

单料烤烟烟气颗粒物与质量评价指标间的相关性研究

邓小华^{1,2}, 周冀衡¹, 赵松义³, 李晓忠³

(1.湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2.湖南农业大学烟草工程技术研究中心, 长沙 410128;

3.湖南省烟草公司, 长沙 410007)

摘要: 对湖南主产烟区烟叶物理性状、化学成分、外观质量、评吸质量及烟气颗粒物组分进行了评定和检测, 采用简单相关分析方法, 探索了烤烟质量指标与烟气颗粒物组分的定量相关关系, 探讨了关于烟叶质量评价指标对烟气颗粒物组分影响的许多定性描述。

关键词: 烤烟; 烟气颗粒物; 质量评价指标; 相关性分析

中图分类号: TS413

文章编号: 1007-5119(2010)01-0060-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2010.01.016

Correlation Analysis between Smoke Particulate Matters and Evaluating Indices of Quality in Unblended Cigarette of Flue-cured Tobacco

DENG Xiaohua^{1,2}, ZHOU Jiheng¹, ZHAO Songyi³, LI Xiaozhong³

(1. Agronomy College of Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Research Center of Tobacco Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128 China;

3. Hunan Province Tobacco Company, Changsha 410000 China.)

Abstract: Based on results from assessing physical property, chemical components, appearance quality, smoking quality and smoke particulate matters of flue-cured tobacco samples from tobacco growing areas in Hunan Province, quantitative relationship between smoke particulate matters and tobacco leaf quality evaluating indices were studied by correlation analysis. Qualitative characters on tobacco leaf quality evaluating indices to smoke particle matters were discussed.

Keywords: flue-cured tobacco; smoke particle matters; evaluating indices of tobacco leaf quality; correlation analysis

烟气是烟丝在燃烧过程中通过蒸发热解、聚合等一系列物理与化学反应产生的一种气、液、固并存的复杂多相气溶胶, 其颗粒物包括水分、烟碱和焦油, 而烟气烟碱和焦油量是目前国际上用来评价卷烟安全性的主要指标^[1-3]。烟叶原料是卷烟质量的物质基础, 是卷烟有害成分的决定因素。研究影响烟叶安全性的各种因素, 有利于农业措施减害降焦, 提高卷烟安全性。有关烟叶理化特性与烟气颗粒物组分的关系一直备受关注^[4-10], 但利用同批样本全面系统地研究烟叶质量评价指标与烟气颗粒物组分的关系鲜见报道。鉴此, 本文以湖南主产烟区初烤烟叶样本为材料, 通过对外观质量、物理性

状、化学成分、评吸质量与烟气颗粒物组分的相关性分析, 探讨烟叶质量评价指标与烟气颗粒物组分的相互关系, 旨在为烟草行业正在实施的减害降焦提香战略提供参考, 为提高烟叶安全性和减少吸烟危害提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

为保证分析结果的代表性和相关分析的可靠性, 于湖南省 35 个主产烤烟县(市或区)的 72 个烤烟主产乡镇收集在上、中、下部位具有代表性的

基金项目: 国家烟草专卖局资助项目“典型省份烟草种植区划技术平台的构建”(110200401017)的一部分

作者简介: 邓小华, 男, 博士, 教授, 研究方向为烟草科学与工程技术。E-mail: yzdxh@163.com

收稿日期: 2008-07-23

B2F、C3F、X2F 3个等级的2001—2003、2005年初烤烟叶样品757个^[11-17]。选取当地烤烟主栽品种，采用定农户、定等级、定叶位取样法，等级由专职评级人员按照GB2635-92标准进行^[18]。采集的烟叶原料统一加工，统一编码，单一原料卷制，不加香加料。为消除不同年份样本数据误差，在样本质量评定和检测中，尽量保持分析仪器、分析人员的稳定，增加分析次数。

1.2 烟气颗粒物测定指标与方法

主要测定总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱和焦油。利用自动吸烟机，按YC/T29-1996标准抽吸卷烟和测定卷烟主流烟气总颗粒物^[19]，按YC/T8-1993标准测定卷烟主流烟气烟碱和水分^[20]，单位为mg/支。

