据(1988—2014年)由广东省南雄市气象局提供。按照 YC/T 142—2010<sup>[18]</sup> 规定,根据烤烟生产实际情况,大田生育期按伸根期(3月上旬至4月上旬)、旺长期(4月中旬至下旬)和成熟期(5月上旬至7月下旬)进行划分,以旬和各生育期进行气象资料的整理和统计分析。

1.1.2 烟叶样品 烟草 *Nicotiana tabacum* Linn. 品种为粤烟97。2011—2014年在南雄市6个基地单元选择代表本基地单元生产水平的烟田设置取样点,各点植烟面积不少于666.67 m<sup>2</sup>。烟株打顶后随机选取大小一致10株挂牌定株、定叶位。烟叶部位定义自下而上,第1至8片叶为下部叶、第9至13片叶为中部叶、第14片及以上为上部叶。各调查点单收单烤后收集定株及定点样品,其中定点样品取C3F和B2F等级。

### 1.2 烟叶样品检测方法

平衡定株烟叶样品在含水率(*w*)16%~18%后逐片测单叶质量,以取样点为单位制样,分析测定中、上部叶的总糖和还原糖<sup>[19]</sup>、总氮<sup>[20]</sup>、总烟碱<sup>[21]</sup>和钾离子<sup>[22]</sup>含量。

### 1.3 数据的整理与统计

采用 SPSS22.0 软件 Orrelate 软件 Bivariate 模块和 Rgression 中 Linear 模块进行相关和逐步回归分析<sup>[23]</sup>;数据分析过程中利用 LSD 法在 0.05、0.01 水平进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 南雄烟区气候条件的基本特征

广东省南雄烟区26年(1988—2014)气象数据统计结果显示,烤烟大田伸根期、旺长期和成熟期平均气温分别为15.8、21.3和25.6℃(表1),其中伸根期平均气温年度间变异较大(变异系数9.32%),且随着生育进程其年度间变异减小。研究表明,由于烤烟伸根期气温为18~28℃、旺长期为20~

28℃、成熟期为20~25℃时有利于促进优质烟叶的生长发育<sup>[25]</sup>,因此,南雄烟区伸根期气温偏低、成熟期气温偏高可能是导致南雄烤烟伸根期较长(40~45 d)、成熟期“高温逼熟”的主要原因。由表1可以看出,相对于国外优质烟叶生产区,南雄烤烟整个生育期内气温高于巴西和津巴布韦,而低于美国;其日照时数少于美国、津巴布韦和巴西;其降雨量高于美国、巴西和津巴布韦。

表1 南雄烟区和国外优质烟区各生育期主要气象因子

Tab. 1 Main meteorological factors at different growth stages in Nanxiong tobacco field and oversea high quality tobacco fields

气象因子	生育期	南雄烟区				国外优质烟区 <sup>[24]</sup>		
		$\bar{X} \pm SE$	最小值	最大值	变异系数/%	美国	巴西	津巴布韦
温度/℃	伸根期	15.8 ± 1.5	12.1	18.9	9.32	20.7	16.4	21.1
	旺长期	21.3 ± 1.5	18.2	23.6	6.80	24.4	18.9	20.8
	成熟期	25.6 ± 0.5	24.7	26.6	2.11	22.1	21.1	20.3
	大田期	21.6 ± 0.6	20.5	23.0	2.72	22.0	18.8	20.7
日照时数/h	伸根期	89.5 ± 25.1	41.8	141.7	28.10			
	旺长期	64.7 ± 22.3	31.4	109.6	34.50			
	成熟期	260.4 ± 54.1	148.6	354.9	20.80			
	大田期	414.6 ± 60.2	306.8	561.1	14.50	1 104.0	696.0	768.0
降雨量/mm	伸根期	235.8 ± 94.9	103.7	538.1	40.20	111.8	89.8	138.3
	旺长期	129.0 ± 64.8	21.7	304.4	50.20	163.8	124.6	151.7
	成熟期	448.8 ± 149.7	237.8	851.4	33.40	122.7	162.9	114.2
	大田期	813.6 ± 184.8	488.9	1 213.8	22.70	593.5	657.0	689.4

烤烟大田伸根期、旺长期、成熟期平均日照时数分别为89.5、64.7、260.4 h(表1),整个大田期日照时数为414.6 h,其中伸根期、旺长期和成熟期年度间变异较大,变异系数皆超过20%。

大田伸根期、旺长期、成熟期平均降雨量分别为235.8、129.0、448.8 mm(表1),其中伸根期降雨量相对偏多和旺长期相对偏少,可能与南雄烟区烤烟伸根期相对较长而旺长期相对较短有关。整个大田期降雨量为813.6 mm且主要分布在成熟期,占降雨量的55.2%;各生育期降雨量年度间变异较大,各生育期变异系数皆大于30%,整个大田期大于20%。

