

土壤-气候和烟草品种及其 互作对云南昭通烟叶化学品质的影响^①

黄爱缨¹, 木志坚², 蒋珍茂², 黄 韡³,
查宏波³, 倪 霞³, 王 强², 魏世强²

1. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400716; 2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716;
3. 云南省烟草公司昭通市公司, 云南 昭通 657000

摘要: 在云南昭通10个植烟生态区进行田间试验, 以探讨土壤-气候、烟草品种及其互作对烟叶14个化学品质指标的影响. 与优质烟叶的最佳范围相比, 昭通烟叶钾、氯含量和氮碱比略低, 总糖及其与还原糖之差偏高, 其它指标较为适宜; 土壤-气候、烟草品种及其互作和烟叶等级对烟叶化学品质的综合影响程度不同, 它们对烟叶14个化学指标总变异的贡献率分别为48.0%, 10.3%, 19.7%, 22.0%, 土壤-气候对烟叶化学品质的影响最大, 烟草品种的影响最小. 在土壤和气候因素中, 土壤对烟叶总氮、蛋白质、淀粉、总糖、还原糖含量和糖氮比具有主导作用; 气候对烟叶氮碱比和钾氯比具有主导作用; 其它指标如烟叶钾、氯、烟碱、多酚、石油醚提取物含量和糖碱比则受土壤和气候双重因素制约. 值得一提的是, 降雨频率是一个重要的气象因素, 它对烟叶钾、氯、烟碱含量和糖碱比、氮碱比、钾氯比具有重要的调控作用.

关键词: 土壤; 气候; 烟草品种; 交互作用; 化学品质

中图分类号: S572

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2014)10-0055-09

化学成分含量及相互间的协调性是决定烟叶品质的内在要素, 也是设计卷烟配方的重要依据^[1]. 烟草对化学元素的吸收和积累与土壤性质有着密切的联系, 并受到品种、耕作栽培措施、施肥活动和气候等因素的综合作用^[2-3]. 分析不同烟区的土壤生态环境条件与烟叶化学成分含量的关系, 对烟叶产区科学择优布局、因地制宜采用烟叶生产技术措施、提高烟叶品质具有现实意义. 目前关于烟叶化学品质的研究多侧重于不同烟草品种间的差异以及化学成分与单个环境因子(气候或土壤)的关系^[4-7], 但对土壤-气候条件、品种及其互作对烤烟化学品质的影响强弱以及气候和土壤因素中哪些是主要影响因子等问题尚缺乏深入研究^[2-3]. 昭通烟区是云南主要烟叶产区之一, 目前年产烟叶约5 000万 kg. 本研究试图通过对昭通市10个典型植烟生态区土壤、气象和烟叶化学成分含量的调查分析, 探讨土壤-气候、烟草品种及其交互作用对烟叶化学品质指标的影响, 以为该烟区特色烟叶的开发和烟叶品质的提升提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 田间试验方法

在昭通市选择10个具有典型局地土壤-气候特征的微生态区即村社的土地连片、肥力中等的地块,

^① 收稿日期: 2013-09-16

基金项目: 云南省烟草专卖局(公司)资助项目“昭通烟叶品质与自然生态相关性研究”(2010YN24, 西南大学 ZY2010-115); 国家科技支撑计划课题“西南山地农区农业面源污染防控技术研究示范”(2012BAD15B04-003).

作者简介: 黄爱缨(1969-), 女, 四川成都人, 博士, 副教授, 主要从事植物生理生化的研究.

于 2011 年进行田间布点试验. 这 10 个试验点分布在 7 个传统种烟区县(表 1). 在每个试验点建立 1 个自动气象站, 以 10 min 间隔记录主要气象观测值. 各试验点 2011 年烟草大田生长期的主要气象观测值见表 1. 试验地土壤类型除巧家县白鹤滩镇法土村为紫色土、彝良县海子乡瓦厂村为红壤外, 其它皆为黄壤. 供试烤烟品种有 8 个, 即云烟 87, 云烟 97, 红花大金元, KRK26, K326, 云烟 203, PVH19, 云烟 99. 每个品种种植 0.3~0.4 hm², 不设重复. 其中, 红花大金元, KRK26, K326 和云烟 203 在威信县没有种植, PVH19 在大关县没有种植, 因此整个研究的试验地有 75 块. 烟苗的育苗方式全部为漂浮育苗, 移栽期为 5 月上旬至中旬, 移栽规格为行距 110~120 cm, 株距 50~60 cm. 基肥采用专用复合肥(N:P₂O₅:K₂O 为 10:14:24), 定位环形施肥, 施用量为 600~825 kg/hm². 追肥期在 5 月下旬至 6 月中旬, 施用硝酸钾(N:K₂O 为 14:47)225~300 kg/hm². 其它栽培管理措施按照当地烤烟栽培技术规范统一操作.

