

烤烟中微量营养元素含量与物理特性的关系探讨^①

郭建华^{1,2}, 张仕祥^{1,2}, 王建伟^{1,2}, 李小龙³, 奚家勤^{1,2}, 过伟民^{1,2},
王广山^{1,2}, 薛超群^{1,2}, 王爱国^{1,2}, 宋纪真^{1,2*}

(1 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001; 2 烟草行业生态环境与烟叶质量重点实验室, 郑州 450001;

3 南平市烟草公司邵武分公司, 福建邵武 354000)

摘要:通过分析我国 2010—2014 年 C3F 等级的初烤烟叶中 6 种中微量营养元素(Mn, Fe, Cu, Zn, Ca 和 Mg)含量与烟叶厚度、叶面密度、平衡含水率、拉力、填充值和含梗率 6 项物理特性指标以及物理特性总分间相关性, 得到如下主要结论: 烟叶厚度和叶面密度与 Mn 和 Zn 含量呈极显著负相关关系, 与 Ca 和 Mg 含量呈极显著正相关关系。Zn 和 Mg 对烟叶的物理特性指标影响最大, 其中 Zn 主要影响烟叶厚度、叶面密度、拉力等指标; Mg 主要影响烟叶厚度、叶面密度等指标。Ca 含量越高, 烟叶越厚, 但填充性能越差, 过高的 Ca 含量会降低烟叶的吸湿性能。

关键词:烤烟; 中微量营养元素; 物理特性指标; 相关关系

中图分类号: S572 文献标识码: A

烟叶的物理性状是指烟叶的外部形态及其物理性能, 包括单叶质量、叶片厚度、叶面密度、含梗率、填充性、弹性、吸湿性等指标。这些物理特性指标与烟叶的类型、品种、等级、质量、加工和贮存工艺密切相关, 且直接影响卷烟制造过程、产品风格、成本及其他经济因素, 是我国烟草行业主要研究对象和烟叶质量评价的重要指标之一^[1-3]。

烟株正常生长需要适宜的养分供给, 大量元素 N、P、K 对烟株生长及烟叶品质已有大量的报道^[4-6]。Ca 和 Mg 是烟草必需的中量营养元素, Mn、Fe、Cu 和 Zn 是烟草必需的微量营养元素, 这些营养元素在烟草体内含量虽低, 但也是烟株生长发育和品质形成所必需的, 每种营养元素都有自己特殊的功能, 缺一不可^[7]。中微量元素对烟叶化学成分^[8-9]、致香物质^[10]、产量^[11]、感官评吸^[12]等方面的研究已有报道, 但尚未见其对烤后烟叶物理特性影响的报道。为此, 本文以 2010—2014 年的我国 C3F 等级烤烟烟叶中 Ca、Mg、Mn、Fe、Cu 和 Zn 含量和烟叶的物理特性指标为切入点, 考察其与烟叶物理特性指标的关系, 旨在服务于通过肥料运筹调控烤后烟叶的物理特性指标和提高烟叶的物理品质。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用 2010—2014 年全国主要烟草种植省份的烤烟 C3F 等级烟叶样品, 其中 2010 年 95 个, 2011 年 134 个, 2012 年 155 个, 2013 年 133 个, 2014 年 165 个, 共计 682 个。

1.2 测定项目与测定方法

烤烟中 Mn、Fe、Cu、Zn、Ca 和 Mg 6 种元素含量采用微波消解—原子吸收火焰分光光度法, 具体详见文献^[13]。

烟叶的物理特性指标包括烟叶厚度、填充值、拉力、叶面密度、平衡含水率、含梗率 6 项指标。其中, 填充值采用 YC/T 152-2001 方法测定^[14], 烟叶厚度、拉力、叶面密度、含梗率和平衡含水率按照文献^[15]所述方法进行测定。物理特性检测仪主要包括 CHY-C2 型测厚仪(济南兰光)、YDZ430 型智能填充值测定仪(郑州嘉德机电科技有限公司)、多功能拉力机(Ametek)、恒温恒湿箱(Binder)。