南雄烟区大田期各旬气温随生育进程逐渐稳步增加(表2),从3月上旬的平均气温13.13℃上升到6月下旬的27.88℃,每旬平均气温上升1.23℃。日照时数除在3月中旬、4月上旬和6月中旬较上旬明显下降外,整个大田期整体呈逐旬增加趋势;烤烟大田期降雨时间分布不均匀,3月上、中旬(伸根前期)旬降雨在50 mm以下,随生育进程各旬降雨皆大于60 mm,其中在3月下旬(伸根中期)、5月上旬(旺长期后期)、6月中旬(成熟后期)各旬降雨皆大于80 mm。

表2 南雄烟区烤烟大田生育期气象因子变化

Tab. 2 Changes in meteorological factors during growth period of flue-cured tobacco in Nanxiong tobacco field

月份	温度/℃			日照时数/h			降雨量/mm		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
3	13.1	15.4	16.0	28.5	14.2	25.4	40.6	40.9	83.3
4	18.4	20.5	22.1	21.3	32.0	32.6	71.0	62.3	66.7
5	23.3	24.2	25.0	36.9	43.0	43.0	80.2	80.2	74.8
6	26.5	26.9	27.9	46.7	42.6	53.7	70.2	86.1	66.1

## 2.2 南雄烟区粤烟97产量构成

2011—2014年南雄烟区烤烟平均单叶质量及单株产量基本稳定,分别为11.50~11.90和195.00~220.00 g(表3)。4年的数据分析表明,下部叶平均单叶质量2011年最低、2012年最高,2013和2014年间无显著差异( $P > 0.05$ );中、上部叶单叶质量4年

间无显著差异。2011、2013和2014年下部叶产量比例年度间无显著差异,但均显著低于2012年;中部叶产量比例2012和2013年均超过30%,且显著高于2011、2014年( $P < 0.05$ );2012年上部叶产量比例较2011年下降了26.8%,差异达极显著水平;2012—2014年上部叶产量比例呈逐年上升的趋势。

表3 南雄烟区烤烟产量构成<sup>1)</sup>

Tab. 3 Yield components of flue-cured tobacco in Nanxiong tobacco field

年份	单株产量/g	单叶质量/g				产量构成/%		
		平均值	下部叶	中部叶	上部叶	下部叶	中部叶	上部叶
2011	219.61 ± 42.35a	11.76 ± 1.97a	5.33 ± 1.12aA	11.02 ± 2.25a	19.60 ± 3.72a	18.45 ± 2.22aA	23.75 ± 2.71aA	57.80 ± 2.70cC
2012	201.68 ± 36.35a	11.86 ± 1.43a	8.41 ± 0.53cB	12.91 ± 1.61a	17.56 ± 2.58a	35.55 ± 6.87bB	33.44 ± 6.72bBC	31.01 ± 12.67aA
2013	195.57 ± 39.35a	11.64 ± 2.02a	6.84 ± 1.50bA	13.25 ± 2.58a	18.96 ± 3.78a	25.61 ± 9.85aA	34.37 ± 3.00bC	40.02 ± 9.02bAB
2014	219.94 ± 29.46a	11.57 ± 1.35a	6.71 ± 0.97bA	11.87 ± 2.39a	17.89 ± 2.29a	24.52 ± 3.06aA	27.19 ± 5.23aAB	48.29 ± 7.41bcBC
CV/%	5.96	1.10	18.46	8.28	5.11	27.21	17.12	25.85