表 1 试验点的地理位置以及烟草大田生长期的气象要素值

试验点	经度	纬度	海拔 /m	降雨频率 /%	降雨量 /mm	日均温 /℃	昼夜温差 /℃	总日照时数 /h	总辐射 /(W·m ⁻²)
昭阳区布嘎乡	103°43′	27°14′	1 983	42	317	18.5	5.2	1 071	765 374
鲁甸县桃源乡	103°37′	27°09′	1 965	40	360	18.5	5.6	1 137	756 276
鲁甸县龙头山乡	103°23′	27°05′	1 630	35	335	21.5	4.3	1 193	786 950
巧家县白鹤滩镇	102°57′	26°57′	1 699	42	823	21.2	2.9	1 108	749 518
镇雄县赤水源乡	104°47′	27°28′	1 610	51	620	18.7	6.2	936	690 135
镇雄县堰塘乡	105°13′	27°36′	1 434	46	545	20.6	4.1	910	718 226
彝良县龙街乡	104°03′	27°21′	1 788	47	392	19.3	5.3	997	720 897
彝良县海子乡	104°17′	27°35′	1 527	41	295	20.5	5.2	1 056	696 118
威信县林凤乡	104°49′	27°52′	1 331	57	652	19.9	4.4	887	796 284
大关县翠华镇	103°52′	27°49′	1 333	45	480	20.8	3.7	815	672 413

1.2 烟叶取样及分析测定项目

在 8 月初至 9 月底烟叶成熟期间, 每个品种按试验点取上、中、下部位烟样各 5 kg. 选取当地所产烟叶数量最大的色组取样, 即烟叶质量以橘黄色为主的分别取 B2F,C3F,X2F 3 个等级, 共取烟叶样品 225 个. 收集的烟叶烤后粉碎制成样品, 按中国烟草种植区划研究^[8]中采用的分析方法测定总氮、钾、氯、蛋白质、烟碱、淀粉、总糖、还原糖、多酚和石油醚提取物(以下简称醚提取物)等化学成分的含量, 并计算还原糖与总氮或烟碱之比、总氮与烟碱之比以及钾氯比.

1.3 土壤取样及分析测定项目

于 7 月烟叶现蕾至封顶期间, 在每个品种种植地块内, 通过蛇形取样法在垄上植株附近采集表层(0~25 cm)土壤, 取样时尽量避开施肥位点, 多点土样(5~10 个点)均匀混合、四分法反复取舍至剩下 2 kg, 自然风干. 共采集 75 个土样. 样品用玛瑙研钵磨碎过筛后, 依照《土壤农业化学分析法》^[9]中的方法测定 pH 值、有机质、全氮、速效氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、水溶性氯、交换性钙、交换性镁、有效硼、有效钼、有效铜、有效锌等指标.

1.4 数据统计分析

本试验涉及土壤-气候、烟草品种和等级 3 个因素, 其中土壤-气候有 10 个水平(试验点)、品种有 8 个水平、等级有 3 个水平. 由于部分品种在有些试验点没有种植, 测试烟叶是采自同一品种的上、中、下部位, 因此试验数据具有非平衡性和重复性. 据此, 采用 SAS 9.3 for Windows 统计软件包的混合模型(Mixed model)程序进行重复测量方差分析(Repeated Measures Analysis of Variance), 以检验试验因素的效应是否显著, 并利用 Fisher LSD 法进行多重比较分析. 在重复测量方差分析时, 将土壤-气候和烟草品种作为分组因素、烟叶等级作为重复测量因素. 另外, 引入偏 Eta 平方值(η^2_{partial})比较试验因素及其互作对烟叶各化学成分变异的贡献率大小^[10]. 当 $\eta^2_{\text{partial}} < 0.06$ 时表示弱影响效应, $0.06 < \eta^2_{\text{partial}} < 0.16$ 时为中度效应, $\eta^2_{\text{partial}} > 0.16$ 时为强效应^[2]. 在因素效应显著性检验的基础上, 采用逐步回归法进一步筛分影响烟叶化学品质指标的主要土壤和气象因子. 为保证数据独立性的要求, 对同一试验点同一品种不同等级烟叶的化学指标取算术平均后再进行回归分析, 以显著性水平 $p=0.05$ 作为自变量取舍的临界值.

2 结果分析

2.1 烟叶化学品质指标的基本统计量分析

同一个品质指标, 在不同土壤-气候条件下的烟叶中含量变化较大(表 2), 但在不同品种和不同等级的烟叶中变化较小(表 3, 表 4)。总糖和还原糖含量在不同土壤气候、烟草品种和烟叶等级下的变异系数都小于 10%, 属弱变异性。相反, 烟碱、淀粉含量和糖碱比、氮碱比、钾氯比在不同土壤气候、烟草品种和烟叶等级下均呈中等变异强度。其余的 7 个指标在不同土壤气候条件下也呈中等变异强度, 但在不同烟草品种和烟叶等级下的变异性则有所不同。氯、多酚和石油醚提取物的含量在不同烟草品种和烟叶等级下均呈弱变异性。总氮、钾、蛋白质含量和糖氮比在不同烟草品种下也呈弱变异性, 但在不同烟叶等级下则呈中等变异强度。多重比较分析表明, 烟叶总糖的平均含量在不同试验点、品种或等级间均无显著性差异, 氯含量在不同品种或等级间无显著性差异, 钾、蛋白质、淀粉、还原糖含量和钾氯比在不同品种间均无显著性差异, 其它化学指标在试验点、品种或等级间则存在不同程度的差异性(表 2 至表 4)。