1.3 烤烟质量评价指标与分析方法

物理性状测定主要指标有：开片度、厚度、单叶重、含梗率、叶质重、平衡水分(吸湿性)；化学成分测定主要指标有总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾、氯、硫、糖碱比、氮碱比、钾氯比、有效钾指数；外观质量量化评价主要指标有：成熟度、叶片结构、身份、油分、色度、发育状况、叶面状况；评吸质量评价主要指标有：香气质、香气量、杂气、浓度、劲头、刺激性、余味、燃烧性、灰色、评吸总分。以上指标的分析方法详见参考文献^[11-17]。

1.4 数据处理方法

数据处理借助SPSS120 (Statistics Package for Social Science)统计分析软件，首先应用基本统计分析模块(Descriptive Statistics)对数据进行探索性分析(Explore)，清除极端值和异常值；然后应用相关分析模块(Correlate)在评价指标间进行双变量相关分析(Bivariate)。双尾检测，“*”表示显著水平为5%，“**”表示显著水平为1%。相关系数 $|r| \geq 0.8$ ，视为高度相关； $0.5 \leq |r| < 0.8$ ，视为中度相关； $0.5 < |r| < 0.3$ ，视为弱相关^[21]。

2 结果与讨论

2.1 烟气颗粒物组分和烟叶质量评价指标的描述

由表1可知，除氯、氮碱比、劲头、燃烧性、灰色的偏度较大外，其余评价指标的偏度值都较

小，基本上符合正态分布。氯含量、氮碱比向左偏离，且氯含量偏离中心较远(偏度值大于 $2^{[20]}$)，是偏狭峰(峰度值大于 $3^{[20]}$)。劲头、燃烧性、灰色分值是向右偏离中心，是偏狭峰，但变异系数较小，分布较集中。总氮、硫含量的变异系数在90%以上，有较强的变异度，表明氮、硫含量在烟叶中的稳定性差，易受生态环境条件的影响。

2.2 物理性状与烟气颗粒物组分的相关性

总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油分别与开片度、含梗率呈极显著的负相关，分别与单叶重、厚度、叶质重呈极显著的正相关(表2)。平衡水分与总颗粒物、烟气烟碱、焦油呈负相关，与烟气水分呈正相关，但都不显著。单叶重、厚度、叶质重分别与总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油达到了中度相关^[21]。闫克玉等^[9]研究认为平衡水分与焦油呈显著正相关($r = 0.386$)，与烟气烟碱呈正相关($r = 0.152$)，跟本研究结果不一致，但具有的共同点就是相关系数都较少，可以初步认为平衡水分与总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油的不存在线性关系。烟叶开片度是反映烟叶生长发育状况的物理性指标，生长发育好的烟叶开片度好，烟气烟碱和焦油含量低，因而提高烟叶开片度对降焦减害有促进作用。含梗率高的烟叶(特别是下部叶)，烟碱含量低，叶片疏松，燃烧性好，虽然烟气烟碱和焦油含量低，但烟叶利用率低，应保持在合理范围内。

2.3 化学成分与烟气颗粒物组分的相关性

由表3可知，总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油分别与总糖、还原糖、钾、糖碱比、氮碱比、钾氯比、有效钾指数呈极显著的负相关，分别与烟碱、总氮、氯、硫呈极显著的正相关。烟碱、糖碱比、氮碱比、有效钾指数分别与总颗粒物、烟气烟碱、焦油的相关系数，总糖、还原糖、总氮与烟气烟碱的相关系数，有效钾指数与总颗粒物、烟气烟碱、焦油的相关系数，达到了中度相关^[21]。钾、硫分别与焦油、烟气烟碱的关系与李国栋等^[7]、于建军等^[8]的研究结果一致，但与闫克玉等^[9]研究结果不一致。总糖、还原糖与焦油的关系与厉昌坤等^[6]、李国栋等^[7]、于建军等^[8]研究结果一致，但与闫克

表1 烟气颗粒物组分和烟叶质量评价指标的基本统计特征

Table 1 Basic statistical characteristics of constituents of smoke particulate matter and evaluation on quality of tobacco leaves