1) 同列数据后凡具有一个相同大、小写字母者,分别表示在0.01、0.05水平差异不显著(LSD法)。

## 2.3 南雄烟区粤烟97的化学成分

2011—2013年中、上部叶总糖、还原糖含量持续增加,其中2013年中部叶总糖和还原糖、上部叶还原糖含量显著高于2011年,分别增加了4.81%、

6.79%、6.43%;2014年中部叶总糖和还原糖、上部叶还原糖和总糖含量显著低于2013年,分别下降了5.93%、6.44%、5.89%和6.37%。

表4 南雄烟区烤烟化学成分<sup>1)</sup>

Tab. 4 Chemical compositions of flue-cured tobacco in Nanxiong tobacco field

部位	年份	w/%					含量比值		
		总糖	还原糖	总烟碱	总氮	钾离子	总糖/总碱	总氮/总碱	还原糖/总糖
中部叶	2011	25.14 ± 2.46abA	20.86 ± 1.93aA	2.21 ± 0.42aA	1.75 ± 0.04bB	2.09 ± 0.26a	11.92 ± 3.17abAB	0.82 ± 0.16aAB	0.83 ± 0.04aA
	2012	27.48 ± 1.89bcAB	22.78 ± 1.29aA	1.79 ± 0.36aA	1.54 ± 0.05aA	2.42 ± 0.25a	16.02 ± 4.01cB	0.89 ± 0.21bB	0.83 ± 0.02aA
	2013	29.95 ± 1.50cB	27.65 ± 1.45bB	2.26 ± 0.19aAB	1.77 ± 0.10bBC	2.14 ± 0.14a	13.38 ± 1.67bcAB	0.79 ± 0.06aAB	0.92 ± 0.02cB
	2014	24.02 ± 6.21aA	21.21 ± 5.34aA	2.98 ± 0.95bB	1.86 ± 0.10cC	2.21 ± 0.63a	9.26 ± 4.51aA	0.67 ± 0.17aA	0.89 ± 0.04bB
	CV/%	9.88	13.54	21.38	7.83	6.56	22.33	11.58	5.19
上部叶	2011	18.58 ± 2.35abA	15.60 ± 2.05aA	2.94 ± 0.58aA	1.94 ± 0.03bB	2.21 ± 0.26a	6.70 ± 2.13abA	0.69 ± 0.15a	0.84 ± 0.03aA
	2012	21.83 ± 4.02bcAB	19.28 ± 3.60abAB	2.90 ± 0.40aA	1.79 ± 0.12aA	1.99 ± 0.20a	7.74 ± 2.02bA	0.63 ± 0.10a	0.88 ± 0.02bB
	2013	24.09 ± 2.09bcAB	22.03 ± 2.05bB	3.12 ± 0.27aAB	1.95 ± 0.14bB	2.16 ± 0.30a	7.80 ± 1.19bA	0.63 ± 0.05a	0.91 ± 0.02cB
	2014	17.72 ± 5.30aA	16.14 ± 5.18aA	3.87 ± 0.99bB	2.27 ± 0.14cC	2.10 ± 0.31a	5.27 ± 3.21aA	0.62 ± 0.19a	0.90 ± 0.03bcB
	CV/%	14.34	16.37	14.09	10.17	4.48	17.23	4.98	3.51

1) 相同部位、同列数据后凡具有一个相同大、小写字母者,分别表示在0.01、0.05水平差异不显著(LSD法)。

中、上部叶总烟碱含量在前3年保持稳定,而在2014年显著增加;与前3年比较,2014年中部叶总烟碱含量分别增加了0.77%、1.19%和0.72%,上部叶则分别增加0.93%、0.97%和0.75%;2012年中、上部叶总氮含量最低,极显著低于其他年份( $P < 0.01$ ),而2011和2013年间差异不显著;中、上部叶钾离子含量在各年份间无显著差异(表4)。

2012年中部叶总糖/总烟碱显著高于2011年,而2013—2014年呈下降趋势;2011—2013年上部叶总糖/总烟碱呈增加趋势,但2014年较2013年显著

下降。中部叶总氮/总烟碱2011、2013、2014年间无显著差异,但显著低于2012年;上部叶总氮/总烟碱在各年份间无显著差异。中、上部叶还原糖/总糖在后2年显著高于前2年,表明近2年来南雄烟区原烟成熟度显著提升。

## 2.4 南雄烟区粤烟97产量构成与气象因子的相关性

烟叶产量构成与各生育期气象因子相关分析结果表明,单株产量与伸根期日照时数和4月上旬降雨量呈显著负相关( $r = -0.970^*、-0.955^*$ );单叶质量与5月下旬降雨量呈显著负相关( $r =$

$-0.986^*$ );下部叶单叶质量与4月下旬、旺长期和大田期降雨量呈显著正相关( $r=0.968^*, 0.971^*, 0.979^*$ ),与成熟期气温呈极显著正相关( $r=0.999^{**}$ ),与3月中旬降雨量呈显著负相关( $r=-0.956^*$ );中部叶单叶质量与4月上旬降雨量呈显著正相关( $r=0.979^*$ ),与5月中旬降雨量呈显著负相关( $r=-0.989^*$ );上部叶单叶质量与5月中、下旬日照时数呈显著正相关( $r=0.969^*, 0.979^*$ )。

下部叶产量比例与成熟期气温、旺长期降雨量呈极显著正相关( $r=0.994^{**}, 0.992^{**}$ );中部叶产量比例与伸根期降雨量呈显著正相关( $r=0.968^*$ ),与4月上旬降雨量呈极显著正相关( $r=0.994^{**}$ ),与5月中旬降雨量呈显著负相关( $r=-0.977^*$ );上部叶产量比例与成熟期气温、4月下旬降雨量、伸根期降雨量呈显著负相关( $r=-0.953^*, -0.986^*, -0.982^*$ ),与3月中旬降雨量呈显著正相关( $r=0.968^*$ )。