1.3 物理特性总分赋值方法

采用《中国烟草种植区划》项目建立的烟叶物理

基金项目: 中国烟叶公司专项项目(122009AY0390)资助。

* 通讯作者(songjiz701@sohu.com)

作者简介: 郭建华(1984—), 女, 河南新乡人, 硕士, 工程师, 主要从事烟草栽培及烟草质量评价研究。E-mail: guojh@ztri.com.cn

特性评价体系对烟叶物理特性进行综合评价^[16]，将叶面密度、平衡含水率、拉力和含梗率的检测结果分别赋值，权重分别为 0.14、0.16、0.35 和 0.35，采用指数和法计算烟叶物理特性综合评价的总分，分值越高代表烟叶综合物理特性越好。

1.4 数据分析方法

采用 Microsoft Office Excel 2013 和 IMB Statistics SPSS 20.0 软件进行数据处理与统计分析，相关性分析采用 SPSS 20.0 软件的双变量 Pearson 系数。

2 结果与讨论

对 Mn、Fe、Cu、Zn、Ca 和 Mg 6 种元素含量与烟叶厚度、填充值、拉力、叶面密度、平衡含水率、含梗率 6 项物理特性指标进行统计分析，分别以逐年样本和总体样本进行相关性分析，分析元素含量与烟叶物理特性指标间的相关性。

2.1 烟叶 Mn 含量与物理特性指标相关性

烟叶中 Mn 含量与烟叶物理特性指标的相关性分析结果详见表 1。由表 1 可知，Mn 含量与烟叶厚度、叶面密度、拉力和物理特性总分负相关，与平衡含水率、填充值和含梗率正相关。其中，2012 年、2013 年和 2014 年的样品均显示 Mn 含量与烟叶厚度呈现显著或极显著负相关关系；2011 年和 2012 年，Mn 含量与烟叶叶面密度呈现极显著负相关关系；2012 年，Mn 含量与填充值呈显著正相关关系；2011 年，Mn 含量与含梗率呈极显著正相关关系。从 5 年整体数据看来，烟叶 Mn 含量与烟叶厚度、叶面密度、物理特性总分存在极显著负相关关系，与含梗率呈显著正相关关系。说明 Mn 含量越高，叶片越薄，单位面积叶片的质量越轻，含梗率越高，物理特性整体质量越差。研究表明 Mn 使烟叶厚度减薄主要是由于海绵组织层细胞的减少引起^[17]。

表 1 烟叶 Mn 含量与物理特性指标的相关系数
Table 1 The correlation coefficients between Mn content and physical characteristic indexes of tobacco leaves

年份	烟叶厚度	叶面密度	平衡含水率	拉力	填充值	含梗率	物理特性总分
2010	-0.026	-0.130	0.112	-0.175	0.083	0.079	-0.082
2011	-0.040	-0.262**	-0.027	-0.155	0.113	0.255**	-0.241**
2012	-0.323**	-0.254**	-0.036	-0.063	0.161*	0.117	-0.209**
2013	-0.171*	-0.113	0.151	-0.004	0.034	0.112	-0.027
2014	-0.268**	-0.127	0.083	-0.045	0.018	0.086	-0.041
总体	-0.138**	-0.179**	0.020	-0.069	0.029	0.097*	-0.116**

注：表中 Pearson 相关系数后的 * 表示双侧检验和 $P<0.05$ 条件下具有显著相关性；**表示双侧检验和 $P<0.01$ 条件下具有极显著相关性，下表同。

2.2 烟叶 Fe 含量与物理特性指标相关性

烟叶中 Fe 元素含量和烟叶物理特性指标间的相关性分析结果详见表 2。由表 2 可知，烟叶中 Fe 元素含量与烟叶厚度、叶面密度、平衡含水率和物理特性总分正相关，与拉力、填充值和含梗率负相关。其中，2012 年和 2013 年，Fe 元素含量与烟叶厚度呈极显著正相关关系；2014 年，Fe 元素含量与叶面密度

