

烟株打顶对上部叶矿质元素的影响

吴会才¹, 孙建平¹, 付伟民¹, 张 垚², 纪盛哲², 刘 朋^{2*}

¹山东莱芜烟草有限公司, 山东 济南

²山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安

收稿日期: 2023年8月21日; 录用日期: 2023年11月1日; 发布日期: 2023年11月9日

摘 要

打顶抹杈是烟草工艺非常重要的一步, 不仅能提高烟株中营养物质的再分配与利用, 提高烟叶的质量, 还能抑制烟株的生殖生长, 延长营养生长的时间, 提升烟叶的品质。本试验通过对比9种烤烟品种打顶前后上部叶中矿质元素和土壤速效钾含量变化的研究发现, 不同元素在打顶前后的含量变化各有不同, 具体表现在: K^+ 、 Cu^{2+} 在打顶前后的含量降低, Ca^{2+} 和 Cl^- 的含量增加, 土壤速效钾的含量增加。对不同营养元素进行测定分析, 明确各元素的变化趋势, 对后续优质上部烟叶的生产具有重要的参考价值。

关键词

打顶, 矿质元素, 烟草生长

Effect of Topping of Tobacco Plants on Mineral Elements in Upper Leaves

Huicai Wu¹, Jianping Sun¹, Weimin Fu¹, Yao Zhang², Shengzhe Ji², Peng Liu^{2*}

¹Shandong Laiwu Tobacco Company Limited, Jinan Shandong

²College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

Received: Aug. 21st, 2023; accepted: Nov. 1st, 2023; published: Nov. 9th, 2023

Abstract

Topping and wiping is a very important step in the tobacco process, which not only improves the redistribution and utilisation of nutrients in the tobacco plant and improves the quality of tobacco, but also inhibits the reproductive growth of the tobacco plant, prolongs the time of nutrient growth and improves the quality of tobacco. In this experiment, by comparing the changes of min-

*通讯作者。

eral elements and soil quick-acting potassium content in the upper leaves before and after topping of nine roasted tobacco varieties, it was found that the content changes of different elements before and after topping varied, which were as follows: the content of K^+ and Cu^{2+} decreased before and after topping, the content of Ca^{2+} and Cl^- increased, and the soil quick-acting potassium content increased. Measurement and analysis of different nutrient elements to clarify the changing trend of each element has important reference value for the subsequent production of high-quality top-dressing tobacco.

Keywords

Topping, Mineral Element, Tobacco Growth

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

打顶, 顾名思义, 去除顶端, 是指通过抑制非目的器官对营养物质和能量的吸收, 进而为其他部位提供充足能量促进其旺盛生长的技术措施[1]。打顶可以去除顶端优势, 起到对烟草体内营养物质再分配的作用, 提高叶片营养物质和香气物质的含量, 还能促进根系发育, 减少烟叶病虫害, 提高烟叶烟碱的含量, 提升烟叶品质和产量。

烟叶未打顶时, 由于顶端优势的存在, 顶芽的细胞生长迅速、代谢旺盛, 所需营养物质较多, 由根系吸收的营养物质和通过烟草叶片光合作用合成的营养物质会优先供给到植株顶端, 这就会造成叶片中的营养物质含量降低, 叶片发育受阻, 同时由于顶芽的存在, 新生烟叶的生长也会受到一定的不良影响, 整个烟株的长势也会变差。经过打顶后, 之前需要分配到顶端的营养物质便可以得到有效利用, 根系吸收的营养也可以分配到上中下部叶片中, 叶片得到充分发育, 叶片经过光合作用产生的碳水化合物含量也会增加, 有研究表明, 在一定范围内, 随着烟叶成熟度的增加, 烟叶中的果糖、葡萄糖和蔗糖的含量均有增加[2], 这也有利于烟草工业中的优质烟叶的生产。打顶能促进根系发育[3]。通过打顶抹杈可以促进烟株次生根的萌发, 使根群发达, 茎秆粗壮坚实, 增强了抗风抗倒扶的能力。解莹莹等通过研究发现打顶还会影响烟叶中烟碱的含量, 对于中下部烟叶, 打顶越早, 烟碱、降烟碱的含量越高; 上部叶则表现出相反的趋势, 即打顶越晚, 烟碱和降烟碱的含量越高[4]。打顶还可以减少烟叶上的病虫害。