选择2011—2014年的3—6月12个旬、4个生育期气温、日照时数和降雨量共48个气象因子,对烤烟产量构成各因素进行逐步回归分析,建立最优线性回归模型。结果表明,依直接作用大小,引入单株产量( $y$ )线性回归模型的分别为伸根期日照时数( $x_1$ )、5月上旬气温( $x_2$ )和6月中旬气温( $x_3$ ): $y=210.635-0.346x_1-1.487x_2+2.365x_3$ ,标准回归系数( $b$ )分别为 $-0.697, -0.316, 0.203$ ;引入整株单叶质量( $y$ )的分别为5月下旬降雨量( $x_1$ )、4月上旬降雨量( $x_2$ )和伸根期气温( $x_3$ ): $y=12.045-0.005x_1-0.001x_2-0.004x_3$ , $b$ 分别为 $-1.031, -0.143, -0.041$ ;引入下部叶单叶质量( $y$ )的分别为成熟期气温( $x_1$ )、3月中旬日照时数( $x_2$ )和3月中旬气温( $x_3$ ): $y=-66.437+2.817x_1+0.007x_2-0.008x_3$ , $b$ 分别为 $1.006, 0.060, -0.015$ ;引入中部叶单叶质量( $y$ )的分别为5月中旬降雨量( $x_1$ )、6月中旬降雨量( $x_2$ )和3月中旬降雨量( $x_3$ ): $y=13.574-0.019x_1+0.009x_2+0.466x_3$ , $b$ 分别为 $-0.821, 0.181, 0.113$ ;引入上部叶单叶质量( $y$ )的分别为5月下旬( $x_1$ )、6月下旬( $x_2$ )和3月下旬日照时数( $x_3$ ): $y=16.869+0.060x_1-0.018x_2-0.009x_3$ , $b$ 分别为 $0.998, -0.336, -0.194$ 。

各部位产量比例的线性回归模型分析表明,依直接作用大小,引入下部叶产量比例( $y$ )的分别为旺长期降雨量( $x_1$ )、成熟期气温( $x_2$ )和5月下旬降雨量( $x_3$ ): $y=-121.817+0.044x_1+5.408x_2+0.015x_3$ , $b$ 分别为 $0.700, 0.344, 0.062$ ;引入中部叶产量比例( $y$ )的分别为4月上旬( $x_1$ )、5月下旬( $x_2$ )

和5月中旬降雨量( $x_3$ ): $y=22.691+0.133x_1+0.188x_2-0.005x_3$ , $b$ 分别为 $1.001, 0.109, -0.040$ ;上部叶产量比例( $y$ )的为4月下旬降雨量( $x$ ): $y=65.981-0.203x$ , $b$ 为 $-8.279$ 。

## 2.5 南雄烟区烤烟粤烟97化学成分与气象因子的相关性

中部叶总糖、还原糖及总氮含量与气温相关性达显著水平,其中总糖含量与4月中旬气温呈显著负相关( $r=-0.963^*$ );还原糖含量与3月中旬气温呈显著正相关( $r=0.971^*$ ),而与6月中旬气温呈极显著负相关( $r=-0.998^{**}$ );总氮含量与5月上旬气温呈显著负相关( $r=-0.976^*$ )。上部叶还原糖和钾离子含量、总糖/总烟碱、总氮/总烟碱、还原糖/总糖与气温间相关性均达显著水平,其中还原糖含量与3月中旬气温呈显著正相关( $r=0.981^*$ );钾离子含量与成熟期气温呈显著负相关( $r=-0.958^*$ );总糖/总烟碱与4月中旬气温呈显著负相关( $r=-0.955^*$ );总氮/总烟碱与3月下旬、5月中旬和大田期的气温呈显著或极显著的负相关( $r=-0.997^{**}, -0.951^*, -0.964^*$ ),与6月上旬气温显著正相关( $r=0.969^*$ );还原糖/总糖与4月下旬气温呈显著负相关( $r=-0.971^*$ ),与5月下旬气温呈极显著正相关( $r=0.999^{**}$ )。

中部叶总糖、还原糖和钾离子含量与日照时数相关性达显著水平,其中总糖含量与3月上、中旬及伸根期日照时数呈显著正相关( $r=0.955^*, 0.972^*$ 和 $0.978^*$ );还原糖含量与伸根期日照时数呈显著正相关( $r=0.970^*$ );钾离子含量与4月中旬日照时数负相关( $r=-0.968^*$ ),与5月上旬日照时数极显著正相关( $r=0.995^{**}$ )。上部叶总糖、还原糖和钾离子含量、总氮/总烟碱和还原糖/总糖与日照时数间相关关系达显著水平,其中总糖和还原糖含量与伸根期日照时数显著、极显著正相关( $r=0.981^*, 0.997^{**}$ );钾离子含量与5月上旬日照时数显著负相关( $r=-0.970^*$ ),与5月下旬日照时数显著正相关( $r=0.968^*$ );4月下旬日照时数与总氮/总烟碱显著正相关( $r=0.954^*$ ),与还原糖/总糖极显著负相关( $r=-0.991^{**}$ )。