呈显著正相关关系。从 5 年整体数据看来，烟叶 Fe 元素含量与烟叶厚度和叶面密度呈极显著正相关关系，与填充值呈显著负相关关系。说明烟叶中 Fe 元素含量越高，烟叶越厚，结构愈加紧密，填充性能却由此变差。研究表明，缺 Fe 会使烟叶失绿，降低叶绿体中核酸的含量，积累硝酸盐、氨基酸和酰胺，并减少蛋白质含量^[18-19]。

表 2 烟叶 Fe 含量与物理特性指标的相关系数
Table 2 The correlation coefficients between Fe content and physical characteristic indexes of tobacco leaves

年份	烟叶厚度	叶面密度	平衡含水率	拉力	填充值	含梗率	物理特性总分
2010	0.068	0.051	-0.124	-0.023	-0.147	-0.029	0.054
2011	0.034	0.151	-0.165	-0.026	-0.078	-0.140	0.058
2012	0.242**	0.099	0.028	-0.054	-0.040	-0.105	0.085
2013	0.231**	0.136	0.012	-0.034	-0.140	-0.025	0.009
2014	0.130	0.180*	0.028	-0.002	-0.058	-0.068	0.069
总体	0.102**	0.099**	0.004	-0.008	-0.079*	-0.037	0.040

2.3 烟叶 Cu 含量与物理特性指标相关性

烟叶 Cu 元素含量和物理特性指标间的相关性分析结果详见表 3。由表 3 可知,烟叶中 Cu 含量与烟叶厚度、叶面密度、拉力和物理特性总分正相关,与平衡含水率、填充值和含梗率负相关。年份间,烟叶中 Cu 含量与烟叶厚度、叶面密度、平衡含水率、拉力和填充值均无相关性。从 5 年整体数据看来,烟叶

Cu 含量与烟叶厚度呈极显著正相关关系,与含梗率呈显著负相关关系,与拉力和物理特性总分呈显著正相关关系。说明烟叶中 Cu 含量越高,烟叶叶片越厚,烟叶伸展能力好,烟叶中烟梗所占比例越小,烟叶利用性能好。已有研究表明一定程度上提高烟叶中 Cu 含量,能够使烟叶成熟均匀,提高上等烟比例,改善香吃味,提高烟叶品质等^[20]。

表 3 烟叶 Cu 元素含量与物理特性指标的相关系数
Table 3 The correlation coefficients between Cu content and physical characteristic indexes of tobacco leaves

年份	烟叶厚度	叶面密度	平衡含水率	拉力	填充值	含梗率	物理特性总分
2010	0.102	0.128	-0.087	0.021	-0.006	-0.120	0.053
2011	0.148	0.014	-0.011	0.015	-0.007	-0.165	0.095
2012	0.117	0.119	-0.010	0.017	-0.017	-0.125	0.115
2013	0.020	0.101	-0.010	0.064	-0.024	-0.214*	0.067
2014	0.101	0.065	-0.124	0.009	-0.008	-0.076	0.025
总体	0.139**	0.002	-0.028	0.078*	-0.054	-0.095*	0.075*