本文通过对打顶前后上部叶矿质元素含量的变化的研究, 发现不同元素在打顶前后含量变化具有差异, 这可能会为后续指导烟叶生产提供一些参考。

2. 材料与方

2.1. 试验材料

不同品种烤烟打顶前后上部烟叶矿质元素含量变化以及土壤速效钾离子(0~10 cm 土层)含量变化试验在山东省莱芜烟区(36°20' N, 117°83' E)进行, 海拔 197 m, 年平均气温 15°C, 年均降水量 622.9 mm。试验材料为中国农科院烟草研究所提供的九种不同品种烤烟(高琼糖脂 K326、集中落黄 K326、对照组 K326、中烟 300、中烟特香 301、特香 18、中川 208、云烟 301、NC55)。土壤质地为砂壤土, 田间最大持水量 35%, 容重 1.2 g/cm³, 有机质含量为 19.5 g/kg, 碱解氮 94.94 mg/kg, 速效磷 63.03 mg/kg, 速效

钾 209.01 mg/kg, 土壤 pH 7.38。

2.2. 测量方法

钾、钙元素含量的测定参照 YC/T 173-2017、YC/T 174-2003, 铜离子的测定采用原子吸收光谱法[5], 氯离子的测量则参考孔浩辉等人的方法使用连续流动分析仪进行[6], 最后, 使用火焰原子吸收分光光度计测定土壤速效钾的含量[7] [8]。

结果计算: 土壤速效钾(K)mg/kg = 待测液 mg/L × 加入浸提剂毫升数/风干土重。

2.3. 数据处理

利用 Microsoft Office Excel 2016 进行数据的初步统计以及处理; 利用 SPSS 软件对数据进行进一步的显著性差异分析以及相关分析; 利用 Origin 2023 对已经处理的数据进行绘图。

3. 结果

3.1. 打顶前后不同品种烤烟上部叶中各离子含量的差异

3.1.1. 打顶前后不同品种烤烟上部叶钾含量差异

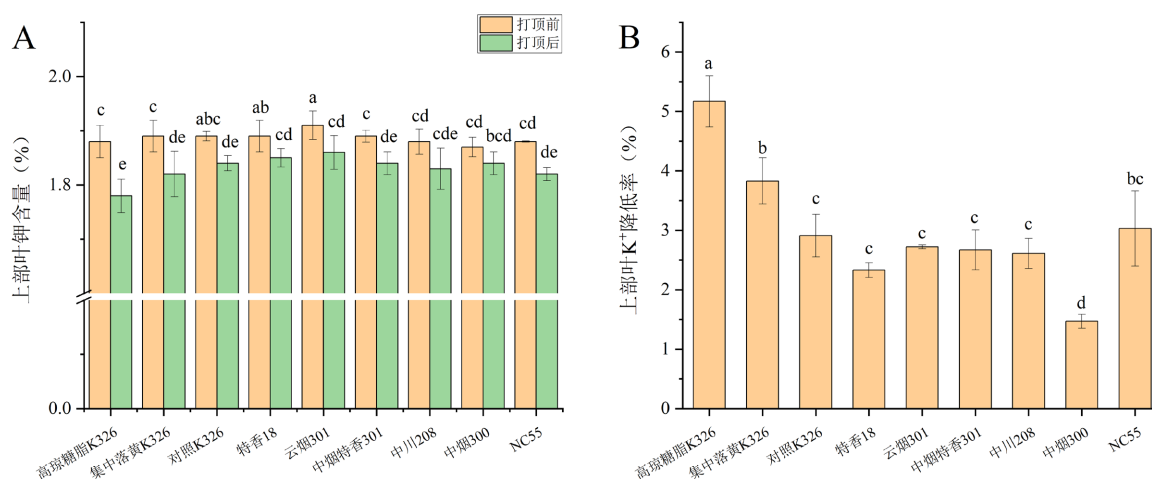


Figure 1. Changes in potassium content before and after topping (A) and its rate of reduction (B) for nine different tobacco varieties