表 2 不同土壤-气候条件下烟叶化学指标的基本统计量

化学指标	昭阳区 布嘎乡	鲁甸县 桃源乡	鲁甸县 龙头山乡	巧家县 白鹤滩镇	镇雄县 赤水源乡	镇雄县 堰塘乡	彝良县 龙街乡	彝良县 海子乡	威信县 林凤乡	大关县 翠华镇	平均值	变异系数 /%
样本数	24	24	24	24	24	24	24	24	12	21		
总氮/%	1.95b	2.22cd	2.05bcd	1.83b	2.04bc	2.24d	1.49a	2.21cd	2.02bc	2.17cd	2.02	11.3
钾/%	1.35ab	1.39ab	1.07a	1.59bc	2.26d	1.88cd	1.25ab	1.89cd	1.90cd	1.54bc	1.61	22.7
氯/%	0.22cd	0.39e	0.28d	0.14ab	0.07a	0.18bc	0.20bcd	0.21bcd	0.10a	0.15ab	0.19	47.4
蛋白质/%	5.19bc	5.76cde	5.14bc	4.58ab	5.21cd	6.23e	4.01a	5.84de	5.76cde	5.58cde	5.33	12.3
烟碱/%	3.06bc	3.40cd	3.91e	2.68ab	3.36cd	3.71de	2.35a	3.16bc	2.34a	3.55de	3.15	17.3
淀粉/%	2.80ab	3.45bc	4.04c	2.76ab	2.51ab	4.07c	1.71a	3.32bc	3.58bc	2.46ab	3.07	24.6
总糖/%	32.1a	31.8a	30.6a	32.2a	30.6a	31.2a	33.0a	31.9a	30.2a	31.8a	31.5	2.76
还原糖/%	22.1ab	21.8ab	21.5ab	23.3bc	22.3ab	21.3ab	24.6c	21.1a	22.0ab	22.2ab	22.2	4.67
多酚/%	4.31b	6.93d	6.24d	4.80bc	4.96bc	1.36a	5.10bc	5.36c	1.50a	4.32b	4.49	40.2
醚提取物/%	6.01ab	7.07c	8.83d	6.02ab	6.66bc	8.29d	5.82a	8.37d	6.32ab	7.81d	7.12	15.8
糖氮比	11.7ab	10.1a	10.8a	13.4b	11.4a	9.88a	17.0c	9.87a	11.0a	10.5a	11.6	18.9
糖碱比	8.15bc	7.07ab	5.71a	9.60cd	7.38ab	6.53ab	11.5d	7.06ab	11.2d	6.44ab	8.06	25.1
氮碱比	0.69b	0.69b	0.54a	0.72b	0.64ab	0.65ab	0.67ab	0.72b	1.01b	0.61ab	0.69	17.8
钾氯比	9.57bc	3.99a	4.40ab	12.7cd	36.4e	17.6d	10.4c	10.3c	20.2d	11.3c	13.7	68.9

注: 不同字母表示同一化学指标在不同土壤-气候条件下有显著差异($p<0.05$)。

表 3 不同烟草品种烟叶化学指标的基本统计量

化学指标	云烟 87	云烟 97	红花大金元	KRK26	K326	云烟 203	PVH19	云烟 99	平均值	变异系数 /%
样本数	30	30	27	27	27	27	27	30		
总氮/%	2.12b	2.03ab	1.98ab	2.02ab	2.07ab	1.98ab	2.06ab	1.88a	2.02	3.60
钾/%	1.47a	1.47a	1.54a	1.66a	1.62a	1.51a	1.74a	1.77a	1.60	7.40
氯/%	0.19a	0.17a	0.21a	0.20a	0.23a	0.26a	0.20a	0.14a	0.20	18.1
蛋白质/%	5.59a	5.29a	4.98a	4.96a	5.44a	5.12a	5.77a	5.21a	5.30	5.45
烟碱/%	3.23bc	3.20bc	3.74c	3.33bc	3.10ab	3.55bc	2.90a	2.54a	3.20	11.6
淀粉/%	3.00a	3.34a	2.83a	3.36a	2.83a	3.17a	3.44a	2.44a	3.05	11.2
总糖/%	30.9a	32.6a	31.2a	31.4a	32.4a	31.2a	30.7a	32.4a	31.6	2.37
还原糖/%	21.9a	22.8a	21.6a	22.5a	22.2a	22.3a	21.3a	23.1a	22.2	2.71
多酚/%	4.46a	4.57a	5.59b	4.77ab	4.60a	4.88ab	4.37a	4.17a	4.68	9.21
醚提取物/%	7.47b	7.10ab	7.14ab	7.53b	7.12ab	7.34ab	6.78ab	6.73a	7.15	4.09
糖氮比	11.1a	11.9ab	11.4ab	11.8ab	11.4ab	11.8ab	10.7a	12.8b	11.6	5.40
糖碱比	7.37ab	8.09b	6.19a	7.41ab	8.01b	6.63ab	7.97ab	11.4c	7.88	20.0
氮碱比	0.67ab	0.67ab	0.54a	0.64ab	0.69bc	0.58ab	0.74bc	0.87c	0.68	14.9
钾氯比	14.3a	15.8a	10.8a	14.0a	12.9a	9.90a	11.7a	16.7a	13.3	17.9