降雨量显著影响中部叶总烟碱、总氮、钾离子含量及总氮/总烟碱和还原糖/总糖,其中5月下旬降雨量与中部叶总烟碱和总氮含量显著正相关( $r=0.950^*, 0.972^*$ );钾离子含量与3月上旬、6月中下旬和大田期降雨量显著或极显著正相关( $r=0.964^*, 0.999^{**}, 0.993^{**}$ 和 $0.986^*$ );5月下旬降雨量与总氮/总烟碱显著负相关( $r=-0.967^*$ );还原

糖/总糖与3月下旬降雨量呈显著正相关( $r = 0.953^*$ ),与6月上旬降雨量呈极显著正相关( $r = 0.992^{**}$ )。上部叶还原糖、钾离子含量以及还原糖/总糖与降雨量显著相关,其中还原糖含量与5月中旬降雨量负相关( $r = -0.967^*$ );钾离子含量与6月中旬和大田期降雨量显著负相关( $r = -0.988^*$ 、 $-0.982^*$ ),与6月下旬降雨量极显著负相关( $r = -0.998^{**}$ );5月上旬降雨量与上部叶还原糖/总糖负相关( $r = -0.981^*$ )。

大田各生育期气象因子对中部叶各化学成分逐步回归分析,建立最优线性回归模型。依直接作用大小,引入总糖含量( $y$ )线性回归模型的分别为伸根期日照时数( $x_1$ )、4月中旬气温( $x_2$ )和3月中旬气温( $x_3$ ): $y = 36.592 + 0.091x_1 - 0.660x_2 - 0.226x_3$ , $b$ 分别为0.866、-0.359和-0.210;引入还原糖含量( $y$ )的分别为6月中旬气温( $x_1$ )、3月上旬降雨量( $x_2$ )和4月中旬日照时数( $x_3$ ): $y = 106.102 - 2.967x_1 + 0.002x_2 - 0.003x_3$ , $b$ 分别为-1.016、0.054和-0.016;引入总烟碱含量( $y$ )的分别为5月下旬降雨量( $x_1$ )、6月上旬日照时数( $x_2$ )和6月下旬气温( $x_3$ ): $y = 4.156 + 0.017x_1 - 0.011x_2 - 0.082x_3$ , $b$ 分别为0.979、-0.227和-0.125;引入总氮含量( $y$ )的分别为5月上旬气温( $x_1$ )、5月中旬日照时数( $x_2$ )和5月上旬日照时数( $x_3$ ): $y = 2.931 - 0.049x_1 - 0.002x_2 - 0.001x_3$ , $b$ 分别为-0.956、-0.280和-0.124;引入钾离子含量( $y$ )的分别为6月中旬降雨量( $x_1$ )、3月下旬日照时数( $x_2$ )和旺长期降雨量( $x_3$ ): $y = 2.048 + 0.008x_1 - 0.0007x_2 + 0.000003x_3$ , $b$ 分别为1.084、-0.093和0.002;引入总氮/总烟碱( $y$ )的分别为5月下旬降雨量( $x_1$ )、大田期日照时数( $x_2$ )及6月下旬气温( $x_3$ ): $y = 0.621 - 0.003x_1 + 0.0004x_2 + 0.007x_3$ , $b$ 为-1.010、0.217和0.055;引入还原糖/总糖( $y$ )的分别为5月中旬降雨量( $x_1$ )、6月上旬降雨量( $x_2$ )及6月下旬日照时数( $x_3$ ): $y = 0.797 + 0.0002x_1 + 0.001x_2 - 0.00001x_3$ , $b$ 分别为0.175、1.114和-0.005。

上部叶总糖、还原糖和钾离子含量,总糖/总烟碱、总氮/总烟碱、还原糖/总糖与不同生育期气象因子可建立线性回归模型。依直接作用大小,引入还原糖含量( $y$ )线性回归模型分别为伸根期日照时数( $x_1$ )、5月下旬日照时数( $x_2$ )和4月上旬气温( $x_3$ ): $y = 6.926 + 0.120x_1 - 0.013x_2 + 0.019x_3$ , $b$ 分别为1.009、-0.070和0.008;引入钾离子含量( $y$ )的分别为6月下旬降雨量( $x_1$ )、旺长期日照时数( $x_2$ )和6月下旬日照时数( $x_3$ ): $y = 2.186 - 0.009x_1 + 0.0004x_2 + 0.007x_3$ , $b$ 分别为-0.890、0.121和0.013;引入总糖/总烟碱( $y$ )的分别为4月中旬( $x_1$ )、上旬( $x_2$ )和6月下旬气温( $x_3$ ): $y = 14.115 - 1.580x_1 + 1.1050x_2 + 0.280x_3$ , $b$ 分别为-1.908、1.114和0.185;引入总氮/总烟碱( $y$ )的分别为3月下旬( $x_1$ )、5月上旬气温( $x_2$ )和旺长期日照时数( $x_3$ ): $y = 0.906 - 0.013x_1 - 0.001x_2 - 0.001x_3$ , $b$ 分别为-1.059、-0.116、-0.082;引入还原糖/总糖( $y$ )的分别为5月下旬气温( $x_1$ )、以及3月上旬( $x_2$ )、成熟期日照时数( $x_3$ ): $y = 0.423 + 0.018x_1 + 0.00006x_2 - 0.00002x_3$ , $b$ 分别为0.970、0.060、-0.014;引入总糖含量( $y$ )的仅有伸根期日照时数( $x$ )1个气象因子: $y = 9.413 + 0.115x$ , $b$ 为0.981。