项目	平均值	置信区间/95%	标准差	中位数	最小值	最大值	偏度	峰度	变异系数/%
总颗粒物/(mg·支 ⁻¹)	23.293	22.933-23.653	5.021	23.320	11.300	37.370	0.089	-0.610	21.557
烟气水分/(mg·支 ⁻¹)	2.714	2.651-2.777	0.876	2.680	0.490	5.280	0.258	-0.254	32.268
烟气烟碱(mg·支 ⁻¹)	2.253	2.190-2.316	0.881	2.150	0.460	5.300	0.421	-0.339	39.090
焦油/(mg·支 ⁻¹)	18.327	18.070-18.584	3.583	18.300	10.000	27.770	0.061	-0.628	19.550
开片度/%	34.288	33.761-34.816	3.637	34.269	24.653	46.154	0.351	0.733	10.607
单叶重/g	10.526	10.167-10.885	2.475	10.480	5.850	18.200	0.281	-0.646	23.516
含梗率/%	31.955	31.511-32.400	3.065	31.820	22.460	38.160	-0.285	-0.055	9.591
厚度/ μm	137.916	133.785-142.048	28.481	134.000	83.000	271.000	0.620	1.460	20.651
叶质重/(g·m ²)	109.018	105.711-112.325	22.799	107.010	62.420	174.520	0.394	-0.208	20.913
平衡水分/%	12.510	12.138-12.882	2.562	12.080	4.930	23.270	0.518	1.040	20.483
总糖/%	24.285	23.707-24.863	3.944	25.090	13.050	31.040	-0.683	-0.248	16.239
还原糖/%	21.349	20.814-21.884	3.648	21.780	11.890	27.650	-0.437	-0.459	17.087
烟碱/%	3.076	2.949-3.203	0.867	3.080	1.290	4.610	-0.147	-1.206	28.173
总氮/%	1.904	1.868-1.940	0.245	1.880	1.410	2.700	0.673	0.153	98.734
钾/%	2.309	2.235-2.384	0.510	2.250	1.340	3.630	0.459	-0.400	22.098
氯/%	0.259	0.246-0.272	0.087	0.250	0.100	0.730	2.183	7.297	33.744
硫/%	0.871	0.830-0.911	0.276	0.865	0.299	1.771	0.719	0.854	99.342
糖碱比	8.952	8.373-9.531	3.948	8.163	3.028	20.829	0.720	-0.192	44.102
氮碱比	0.660	0.636-0.684	0.165	0.618	0.418	1.279	1.160	1.407	25.023
钾氯比	9.655	9.163-10.146	3.350	8.938	3.809	21.286	0.837	0.732	34.702
有效钾指数/%	1.180	1.103-1.256	0.522	1.164	0.009	2.523	0.303	-0.404	44.265
成熟度	8.919	8.863-8.975	0.556	8.880	7.168	10.000	0.027	-0.575	6.233
叶片结构	8.734	8.676-8.793	0.584	8.667	7.167	10.000	0.021	-0.449	6.686
身份	8.855	8.794-8.915	0.602	8.830	7.000	10.000	-0.360	-0.060	6.795
油分	8.609	8.543-8.676	0.659	8.630	6.330	9.900	-0.263	-0.109	7.659
色度	8.586	8.524-8.648	0.618	8.630	6.500	10.000	-0.235	-0.100	7.199
发育状况	8.863	8.807-8.920	0.563	8.880	7.330	10.000	-0.209	-0.480	6.346
叶面状况	8.373	8.306-8.439	0.664	8.330	6.330	10.000	0.221	-0.039	7.925
香气质	6.492	6.472-6.512	0.283	6.500	5.800	7.300	0.060	-0.892	4.365
香气量	6.692	6.669-6.716	0.335	6.800	5.700	7.500	-0.754	-0.459	5.003
杂气	6.257	6.237-6.276	0.277	6.200	5.300	7.920	0.803	2.257	4.421
浓度	6.754	6.728-6.779	0.360	6.900	5.300	7.920	-0.606	0.512	5.332
劲头	6.636	6.604-6.667	0.439	6.700	3.800	7.900	-1.230	6.445	6.620
刺激性	6.465	6.442-6.487	0.312	6.500	5.300	7.300	-0.141	-0.673	4.829
余味	6.455	6.438-6.472	0.241	6.400	5.700	7.200	0.168	-0.204	3.728
燃烧性	6.994	6.991-6.997	0.047	7.000	6.600	7.300	-1.372	22.637	0.668
灰色	6.988	6.977-6.999	0.151	7.000	6.000	7.700	-1.832	12.257	2.159
评吸总分	65.520	65.399-65.641	1.691	65.380	59.365	71.434	0.319	0.682	2.581

表2 物理性状与烟气颗粒物组分的相关系数

Table 2 Correlations between physical characters and constituents of smoke particulate matter