注: 不同字母表示同一化学指标在不同品种间有显著差异($p<0.05$)。

表 4 不同等级烟叶化学指标的基本统计量

化学指标	B2F	C3F	X2F	平均值	变异系数/%
样本数	75	75	75		
总氮/%	2.32c	1.95b	1.79a	2.02	13.5
钾/%	1.35a	1.59b	1.84c	1.59	15.4
氯/%	0.21a	0.18a	0.20a	0.20	7.77
蛋白质/%	5.91c	5.21b	4.78a	5.30	10.8
烟碱/%	3.83c	3.21b	2.53a	3.19	20.4
淀粉/%	2.49a	2.98a	3.67b	3.05	19.5
总糖/%	31.3a	32.3a	31.3a	31.6	1.83
还原糖/%	21.9a	22.8b	22.0ab	22.2	2.22
多酚/%	4.73b	4.97b	4.29a	4.66	7.39
醚提取物/%	7.72c	7.13b	6.60a	7.15	7.83
糖氮比	9.83a	12.4b	12.6b	11.6	13.3
糖碱比	6.14a	8.01b	9.61c	7.92	21.9
氮碱比	0.63a	0.64a	0.77b	0.68	11.5
钾氯比	10.5a	14.8b	14.8b	13.4	18.6

注：不同字母表示同一化学指标在不同烟叶等级间有显著差异($p<0.05$)。

2.2 土壤-气候和品种及其互作对烟叶品质指标的影响

将土壤-气候和烟草品种作为分组因素、烟叶等级作为重复测量因素进行方差分析，结果见表 5。烟叶总糖含量在不同土壤-气候条件下的差异不显著($p>0.08$)，相应的偏 Eta 平方值(η^2_{partial})也小于 0.06，表明土壤-气候因素对总糖含量的影响很弱。相反，其它烟叶指标在不同土壤-气候栽培条件下差异均显著($p<0.000\ 1$)，并且相应的 η^2_{partial} 均大于 0.16，所以土壤-气候对这些指标具有高度影响效应。除钾、淀粉、总糖和还原糖含量外($p>0.10$)，其它指标在不同品种间的差异均较显著($p<0.03$)。从 η^2_{partial} 值看，烟草品种对烟叶总氮、钾、淀粉、总糖、还原糖、多酚、醚提取物含量和糖氮比具有弱影响效应，对氯、蛋白质含量和钾氯比具有中度影响效应，对烟碱含量和糖碱比、氮碱比则具有高度影响效应。土壤-气候和品种的互作对烟叶总氮、氯、蛋白质、多酚、醚提取物含量和糖氮比、钾氯比的影响极显著($p<0.005$)，对烟碱、淀粉含量的影响也较显著($p<0.05$)，但对钾、总糖、还原糖含量和糖碱比、氮碱比的影响不显著($p>0.06$)。根据 η^2_{partial} 值，土壤-气候和品种互作对烟叶氯、蛋白质、多酚含量和钾氯比具有高度影响效应，对总氮、钾、烟碱、淀粉、醚提取物含量和糖氮比为中度影响效应，对总糖、还原糖含量和糖碱比、氮碱比则为弱影响效应。烟叶等级对总氮、蛋白质、烟碱和醚提取物含量和糖氮比、糖碱比具有高度影响效应，对钾、淀粉、多酚含量和氮碱比、钾氯比为中度影响效应，对氯、总糖和还原糖含量则为弱影响效应。

表 5 土壤-气候、烟草品种和烟叶等级对烟叶化学指标影响的重复测量方差分析

化学成分	变异来源	Num <i>DF</i>	Den <i>DF</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_{partial}
总氮	土壤-气候	9	147	19.89	<0.000 1	0.427
	品种	7	147	2.41	0.023 8	0.041
	等级	2	147	88.19	<0.000 1	0.433
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.68	0.006 6	0.145
钾	土壤-气候	9	147	10.07	<0.000 1	0.263
	品种	7	147	1.32	0.244 2	0.009
	等级	2	147	15.19	<0.000 1	0.111
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.38	0.063 2	0.085
氯	土壤-气候	9	147	24.18	<0.000 1	0.478
	品种	7	147	4.02	0.000 5	0.084
	等级	2	147	2.44	0.090 5	0.012
	土壤-气候和品种互作	58	147	4.11	<0.000 1	0.441