图 1. 9 种不同烤烟品种在打顶前后钾含量变化(A)及其降低率(B)

钾能显著提升烟叶的阴燃性, 提升烟叶质量。从图 1(A)可以看出, 此次试验所用的九个烟草品种在打顶前后上部烟叶的钾含量出现了明显变化, 所有品种均有降低。打顶前上部叶钾含量最高的是云烟 301, 为 1.91%, 其次是集中落黄 K326、对照 K326、特香 18 和中烟特香 301, 钾含量均为 1.89%, 再次是高琼糖脂 K326、中川 208 和 NC55, 为 1.88%, 最低的是中烟 300, 钾含量为 1.87%; 打顶后上部烟叶钾含量最高的是云烟 301 和特香 18, 分别为 1.86%、1.85%, 中烟特想 301、中烟 300、对照 K326 都为 1.84%, 最低的是高琼糖脂 K326, 钾含量为 1.78%。

从图 1(B)这九个烤烟品种的钾含量降低率来看, 不同品种的烤烟钾含量降低率都有所不同。打顶前后钾含量降低率从高到低分别为: 高琼糖脂 K326 (5.17%)、集中落黄 K326 (3.83%)、NC55 (3.03%)、对照 K326 (2.91%)、云烟 301 (2.72%)、中烟特香 301 (2.67%)、中川 208 (2.61%)、特香 18 (2.33%)、中烟 300 (1.47%)。