2.4 烟叶 Zn 含量与物理特性指标相关性

烟叶中 Zn 元素含量和烟叶物理特性指标间的相关性分析结果详见表 4。由表 4 可知,烟叶中 Zn 元素含量与烟叶厚度、叶面密度负相关,与平衡含水率、拉力、填充值、含梗率和物理特性总分正相关。从年份间数据可以看出,Zn 含量与烟叶厚度和叶面密度的关系比较紧密,绝大多数年份中烟叶 Zn 含量与烟叶厚度和叶面密度呈极显著或显著负相关关系;部分年份,烟叶 Zn 含量与平衡含水率、拉力和含梗率呈显著或极显著正相关关系。从 5 年整体数据看来,烟叶 Zn 含量与烟叶厚度、叶面密度呈极显著负相关关系,与拉力呈现极显著正相关关系,与含梗率和填充值呈显著正相关关系。说明烟叶中 Zn 含量越少,烟叶叶片越厚,细胞间隙越小,叶片结构越紧密,相应地,填充性能就越差,叶片中烟梗所占比例就越小。这可能是因为 Zn 在植物体内的功能之一就是参与生长素的代谢,烟株缺 Zn 时,烟草的生长受到抑制,

叶片扩展受到抑制,从而变得小而厚^[21]。除此之外,增加烟叶中的 Zn 含量对提高烟叶拉力有积极的作用,有利于增强烟叶在工业加工过程中的耐加工性,降低造碎率。

2.5 烟叶 Ca 含量与物理特性指标的相关性

烟叶中 Ca 元素含量和烟叶物理特性指标的相关性分析结果详见表 5。由表 5 可知,烟叶 Ca 含量与烟叶厚度和叶面密度正相关,与平衡含水率、拉力等指标负相关。其中,Ca 含量与烟叶厚度、叶面密度和平衡含水率有较紧密的相关性。2012—2014 年,烟叶 Ca 元素含量与烟叶厚度和叶面密度存在显著或极显著正相关关系;2010 年、2013 年和 2014 年,烟叶 Ca 元素含量与平衡含水率呈显著或极显著负相关关系。从 5 年整体数据看来,Ca 含量与烟叶厚度呈显著正相关关系,与平衡含水率和填充值存在极显著负相关关系。说明烟叶中 Ca 含量越高,烟叶越厚,吸湿性和填充性越差。

表 4 烟叶 Zn 元素含量与物理特性指标的相关系数
Table 4 The correlation coefficients between Zn content and physical characteristic indexes of tobacco leaves

年份	烟叶厚度	叶面密度	平衡含水率	拉力	填充值	含梗率	物理特性总分
2010	-0.254*	-0.062	0.020	0.118	0.153	0.031	0.081
2011	-0.014	-0.281**	0.207*	0.083	0.116	0.077	0.000
2012	-0.262**	-0.265**	0.017	0.163*	0.146	0.032	0.054
2013	-0.246**	-0.116	0.257**	0.123	0.163	0.032	0.150
2014	-0.393**	-0.422**	0.004	0.165*	0.038	0.208**	0.115
总体	-0.154**	-0.238**	0.060	0.147**	0.081*	0.082*	0.004

表 5 烟叶 Ca 元素含量与物理特性指标的相关系数
Table 5 The correlation coefficients between Ca content and physical characteristic indexes of tobacco leaves

年份	烟叶厚度	叶面密度	平衡含水率	拉力	填充值	含梗率	物理特性总分
2010	0.072	0.129	-0.220*	-0.141	-0.007	-0.086	-0.125
2011	0.109	0.156	-0.147	-0.107	-0.034	-0.035	-0.122
2012	0.347**	0.329**	-0.050	-0.043	-0.128	-0.100	-0.139
2013	0.212*	0.192*	-0.193*	-0.003	-0.142	-0.022	-0.068
2014	0.323**	0.257**	-0.216**	-0.094	-0.045	-0.139	-0.146
总体	0.085*	0.067	-0.128**	-0.035	-0.104**	-0.016	-0.029

Ca 是细胞壁结构的基本成分，以往研究表明含 Ca 高的烟叶厚、粗糙、僵硬^[22]，影响烟叶品质，本研究也在一定程度上也验证了这一关系。影响填充能力的因素很多，包括烟草类型、栽培措施、烟叶身份等，疏松的烟叶具有比紧密烟叶更好的填充能力^[22]。由于 Ca 含量越高，烟叶越厚、越僵硬，其填充性能也就越差。从数据中还可以看出，Ca 是影响烟叶平衡含水率的最主要营养元素，Ca 含量与烟叶的平衡含水率间的负相关性，不利于增强烟叶的保润性能。