续表 5

化学成分	变异来源	Num <i>DF</i>	Den <i>DF</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2 partial
蛋白质	土壤-气候	9	147	19.19	<0.000 1	0.418
	品种	7	147	3.91	0.000 6	0.082
	等级	2	147	47.84	<0.000 1	0.291
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.86	0.001 6	0.177
烟碱	土壤-气候	9	147	16.17	<0.000 1	0.374
	品种	7	147	9.82	<0.000 1	0.213
	等级	2	147	90.08	<0.000 1	0.438
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.43	0.043 3	0.096
淀粉	土壤-气候	9	147	6.9	<0.000 1	0.188
	品种	7	147	1.67	0.121 6	0.019
	等级	2	147	13.4	<0.000 1	0.098
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.54	0.019 9	0.118
总糖	土壤-气候	9	147	1.56	0.132 8	0.021
	品种	7	147	1.62	0.134	0.018
	等级	2	147	2.46	0.088 5	0.013
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.12	0.291 9	0.026
还原糖	土壤-气候	9	147	4.37	<0.000 1	0.117
	品种	7	147	1.73	0.106 5	0.022
	等级	2	147	3.53	0.031 9	0.022
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.28	0.122	0.063
多酚	土壤-气候	9	147	66.1	<0.000 1	0.719
	品种	7	147	2.48	0.019 7	0.043
	等级	2	147	9.38	0.000 1	0.068
	土壤-气候和品种互作	58	147	3.29	<0.00 01	0.367
醚提取物	土壤-气候	9	147	39.94	<0.000 1	0.606
	品种	7	147	2.68	0.012 1	0.049
	等级	2	147	33.71	<0.000 1	0.223
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.78	0.003 1	0.163
糖氮比	土壤-气候	9	147	23.9	<0.000 1	0.475
	品种	7	147	2.63	0.013 7	0.047
	等级	2	147	38.17	<0.000 1	0.246
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.74	0.004 3	0.156
糖碱比	土壤-气候	9	147	14.07	<0.000 1	0.339
	品种	7	147	11.39	<0.000 1	0.242
	等级	2	147	40.74	<0.000 1	0.258
	土壤-气候和品种互作	58	147	1.2	0.193 5	0.045
氮碱比	土壤-气候	9	147	6.13	<0.000 1	0.168
	品种	7	147	8.37	<0.000 1	0.184
	等级	2	147	16.65	<0.000 1	0.121
	土壤-气候和品种互作	58	147	0.93	0.620 2	0.022
钾氯比	土壤-气候	9	147	54.8	<0.000 1	0.679
	品种	7	147	3.77	0.000 9	0.078
	等级	2	147	12.59	<0.000 1	0.092
	土壤-气候和品种互作	58	147	2.38	<0.000 1	0.258

将与土壤-气候、烟草品种及其互作和烟叶等级对应的各烟叶指标的 η^2_{partial} 算术平均, 其值分别为 0.377, 0.081, 0.154, 0.173, 这表明土壤-气候、品种及其互作和烟叶等级对 14 个烟叶品质指标总变异的贡献率分别为 48.0%, 10.3%, 19.7% 和 22.0%, 土壤-气候对烟叶指标的综合影响最大, 品种的影响最小, 土壤-气候与烟草品种的互作和烟叶等级的影响则介于两者之间.

2.3 影响烟叶品质指标的主要土壤和气象因子

以烟叶品质指标为因变量, 土壤基本理化性质和气象参数为解释变量, 进行逐步回归分析. 结果表明, 烟叶不同品质指标的回归模型各不相同(表 6). 换言之, 烟叶的不同品质指标与不同的土壤和气象因子有关. 烟叶总氮、蛋白质、淀粉、总糖、还原糖含量和糖氮比主要受有效铝、有效硼、全钾、交换性镁和有效氮等土壤因素的制约. 相反, 烟叶氮碱比和钾氯比主要受烟草大田生长期的降雨频率、降雨量、总日照时数、总辐射和平均昼夜温差等气象因素的影响. 其它烟叶指标包括钾、氯、烟碱、多酚、石油醚提取物含量和糖碱比则受土壤和气象因素的双重影响. 上述一个或多个土壤和气象因子组合可解释烟叶品质指标值变异的 7%~76%.