+0.00007 $x_3$ , $b$ 分别为-0.890、0.121和0.013;引入总糖/总烟碱( $y$ )的分别为4月中旬( $x_1$ )、上旬( $x_2$ )和6月下旬气温( $x_3$ ): $y = 14.115 - 1.580x_1 + 1.1050x_2 + 0.280x_3$ , $b$ 分别为-1.908、1.114和0.185;引入总氮/总烟碱( $y$ )的分别为3月下旬( $x_1$ )、5月上旬气温( $x_2$ )和旺长期日照时数( $x_3$ ): $y = 0.906 - 0.013x_1 - 0.001x_2 - 0.001x_3$ , $b$ 分别为-1.059、-0.116、-0.082;引入还原糖/总糖( $y$ )的分别为5月下旬气温( $x_1$ )、以及3月上旬( $x_2$ )、成熟期日照时数( $x_3$ ): $y = 0.423 + 0.018x_1 + 0.00006x_2 - 0.00002x_3$ , $b$ 分别为0.970、0.060、-0.014;引入总糖含量( $y$ )的仅有伸根期日照时数( $x$ )1个气象因子: $y = 9.413 + 0.115x$ , $b$ 为0.981。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 南雄烟区气象因子对烤烟产量构成的影响

与国外优质烟区相比,广东南雄烟区烤烟大田生育期平均气温(21.62℃),略高于巴西(18.8℃)和津巴布韦(20.7℃),略低于美国(22.0℃);整个大田期日照时数(414.6 h)比美国(1104.0 h)、津巴布韦(768.0 h)和巴西(696.0 h)分别少689.4、353.4和281.4 h<sup>[24]</sup>,且略低于国内优质烤烟生产对大田期(500~700 h)和成熟期(280~300 h)日照时数的要求<sup>[25]</sup>;整个大田期降雨量(813.6 mm)明显高于美国(593.5 mm)、巴西(657.0 mm)和津巴布韦(689.4 mm)<sup>[24]</sup>。

南雄烟区气候条件总体上适宜优质烤烟生产<sup>[14]</sup>,但大田生育前期气温相对较低,后期相对较高,日照时数相对偏少,降雨量相对偏多且分布不均匀。伸根期较低的气温、偏少的日照和较多的降雨,极易导致烟株根系发育不良,叶片同化有机物量相应减少,表现为该期烟株生长缓慢,生育期相对偏长,不能“早生快发”。伸根期低温诱导,烟株易“早花”,表现为旺长期偏短,烟叶干物质积累不足。成熟期较高的气温和偏多的降雨,再加上前期较少的干物质积累基础,易导致烟叶田间耐熟性差,表现为成熟期田间鲜烟“吊不住”;成熟期降雨量和日照时数年度间差异大,成熟期往往遭遇高温强光或多雨寡日照天气,易出现“高温逼熟”或“多雨涝烘”现象,导致原烟质量风格特色的稳定性下降。

烟株生长发育过程中不同阶段和不同叶位光、温、水、热效应不同,最终影响到烟叶的产量及构成、烟叶质量<sup>[26~28]</sup>。本研究结果表明,南雄烟区近4年原烟单叶质量和单株产量保持稳定,分别为11.50~11.90和195.00~220.00 g,但各部位产量比例年度

间变异较大,这可能与大田烟株不同生长发育阶段气候条件年度间变异较大有关。相关及多元线性逐步回归分析结果显示,影响广东南雄烟区原烟产量及构成的气候因素主要是降雨量、其次为日照时数和气温,其中单株产量、整株单叶质量、中部叶单叶质量及上部叶产量比例的主导气候因子分别是伸根期日照时数、5月下旬降雨量、5月中旬降雨量和4月下旬降雨量,且均为负效应;上、下部叶单叶质量及下、中部叶产量比例的主导气候因子分别是成熟期气温、5月下旬日照时数、旺长期及4月上旬降雨量,且均为正效应。