2.6 烟叶 Mg 含量与物理特性指标的相关性

对烟叶样品 Mg 元素含量和烟叶物理特性指标进行相关性分析，从表 6 可知，烟叶 Mg 含量与填充

值和含梗率负相关，与烟叶厚度、叶面密度等指标正相关。其中，Mg 含量与烟叶厚度和叶面密度有较为紧密的相关性，大多数年份中，烟叶 Mg 含量与烟叶厚度和叶面密度存在显著或极显著正相关关系。从 5 年整体数据看来，烟叶中 Mg 含量越高，烟叶越厚，叶片越紧密，吸湿性越好，含梗率越低，烟叶利用率高，物理特性整体较好。适量的 Mg 供应可以促进烟株生长发育，韦翔华等^[23]认为 Mg 元素可以增加烟株有效叶数、叶面积以及叶片厚度；张钊^[24]研究认为缺 Mg 烟叶外观色泽差，吃味差，调制后呈暗灰色无光泽或变成浅棕色，油分差，叶片薄，Mg 含量与烟叶厚薄的关系与本研究一致。

表 6 烟叶 Mg 元素含量与物理特性指标的相关系数
Table 6 The correlation coefficients between Mg content and physical characteristic indexes of tobacco leaves

年份	烟叶厚度	叶面密度	平衡含水率	拉力	填充值	含梗率	物理特性总分
2010	0.220*	0.188	0.015	0.071	-0.109	-0.027	0.126
2011	0.278**	0.255**	0.005	0.054	-0.106	-0.103	0.116
2012	0.308**	0.293**	0.172*	0.003	-0.011	-0.170*	0.225**
2013	0.147	0.095	0.080	0.053	-0.139	-0.032	0.043
2014	0.190*	0.229**	0.148	0.015	-0.070	-0.086	0.059
总体	0.160**	0.213**	0.076*	0.001	-0.034	-0.077*	0.110**

3 结论

1) 初烤烟叶中的 Mn、Fe、Cu、Zn、Ca 和 Mg 等 6 种元素含量与烟叶的物理特性指标具有不同程度相关性，以 Mn、Ca、Zn 和 Mg 与物理特性的相关性较为显著。

2) 初烤后的烟叶叶面厚度、叶面密度、平衡含水率、拉力、填充值和含梗率等 6 项物理特性指标中，以叶面厚度和叶面密度与元素含量的相关性最为显著。

3) 烟叶中 Fe、Ca 和 Mg 含量越高，烟叶越厚，叶片越紧密；Mn 和 Zn 含量对烟叶厚度和叶面密度的影响与此相反；烟叶中 Mn 和 Zn 含量增加，烟叶含梗率有所增长，Cu 和 Mg 含量增加，含梗率降低；

过高的 Ca 含量会降低烟叶的吸湿性能。

参考文献：

[1] 李文娟, 王娟, 朱聿振, 等. 昆明不同烤烟品种初烤烟叶物理特性差异研究[J]. 河南农业科学, 2014, 43(4): 43-47

[2] 尹启生, 张艳玲, 薛超群, 等. 中国烤烟主要物理特性及其产区差异[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(4): 33-37

[3] 王浩雅, 王理珉, 孙力, 等. 云南不同烤烟品种叶片物理特性的差异分析[J]. 河南农业科学, 2012, 41(3): 47-50, 55

[4] 李超, 林建委, 曾繁东, 等. 不同氮肥管理模式对烤烟产量、品质形成和氮肥利用率的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(5): 57-63

[5] 贾志红, 易建华, 符建国, 等. 磷肥处理对烤烟生长生理及根系构型的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 388-391