表 6 土壤-气象因子与烟叶化学指标的逐步回归分析

回 归 模 型	Model R^2	p
$C_{\text{TN}} = 2.20 - 1.25 C_{\text{SEM}_0}$	0.12	0.002
$C_{\text{TK}} = 2.46 + 0.02 C_{\text{SOM}} - 0.15 C_{\text{STP}} + 0.04 R_{\text{f}} - 3.62 \times 10^{-6} \text{ Rad}$	0.38	<0.000 1
$C_{\text{WCl}} = 1.25 + 0.000 1 C_{\text{SEMg}} - 0.01 R_{\text{f}} - 0.03 T_{\text{a}}$	0.36	<0.000 1
$C_{\text{protein}} = 4.04 + 0.03 C_{\text{STK}} + 2.82 C_{\text{SEB}}$	0.12	0.009
$C_{\text{nicot}} = 9.89 - 0.26 \text{ pH} + 0.03 C_{\text{SOM}} - 2.99 C_{\text{SEM}_0} - 0.07 R_{\text{f}} - 0.002 2 H_{\text{s}}$	0.50	<0.000 1
$C_{\text{starch}} = 1.84 + 0.001 C_{\text{SEMg}} + 3.35 C_{\text{SEB}}$	0.18	0.001
$C_{\text{Tsugar}} = 33.39 - 0.04 C_{\text{SAN}}$	0.07	0.02
$C_{\text{Rsugar}} = 21.39 + 5.79 C_{\text{SEM}_0}$	0.07	0.03
$C_{\text{phenol}} = 8.33 + 0.04 C_{\text{STK}} + 0.002 C_{\text{SEMg}} - 2.55 C_{\text{SEB}} - 0.21 C_{\text{SEZn}} + 0.01 H_{\text{s}} - 2.29 \times 10^{-5} \text{ Rad}$	0.75	<0.000 1
$C_{\text{ether}} = -16.25 + 0.07 C_{\text{SOM}} - 0.51 C_{\text{STP}} + 0.04 C_{\text{STK}} + 231 C_{\text{SCl}} - 0.004 R_{\text{f}} - 0.002 H_{\text{s}} + 1.18 T_{\text{a}} + 0.48 T_{\text{d}}$	0.71	<0.000 1
$R_{\text{S/N}} = 9.75 + 13.04 C_{\text{SEM}_0}$	0.16	0.000 5
$R_{\text{S/Nicot}} = -19.44 - 0.06 C_{\text{SOM}} + 9.56 C_{\text{SEM}_0} + 0.37 R_{\text{f}} + 0.01 H_{\text{s}}$	0.38	<0.000 1
$R_{\text{N/Nicot}} = -0.74 + 0.01 R_{\text{f}} + 1.16 \times 10^{-6} \text{ Rad}$	0.21	0.000 2
$R_{\text{K/Cl}} = 293.45 + 2.59 R_{\text{f}} + 0.05 R_{\text{t}} - 0.08 H_{\text{s}} - 8.89 \times 10^{-5} \text{ Rad} + 12.85 T_{\text{d}}$	0.76	<0.000 1

注: C_{TN} , C_{TK} , C_{WCl} , C_{protein} , C_{nicot} , C_{starch} , C_{Tsugar} , C_{Rsugar} , C_{phenol} , C_{ether} , $R_{\text{S/N}}$, $R_{\text{S/Nicot}}$, $R_{\text{N/Nicot}}$ 和 $R_{\text{K/Cl}}$ 分别表示烟叶中总氮、全钾、水溶性氯、蛋白质、烟碱、淀粉、水溶性总糖、还原糖、多酚类、石油醚提取物的含量和糖氮比、糖碱比、氮碱比、钾氯比; pH 和 C_{SOM} , C_{SAN} , C_{STP} , C_{STK} , C_{SEMg} , C_{SEZn} , C_{SEM_0} , C_{SEB} , C_{SCl} 分别表示土壤 pH 值和有机质、碱解氮、全磷、全钾、交换性镁、有效锌、有效铝、有效硼、水溶性氯的含量; T_{a} , T_{d} , R_{f} , R_{t} , H_{s} 和 Rad 分别表示烟草在大田生长期的日均温、昼夜温差、降雨频率、降雨量、总日照时数和总辐射.

3 讨 论

3.1 昭通烟区烟叶的品质评价

一般认为, 优质的烤烟其化学成分含量范围是总氮为 1.5%~3.5%^[11], 钾 $\geq 2.0\%$ ^[12], 氯为 0.3%~0.8%^[13], 蛋白质 $<10\%$ ^[14], 烟碱为 1.5%~3.5%^[15], 淀粉 $<5.0\%$ ^[11], 总糖为 20%~26%^[13], 还

原糖为 18%~22%^[13], 糖碱比为 6~10^[15], 氮碱比为 0.8~1.1^[16], 钾氯比 ≥ 4 ^[16]. 从表 2 至表 4 可看出, 昭通市烟叶的总氮、烟碱、蛋白质、淀粉、还原糖的平均含量和糖碱比、钾氯比符合优质烟叶的要求; 钾、氯的平均含量和氮碱比则略低于优质烟叶的要求; 总糖超出优质烟叶的要求范围, 并且两糖差(即总糖与还原糖之差)都高于 5%, 昭通烟区烤烟的吃味还有待提高. 多酚类化合物是影响烟叶颜色、产生烟草香气的重要成分之一. 多酚类化合物含量越高, 烟草制品等级也就越高^[5]. 烟草石油醚提取物含量越高, 其香气物质也越多, 但烟草石油醚提取物包括挥发油、油脂、蜡质、脂肪酸、类脂物、萜类、色素等复杂混合物, 其中既含有利的成分, 又有不利的成分^[17]. 文献报道的我国主要烟区烟叶中多酚类物质和石油醚提取物的含量范围分别为 1.48%~6.55%^[3, 5, 18-19]和 1.49%~10.1%^[17, 20-22], 由此可知, 昭通不同产地、烟草品种和等级的多酚类物质和石油醚提取物的含量处于中上水平(表 2 至表 4). 综上所述, 昭通烟区烟叶化学品质成分含量的分布特点可概括为低钾、氯和高糖, 其它指标如总氮、烟碱、蛋白质、淀粉、多酚和石油醚提取物则基本上在优质烟叶要求的范围内, 因此, 改善昭通烟区烟叶品质的总体方向应是增钾、氯, 控糖.