### 3.2 南雄烟区气象因子对烤烟烟叶主要化学成分的影响

不同的烟区,气候条件对烟叶化学成分的影响程度不尽相同<sup>[17]</sup>。研究表明,在贵州烟区,7月份的日照时数与中、上部烟叶的总糖、还原糖、淀粉、钾含量呈正相关,与烟碱、总氮含量呈负相关;7月份的降雨量与烟叶的总糖、还原糖、烟碱和氯含量呈负相关,与钾含量呈正相关;7月份的气温与上、下部烟叶总氮含量呈正相关,与下部烟叶总糖、还原糖含量和上、下部烟叶蛋白质含量呈负相关<sup>[29-30]</sup>。河南、湖南浓香型烟区较强的太阳辐射、较长的日照时数和较适宜的降雨量可能是该区域烟叶香气质好、香气量足、吃味醇厚、浓香型风格突出的主要生态学外因<sup>[1, 31]</sup>。研究表明,南雄烟区烤烟中部叶总糖含量与3月上、中旬及伸根期日照时数呈显著正相关;还原糖含量与伸根期的日照时数呈显著正相关;钾离子含量与4月中旬日照时数呈显著负相关,与5月上旬日照时数呈极显著正相关,表明中部烟叶品质与光照显著正相关,而3—5月份是中部烟叶生长发育的关键时期,该时期光照对中部烟叶的化学成分有重要影响。而上部叶总糖和还原糖含量与伸根期日照时数分别呈显著或极显著正相关;钾离子含量与5月上旬日照时数呈显著负相关,与5月下旬日照时数呈显著正相关;4月下旬日照时数与总氮/总烟碱呈显著正相关,与还原糖/总糖呈极显著负相关,表明在上部烟叶化学成分形成过程中受光照影响较大,因此在烤烟种植过程中可以考虑通过移栽期调整不同部位烟叶的生长发育,进而调控不同部位烟叶化学成分的目的。

湖南浓香型产区烟叶质量风格特色与气象因素分析表明:在一定范围内,减少旺长期降雨量和昼夜温差,提高伸根期、旺长期平均气温和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温,有利于优质烟叶品质的形成<sup>[32-34]</sup>;谢晓斌等<sup>[16]</sup>分析了广东南雄烟区生态条件后认为,南雄烟区全

生育期较高的有效积温和成熟期高温、强光照可能是南雄烟叶浓香型风格特色形成的有利气象条件。本研究结果显示,中部叶总糖含量与4月中旬的气温呈显著负相关;中部叶、上部叶还原糖含量与3月中旬气温呈显著正相关,而中部叶还原糖含量与6月中旬气温呈极显著负相关;总氮含量与5月上旬气温呈显著负相关;上部叶钾离子含量与成熟期气温呈显著负相关;上部叶总糖/总烟碱与4月中旬气温呈显著负相关;上部叶总氮/总烟碱与5月中旬气温呈显著负相关,与3月下旬气温呈极显著负相关,与6月上旬气温呈显著负相关;还原糖/总糖与4月下旬气温呈显著负相关,与5月下旬气温极显著负相关。

刘春奎<sup>[35]</sup>和时鹏等<sup>[36]</sup>在湖北恩施烟区研究结果表明:在一定范围内,降雨量、日照时数和积温的增加有利于烟叶中总糖的积累,但不利于含氮化合物的积累;在一定范围内,降雨量的增多会增加烟叶中氯的含量,但是不利于钾离子积累。本研究结果显示,5月下旬降雨量与中部叶总烟碱或总氮含量呈显著正相关;钾离子含量与3月上旬或大田期降雨量呈显著正相关,与6月中、下旬降雨量呈极显著正相关;5月下旬降雨量与总氮/总烟碱呈显著负相关;还原糖/总糖与3月下旬降雨量呈显著正相关,与6月上旬降雨量呈极显著正相关。上部叶还原糖含量与5月中旬降雨量显著呈负相关;钾离子含量与6月中、下旬或大田期降雨量呈显著或极显著负相关;还原糖/总糖与5月上旬降雨量呈显著负相关。

### 参考文献:

- [1] 许自成,刘国顺,刘金海,等.铜山烟区生态因素和烟叶质量特点[J].生态学报,2005,25(7):1748-1753.
- [2] 张永安,王瑞强,杨述元,等.生态因子与烤烟中性挥发性香气物质的关系研究[J].安徽农业科学,2006,34(18):4652-4654.
- [3] 陈爱国,王树声,申国明,等.鲁东南烟区气象生态因子与烤烟成熟期内在成分的关系研究[C]//中国烟草学会.中国烟草学会2006年学术年会论文集.北京:中国烟草学会,2007.
- [4] 周翔.山东烟区生态因子与烟叶品质的关系[D].北京:中国农业科学院,2008.
- [5] 易建华,彭新辉,邓小华,等.气象和土壤及其互作对湖南烤烟还原糖、烟碱和总氮含量的影响[J].生态学报,2010,30(16):4467-4475.
- [6] 邓小华,谢鹏飞,彭新辉,等.土壤和气象及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响[J].应用生态学报,2010,21(8):2063-2071.
- [7] 黄中艳,王树会,朱勇,等.云南烤烟5项化学成分含量