[6] 何永秋, 刘国顺, 母海勇, 等. 不同钾肥组合对烤烟质

- 体色素及降解产物的影响[J]. 土壤, 2013, 45(3): 495–500
- [7] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1993: 209–241
- [8] Pal U R, Gossett D R, Sims J L, et al. Molybdenum and sulfur nutrition effects on nitrate reduction in burley tobacco[J]. Canadian Journal of Botany, 1976, 54(17): 2014–2022
- [9] 陈伟, 唐远驹, 潘文杰, 等. 烤烟不同部位叶片烟碱含量与中微量元素的关联分析[J]. 烟草科技, 2012(8): 54–59, 65
- [10] 谢强, 史双双, 张永辉, 等. 泸州植烟土壤中微量元素含量与烟叶品质的关系[J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 200–204
- [11] 尹小怀, 肖祯林, 问富国, 等. 两种微量元素肥料对烤烟产量和产值的影响[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(4): 597–599
- [12] 李银科, 王菲, 羊波, 等. 微肥施用对云南烟叶化学成分和感官评吸的影响[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(5): 1090–1095
- [13] 张仕祥, 王建伟, 梁太波, 等. 品种、种植年份和区域对烤烟中微量元素含量的影响及元素含量间的相互关系[J]. 烟草科技, 2010(8): 55–60
- [14] 国家烟草专卖局. 卷烟 烟丝填充值的测定(YC/T 152-2001)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001
- [15] 郭建华, 宋纪真, 王广山, 等. 基于主成分分析和聚类分析的烟叶物理特性区域归类[J]. 烟草科技, 2014(8): 14–17
- [16] 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, 2012: 29–32
- [17] 李荣春, 李信, 魏永宓. 中微肥对烟叶组织结构影响初报[J]. 云南农业大学学报, 1997, 12(3): 178–182
- [18] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 147–148
- [19] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 146–151
- [20] 马军锋, 杨铁钊, 豆显武, 等. 硫酸铜对烤烟中部叶多酚物质以及色素的影响[J]. 浙江农业科学, 2009(2): 434–436
- [21] 周冀衡, 朱小平, 王彦亭. 烟草生理与生物化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996: 199
- [22] 韩富根. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 172, 190
- [23] 韦翔华, 白厚义, 陈佩琼. 镁、硼营养对烟草产量和产值的效应研究[J]. 广西农业生物科学, 2000, 19(4): 239–242
- [24] 张钊. 镁对烤烟主要营养元素分配及腺毛发育的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007

Correlation Between Physical Characteristic Indexes and Contents of Medium and Micro Nutrition Elements in Flue-cured Tobacco Leaves

GUO Jianhua^{1,2}, ZHANG Shixiang^{1,2}, WANG Jianwei^{1,2}, LI Xiaolong³, XI Jiaqin^{1,2}, GUO Weimin^{1,2},
WANG Guangshan^{1,2}, XUE Chaoqun^{1,2}, WANG Aiguo^{1,2}, SONG Jizhen^{1,2*}

(1 Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China; 2 Key Laboratory of Eco-environmental and Tobacco Leaf Quality of CNTC, Zhengzhou 450001, China; 3 Shaowu Branch of Nanping Tobacco Company, Shaowu, Fujian 354000, China)

Abstract: The correlation between contents of Mn, Fe, Cu, Zn, Ca, Mg and the physical characteristic indexes of thickness, density, equilibrium moisture content, tension, filling value, stem ratio and total point of the flue-cured tobacco leaves were studied, the results showed that: 1) The thickness and density indexes of leaves have significant negative with the contents of Mn and Zn, but have positive correlations with those of Ca and Mg. 2) The effects of Zn and Mg contents on the physical properties of leaves are the most obvious, in which Zn content mainly influenced the thickness, density and tensile indexes of leaves, while Mg content influenced the thickness and density indexes of leaves. 3) High Ca content can increase leaf thickness and weaken filling value, however, over-high Ca content will reduce the moisture retention of leaves.

Key words: Flue-cured tobacco; Medium and micro nutrition elements; Physical characteristic indexes; Correlation