3.2 影响烟叶品质指标的因素

国内外研究发现, 烟叶化学成分与产地的土壤、气候、耕作栽培措施和烟草品种等因素有着密切的关系^[2, 3, 5, 17, 23]. 本研究也证实, 在耕作栽培措施基本一致的条件下, 土壤-气候条件对烟叶总氮、钾、氯、蛋白质、烟碱、多酚、石油醚提取物含量和糖氮比、糖碱比、氮碱比、钾氯比具有高度影响效应, 烟草品种除了对烟碱含量和糖碱比、氮碱比具有高度影响效应外, 对烟叶其它指标具有弱到中度影响效应(表 5). 土壤-气候和品种的互作效应和烟叶等级的影响程度也随品质指标而异. 相似地, 土壤-气候、品种及其互作和等级对烟叶不同品质指标的贡献率也不一样. 土壤-气候对这些指标总变异的贡献率为 48.0%, 品种为 10.3%, 土壤-气候和品种互作为 19.7%, 烟叶等级为 22.0%. 由此, 可推断昭通烟区烟叶的化学品质成分含量主要是受土壤-气候因素控制, 品种的影响相对较弱.

根据逐步回归分析结果(表 6), 可将烟叶化学品质指标分为以下 3 类: 第 1 类为土壤制约型, 包括烟叶总氮、蛋白质、淀粉、总糖、还原糖含量和糖氮比, 它们主要受土壤有效钼、有效硼、全钾、交换性镁和有效氮的影响; 第 2 类为气候制约型, 包括烟叶氮碱比和钾氯比, 主要受烟草大田生长期的降雨频率、降雨量、总日照时数、总辐射和平均昼夜温差等气象因素的影响; 第 3 类则为土壤-气候双重制约型, 包括钾、氯、烟碱、多酚、石油醚提取物含量和糖碱比. 烟叶中不同化学成分的来源和代谢途径不一样, 这可能是土壤和气候对它们的影响效应不同的原因. 影响烟叶不同化学成分含量的土壤和气象因素也各不相同(表 6). 因此, 应针对不同的化学成分, 采取不同的土壤改良或气候调控措施来调节烟叶化学成分含量. 值得一提的是, 气候因素对烟叶品质的影响一直受到重视, 并开展了许多相关的研究^[2, 23], 但很少有人考虑到烟草生长期降雨频率的影响. 本研究发现, 降雨频率与烟叶钾含量和糖碱比、氮碱比、钾氯比呈显著正相关, 而与氯和烟碱含量呈显著负相关(表 6). 这表明, 我们或许可以通过人工灌溉或叶面喷施肥料等方式模仿控制降雨频率, 从而调控相关烟叶品质指标. 另外, 必须指出的是, 本研究选取的土壤和气候因素对烟叶多酚、石油醚提取物含量和钾氯比变异的解释达到了 71%~76%, 但对其它化学指标变异的解释只有 7%~50%, 这说明还有一些对烟叶化学成分含量有重要作用的土壤与气候因素没有被考虑到, 但也可能是由于土壤不同因素之间以及土壤与气候、施肥、耕作栽培活动之间存在着复杂的交互作用, 而我们的试验设计以及数学分析手段还不足以反映这些作用. 本研究是基于对土壤和气象条件没有加以任何控制的野外大田试验, 今后可开展不同生态区间的移土植烟试验或同一生态区内控制气候的微区试验, 以深入探讨土壤和气候因素对烟叶化学品质成分的影响及其机制.

参考文献:

- [1] 李晓婷, 亚平, 何元胜, 等. 云南临沧烟区烤烟化学成分特征及空间分布 [J]. 烟草科技, 2013(1): 53—56.
- [2] 易建华, 彭新辉, 邓小华, 等. 气候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.
- [3] 丁燕芳, 杨铁钊, 李亚培, 等. 生态与品种及其互作对烤烟多酚类物质的影响 [J]. 中国烟草科学, 2013, 34(1): 17—21.
- [4] 何永秋, 刘国顺, 杨永锋, 等. 不同钾肥配施对烤烟石油醚提取物和中性致香物质的影响 [J]. 中国烟草学报, 2013, 19(1): 10—14.
- [5] 杨虹琦, 王勇, 周冀衡, 等. 不同卷烟和烟叶中主要多酚含量的差异 [J]. 中国烟草学报, 2007, 13(3): 21—24.
- [6] 王海珠, 马浩, 李钠钾, 等. 不同施氮量对云烟 87 光合、呼吸以及产、质量的影响 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 35(3): 22—27.
- [7] 李建伟, 郑少清, 唐远驹, 等. 我国南北烟区烤烟产量和营养特性研究 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2010, 35(1): 95—99.
- [8] 王彦亭, 谢剑平. 中国烟草种植区划 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法 [M]. 北京: 中国农业科学出版社, 1999.
- [10] SAS. SAS/STAT® 9.3 User's Guide [M]. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc, 2011: 3223—3225.
- [11] 张延春, 陈治锋, 龙怀玉, 等. 不同氮素形态及比例对烤烟长势、产量及部分品质因素的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 787—792.
- [12] 杨铁钊, 彭玉富. 富钾基因型烤烟钾积累特征研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 750—753.
- [13] 申国明, 时鹏, 向德恩, 等. 恩施烟区烤烟主要化学成分适宜指标研究 [J]. 中国烟草科学, 2011, 32(增刊 1): 12—16.
- [14] 邵惠芳, 许自成, 刘丽, 等. 烤烟总氮和蛋白质含量与主要挥发性香气物质的关系 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(12): 70—76.
- [15] 陈胜利, 张玉林, 张占军, 等. 烤烟主产区烟叶糖碱比的变异分析 [J]. 烟草科技, 2012(10): 73—76.
- [16] 许自成, 王林, 王金平, 等. 湖南烤烟化学成分与土壤有机质含量的关系 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1186—1190.
- [17] 陈海生, 刘国顺. 豫中烤烟种植区烟叶石油醚提取物含量与土壤养分的空间变异性分析 [J]. 核农学报, 2013, 27(1): 108—117.
- [18] 张涛, 段沅杏, 陈进雄, 等. 初烤烟叶 25 种化学成分与焦油的相关、逐步回归及通径分析 [J]. 烟草科技, 2012(8): 60—65.
- [19] 宗浩, 王洪云, 陈刚, 等. 大理红大品种不同等级烟叶主要化学成分和多酚类物质分析 [J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 22—27.
- [20] 王轶, 任学良, 石俊雄, 等. 产地、部位和颜色对初烤烟叶石油醚提取物的影响 [J]. 中国烟草学报, 2008, 14(2): 15—19.
- [21] 赵会纳, 许自成, 郭燕, 等. 中国烤烟石油醚提取物含量的分布特点及与其它化学成分的关系分析 [J]. 浙江农业科学, 2009(3): 633—636.
- [22] 李军营, 方敦煌, 宋春满, 等. 烤烟品种间烟叶化学成分含量对海拔高度的响应 [J]. 中国烟草科学, 2012, 33(2): 17—23.
- [23] 丁根胜, 王允白, 陈朝阳, 等. 南平烟区主要气候因子与烟叶化学成分的关系 [J]. 中国烟草科学, 2009, 30(4): 26—30.

Effect of Soil and Climate Conditions, Tobacco Varieties
and Their Interactions on the Chemical Qualities of
Tobacco Leaves in Zhaotong, Yunnan Province

HUANG Ai-ying¹, MU Zhi-jian², JIANG Zhen-mao², HUANG Wei³,
ZHA Hong-bo³, NI Xia³, WANG Qiang², WEI Shi-qiang²

- 1. School of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China;
- 2. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
- 3. Zhaotong Company Affiliated to Yunnan Tobacco Corporation, Zhaotong Yunnan 657000, China

Abstract: In-situ field experiments were carried out at ten tobacco-planting eco-regions in Zhaotong of Yunnan Province to investigate 14 quality-related chemical indices of tobacco leaves and their association with soil and climate conditions, tobacco varieties and their interactions. The tobacco leaves in Zhaotong were characterized by relatively lower contents of potassium, chlorine and lower ratio of total nitrogen to nicotine, and relatively higher values of total sugar and its difference from reducing sugar, while the values of other chemical indices were mainly within the range required for the high-quality tobacco leaves. The effect sizes of soil, climate and other factors on the measured chemical indices of tobacco leaves were different. The relative contribution of soil-climate, tobacco variety and their interaction and leaf grade to the total variation of the 14 chemical indices of tobacco leaves was 48.0%, 10.3%, 19.7% and 22.0%, respectively. This indicated that soil-climate conditions had the strongest effect on the measured chemical indices of tobacco leaves while the effect of variety was the least. Of the 14 quality-related chemical indices of tobacco leaves, the contents of total nitrogen, protein, starch, total sugar, reducing sugar and the ratio of reducing sugar to total nitrogen were mainly regulated by soil factors; however, the ratios of total nitrogen to nicotine and potassium to chlorine were mainly influenced by climate factors; and the other indices, such as the contents of potassium, chlorine, nicotine, polyphenols, extractions by mineral ether, and the ratio of reducing sugar to nicotine were mainly regulated by soil-climate interaction. It should be mentioned that rainfall frequency may play a significant role in regulating the contents of potassium, chlorine and their ratio, and the content of nicotine and its ratio to reducing sugar or total nitrogen for tobacco leaves.

Key words: soil; climate; tobacco variety; interactive effect; chemical quality