3.1.2. 打顶前后不同品种烤烟上部叶钙含量差异

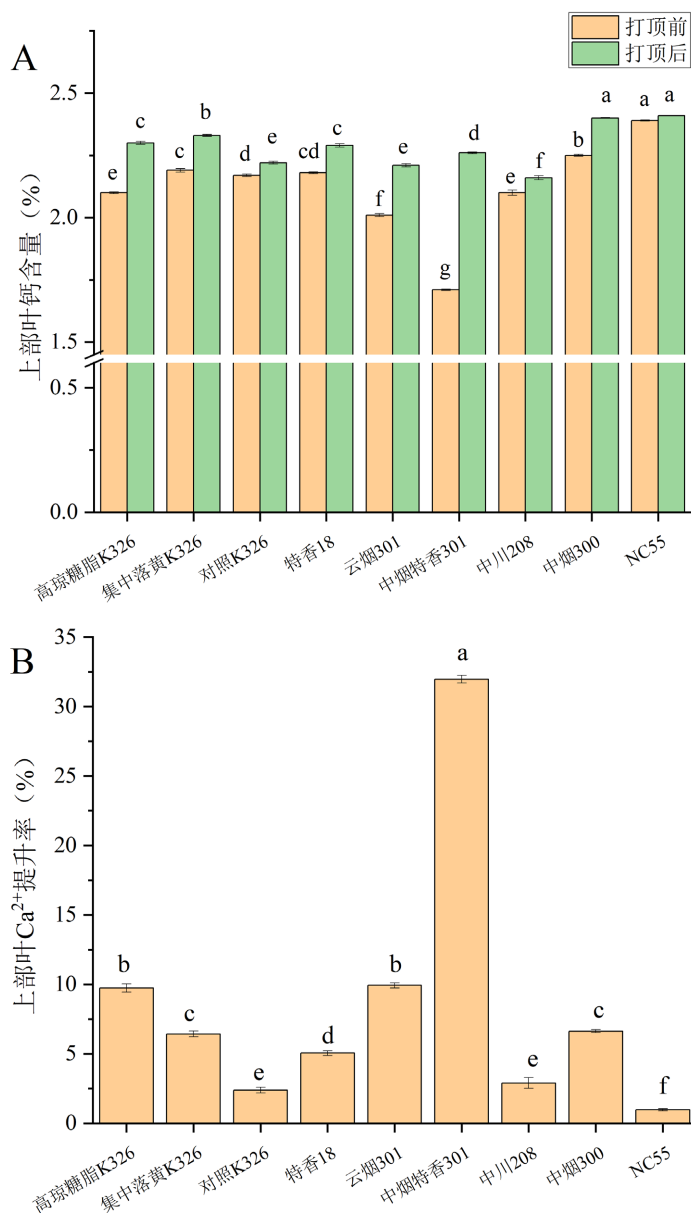


Figure 2. Changes in calcium content before and after topping (A) and its enhancement rate (B) of nine different tobacco varieties

图 2. 9 种不同烤烟品种在打顶前后钙含量变化(A)及其提升率(B)

由图 2(A)可知, 在打顶前后上部叶中的钙离子含量是成增加趋势。除中烟特香 301 烤烟品种(1.71%)以外, 剩余 8 个烤烟品种中的钙离子含量均在 2.00%以上, 其中钙离子含量最高的是 NC55, 为 2.39%; 打顶后, 上部叶中的钙离子均有不同程度的增加, 其中, 钙离子含量最高的还是 NC55, 为 2.41%, 最低的是中川 208, 为 2.16%。

从图 2(B)钙离子的提升率来开, 打顶前后钙离子差异最大、提升最多是中烟特香 301, 提升率为 31.97%, 比剩余 8 个烤烟品种高 3~10 倍, 钙离子提升最少的是 NC55, 为 0.97%。

3.1.3. 打顶前后不同品种烤烟上部叶铜含量差异

由图 3(A)可知, 在打顶前后, 烟株上部叶中铜离子的含量也有不同程度的降低。在打顶前, NC55 和集中落黄 K326 中铜离子含量均超过了 40.00 mg/kg, 其中, NC55 品种的烤烟铜离子含量最高, 达到了 45.73 mg/kg, 其次是集中落黄 K326, 铜离子含量为 40.63%; 特香 18 (38.30 mg/kg)、对照 K326 (35.30 mg/kg)、中烟 300 (34.57 mg/kg)、中川 208 (33.13 mg/kg)、高琼脂糖 K326 (30.87 mg/kg) 中铜离子的含量也均达到了 30.00 mg/kg 以上; 云烟 301 和中烟特香 301 中的铜离子含量最低, 分别为 27.43 mg/kg 和 26.00 mg/kg。打顶后, NC55 中铜离子的含量也为最高, 为 35.10 mg/kg, 中烟 300、中烟特香 301、中川 208、集中落黄 K326、对照 K326、云烟 301 中的铜离子含量也在 20.00 mg/kg 以上, 特香 18 和高琼脂糖 K326 则最少, 分别是 18.90 mg/kg 和 17.17 mg/kg。