评价指标	开片度	单叶重	含梗率	厚度	叶质重	平衡水分
总颗粒物	-0.385**	0.562**	-0.251**	0.581**	0.643**	-0.082
烟气水分	-0.343**	0.514**	-0.242**	0.449**	0.460**	0.054
烟气烟碱	-0.365**	0.562**	-0.206**	0.562**	0.601**	-0.097
焦油	-0.360**	0.515**	-0.238**	0.558**	0.632**	-0.145

表3 化学成分与烟气颗粒物组分的相关系数

Table 3 Correlations between chemical components and constituents of smoke particulate matter

评价指标	总糖	还原糖	烟碱	总氮	钾	氯	硫	糖/碱	氮/碱	钾/氯	有效钾指数
总颗粒物	-0.484**	-0.481**	0.784**	0.498**	-0.365**	0.202**	0.208**	-0.710**	-0.608**	-0.299**	-0.535**
烟气水分	-0.304**	-0.327**	0.635**	0.314**	-0.254**	0.198**	0.163**	-0.547**	-0.536**	-0.269**	-0.434**
烟气烟碱	-0.605**	-0.594**	0.861**	0.558**	-0.333**	0.146**	0.297**	-0.772**	-0.633**	-0.286**	-0.501**
焦油	-0.456**	-0.449**	0.733**	0.486**	-0.367**	0.198**	0.180**	-0.673**	-0.566**	-0.281**	-0.517**

玉等^[9]研究结果不一致，有可能是闫克玉等^[9]研究材料中烟叶含糖量较低的缘故，因而烟叶含糖量与焦油的关系不能简单地用线性来表示，有可能存在复杂的关系，这有待今后进一步研究。由本研究结果可知，降低烟叶烟碱、总氮、氯、硫含量，提高烟叶钾含量和糖碱比、氮碱比、钾氯比、有效钾指数，对减害降焦有促进作用。

2.4 外观质量与烟气颗粒物组分的相关性

由表 4 可知，外观质量评价指标分别与总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油呈极显著的正相关。

表 4 外观质量与烟气颗粒物组分的相关系数

Table 4 Correlations between appearance quality and constituents of smoke particulat matter

评价指标	成熟度	叶片结构	身份	油分	色度	发育状况	叶面状况
总颗粒物	0.421**	0.444**	0.708**	0.510**	0.458**	0.499**	0.468**
烟气水分	0.293**	0.348**	0.510**	0.393**	0.337**	0.367**	0.349**
烟气烟碱	0.398**	0.420**	0.615**	0.436**	0.389**	0.468**	0.408**
焦油	0.406**	0.418**	0.695**	0.497**	0.4450**	0.478**	0.456**

2.5 评吸质量与烟气颗粒物组分的相关性

由表 5 可知，总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱和焦油分别与杂气、刺激性、燃烧性、灰色分值呈显著或极显著负相关，与香气量、浓度分值呈极显著的正相关；香气质分值与总颗粒物、烟气水分和焦油呈极显著正相关，与烟气烟碱呈负相关但不显著；劲头、余味分值分别与总颗粒物呈正相关但不显著，与烟气水分呈显著正相关，与烟气烟碱呈显著负相关；评吸总分与总颗粒物、烟气水分和焦油呈极显著正相关，与烟气烟碱呈正相关但不显著。总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱和焦油与香

其中，身份与总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油的相关系数，油分与总颗粒物的相关系数，达到了中度相关^[21]。据邓小华等^[11]研究认为，随着烤烟外观质量分值的提高，烟叶烟碱含量增高，烟叶钾含量降低。由表 3 可知，总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油与烟叶烟碱呈极显著的正相关，与烟叶钾含量呈极显著的负相关。因此，随着烟叶外观质量分值的提高，总颗粒物、烟气水分、烟气烟碱、焦油含量增高。

气量、杂气、浓度、刺激性分值的相关系数相对较大，其中总颗粒物与香气量、浓度分值，烟气烟碱与香气量、浓度、刺激性分值，焦油与香气量分值达到了中度相关^[21]。以上分析表明随着烟气中总颗粒物、水分、烟碱、焦油等颗粒物成分的增加，烟气中杂气和刺激性增加，燃烧性变差，灰色加深，但香气量和浓度会增加。烟气烟碱、焦油与香气量、浓度、劲头、评吸总分值的关系跟闫克玉等^[10]的研究结果是一致的，与杂气、刺激性、余味分值的关系跟闫克玉等^[10]的研究结果不一致。

表 5 评吸质量与烟气颗粒物组分的相关系数

Table 5 Correlations between sensory quality and constituents of smoke particulat matter