- 与其环境生态要素的关系[J].中国农业气象,2007,28(3):312-317.
- [8] 邓建华,李向阳,逢涛,等.云南烤烟化学品质的气象生态基础分析[J].西南农业学报,2011,24(2):513-518.
- [9] 张广普.烟叶香味物质含量的生态差异及其气象因子响应分析[D].郑州:河南农业大学,2013.
- [10] 于建军,邵惠芳,刘艳芳,等.四川凉山烤烟叶片巨豆三烯酮含量与生态因子的关系[J].生态学报,2009,29(4):1668-1674.
- [11] 丁根胜,王允白,陈朝阳,等.南平烟区主要气象因子与烟叶化学成分的关系[J].中国烟草科学,2009(4):26-30.
- [12] 时鹏,申国明,向德恩,等.恩施烟区主要气象因子与烤烟烟叶化学成分的关系[J].中国烟草科学,2012,33(4):13-16.
- [13] 戴冕.我国主产烟区若干气象因素与烟叶化学成分关系的研究[J].中国烟草学报,2000,6(1):27-34.
- [14] 王彦亭,谢剑平,李志宏.中国烟草种植区划[M].北京:科学出版社,2010,74-135.
- [15] 张小全,王军,陈永明,等.广东南雄烟区主要气象因素与烤烟品质特点分析[J].西北农业学报,2011,20(3):75-80.
- [16] 谢晓斌,陈永明,王军,等.南雄烟区生态条件分析[J].中国烟草科学,2014,35(4):75-78.
- [17] 陈伟,王三根,唐远驹,等.不同烟区烤烟化学成分的主导气象影响因子分析[J].植物营养与肥料学报,2008,14(1):144-150.
- [18] 国家烟草专卖局.烟草农艺性状调查测量方法:YC/T 142-2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [19] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品:水溶性糖的测定:连续流动法:YC/T 159—2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [20] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品:总氮的测定:连续流动法:YC/T 161—2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [21] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品:总植物碱的测定:连续流动法:YC/T 160—2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [22] 国家烟草专卖局.烟草及烟草制品:钾的测定:火焰光度法:YC/T 173—2003.[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [23] 杜家菊,陈志伟.使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J].生物学通报,2010,45(2):4-6.
- [24] 龙怀玉,刘建利,徐爱国,等.我国部分烟区与国际优质烟区烤烟大田期间某些气象条件的比较[J].中国烟草学报,2003,增刊(3):41-47.
- [25] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:61-62.
- [26] 向德恩,时鹏,申国明,等.不同移栽期对恩施烤烟产量和质量的影响[J].中国烟草科学,2011,32(S1):57-62.
- [27] 陈茂建,胡小曼,杨焕文,等.烤烟新品种PVH19的种植密度产质量效应[J].中国农学通报,2011,27(9):261-264.
- [28] 顾学文,王军,谢玉华,等.种植密度与移栽期对烤烟生长发育和品质的影响[J].中国农学通报,2012,28(22):258-264.
- [29] 陈懿,潘文杰,李章海,等.气候与土壤因子对烟叶特征物质的影响[J].中国烟草科学,2011,32(6):12-16.
- [30] 石俊雄,陈雪,雷璐.生态环境对贵州烟叶主要化学成份影响初探[C]//中国烟草学会第5届理事会第2次会议暨2005年学术年会论文集.南宁,2005.
- [31] 李良勇,谢鹏飞,刘峰,等.湖南浏阳烟区气候土壤因素和烟叶质量特点[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(5):497-501.
- [32] 张国,朱列书,王奎武,等.湖南烤烟质量与气候因子的关系研究[J].作物研究,2005,(4):226-230.
- [33] 戴杏华.湖南不同生态区烤烟烟叶品质研究[D].长沙:湖南农业大学,2008.
- [34] 黎妍妍,许自成,王金平,肖汉乾.湖南烟区气候因素分析及对烟叶化学成分的影响[J].中国农业气象,2007,28(3):308-311.
- [35] 刘春奎.湖北恩施烟区气象因素和烤烟质量综合评价[D].郑州:河南农业大学,2008.
- [36] 时鹏,申国明,向德恩,等.恩施烟区主要气象因子与烤烟烟叶化学成分的关系[J].中国烟草科学,2012,33(4):13-16.

【责任编辑 庄延,周志红】