评价指标	香气质	香气量	杂气	浓度	劲头	刺激性	余味	燃烧性	灰色	评吸总分
总颗粒物	0.116**	0.580**	-0.272**	0.519**	0.028	-0.370**	0.024	-0.109*	-0.153**	0.199**
烟气水分	0.159**	0.485**	-0.137**	0.412**	0.102*	-0.221**	0.102*	-0.102*	-0.179**	0.255**
烟气烟碱	-0.003	0.569**	-0.368**	0.550**	-0.107*	-0.502**	-0.100*	-0.129**	-0.205**	0.055
焦油	0.123**	0.555**	-0.258**	0.493**	0.035	-0.341**	0.033	-0.103*	-0.122**	0.202**

3 小 结

本研究分析了烟气颗粒物组分与 34 个单项烟叶质量评价指标的相互关系，分析结果验证了关于烟叶质量评价指标对烟气颗粒物组分影响的一些定

性描述。不同的研究者由于样本来源、评价方法的不同，研究结果存在差异，表明烟叶质量评价指标与烟气颗粒物组分的相互关系具有区域特征。

参考文献

- [1] 朱尊权. 烟叶的可用性与卷烟的安全性[J]. 烟草科技, 2000(8): 3-6.
- [2] 杜咏梅, 肖协忠, 王允白. 烟气焦油与卷烟安全性[J]. 中国烟草科学, 2002(2): 31-34.
- [3] Brandy Fisher. Reducing Risk[J]. Tobacco Reporter, 2000(6): 56-61.
- [4] 邓小华, 周冀衡, 王勇, 等. 烤烟烟气粒相组分与评吸质量的关系[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(1): 29-32.
- [5] 邓小华, 周冀衡, 李晓忠, 等. 烤烟质量与焦油量的灰色关联分析[J]. 江西农业大学学报, 2006(6): 850-854.
- [6] 厉昌坤, 周显升, 王允白, 等. 烤烟烟叶焦油释放量与部分化学成分的关系研究[J]. 中国烟草科学, 2004(2): 25-27.
- [7] 于建军, 章新军, 毕庆文, 等. 烤烟烟叶理化特性对烟气烟碱、CO、焦油量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003(3): 5-8.
- [8] 李国栋, 于建军, 董顺德, 等. 河南烤烟化学成分与烟气成分的相关性分析[J]. 烟草科技, 2001(8): 28-30.
- [9] 闫克玉, 李兴波, 赵学亮, 等. 河南烤烟理化指标间的相关性研究[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2000, 15(3): 20-24.
- [10] 闫克玉, 王建民, 屈剑波, 等. 河南烤烟评吸质量与主要理化指标的相关分析[J]. 烟草科技, 2001(10): 5-9.
- [11] 邓小华, 周冀衡, 陈新联, 等. 烟叶质量评价指标间的相关性研究[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(2): 1-8.
- [12] 邓小华, 周冀衡, 杨虹琦, 等. 湖南烤烟外观质量量化评价体系的构建与实证分析[J]. 中国农业科学, 2007, 39(9): 2036-2044.
- [13] 邓小华, 周冀衡, 李晓忠, 等. 湘南烟区烤烟常规化学指标的对比分析[J]. 烟草科技, 2006(9): 45-49.
- [14] 邓小华, 周冀衡, 李晓忠, 等. 湖南烤烟化学成分特征及其相关性研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, 38(1): 18-22.
- [15] 邓小华, 周冀衡, 赵松义, 等. 湖南烤烟硫含量的区域特征及其对烟叶评吸质量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2853-2859.
- [16] 邓小华, 周冀衡, 陈冬林, 等. 湖南烤烟氯含量状况及其对评吸质量的影响[J]. 烟草科技, 2008(2): 8-13.
- [17] 邓小华, 周冀衡, 陈冬林, 等. 湖南烤烟还原糖含量区域特征及其对评吸质量的影响[J]. 烟草科技, 2008(6): 13-19.
- [18] 国家烟草质量监督检验中心. GB2635-92 烤烟[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [19] 国家烟草质量监督检验中心. GB/T 19609-2004 卷烟用常规分析用吸烟机测定总颗粒物 and 焦油[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [20] 国家烟草质量监督检验中心. GB 5606.5-2005 卷烟 总颗粒物中烟碱的测定—气相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [21] 王苏斌, 郑海淘, 邵谦谦. SPSS 统计分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 113-230.