从图 3(B)中铜离子的降低率来看, 特香 18 铜离子含量降低的最多, 达到了 50.65%, 中烟特香 301 降低的最少, 为 7.67%。

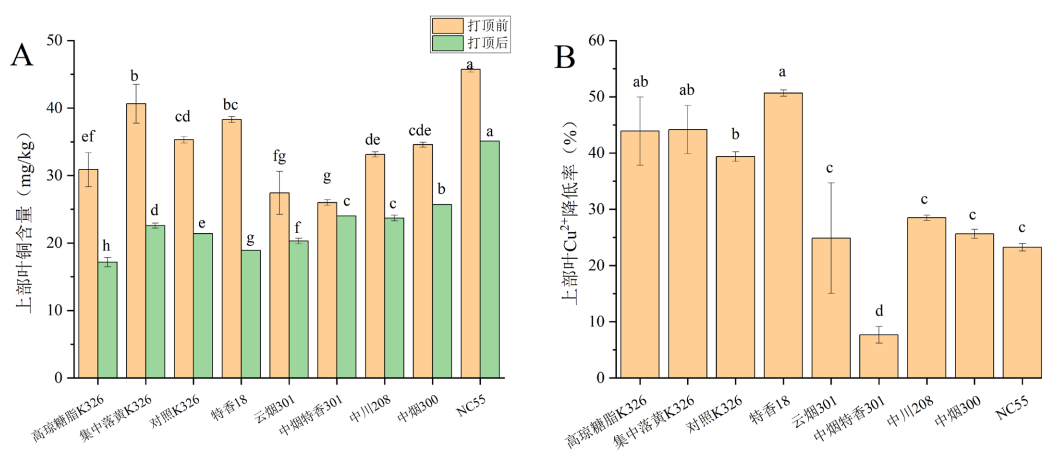


Figure 3. Changes in copper content before and after topping (A) and its rate of reduction (B) in nine different tobacco varieties

图 3. 9 种不同烤烟品种在打顶前后铜含量变化(A)及其降低率(B)

3.1.4. 打顶前后不同品种烤烟上部叶氯含量差异

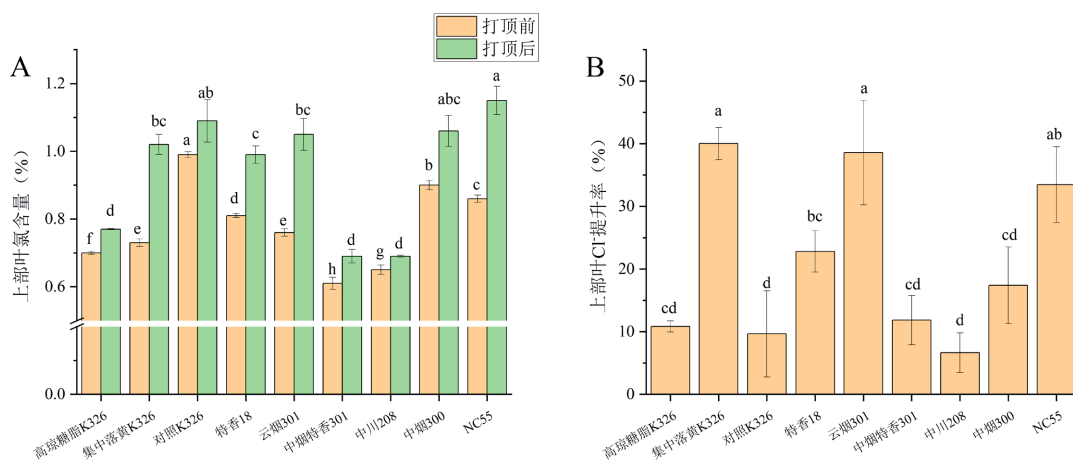


Figure 4. Changes in chlorine content before and after topping (A) and its enhancement rate (B) in nine different tobacco varieties

图 4. 9 种不同烤烟品种在打顶前后氯含量变化(A)及其提升率(B)

烟草是忌氯作物，烟叶中氯过量会导致烟叶的质量下滑，抽吸体验下降。由图 4(A)可以看出，在打顶前后上部叶中氯离子的含量均有所提升。在打顶前，对照 K326 和中烟 300 中的氯含量最高，均达到了 0.90%，其中，对照 K326 为 0.99%，中烟 300 为 0.90%，中川 208 和中烟特香 301 氯离子含量在 0.70% 以下，其中，中川 208 为 0.65%，中烟特香 301 为 0.61，为最低氯离子含量。在打顶后，各个烤烟品种的氯离子含量均开始提升，其中 NC55 含量最高，达到了 1.15%，中烟特香 301 和中川 208 还是最低，氯离子含量均为 0.69%。

从图 4(B)氯离子的提升率可以看出，集中落黄 K326、云烟 301 和 NC55 的提升率最高，分别是 40.03%、38.58%和 33.46%，均在 30.00%以上水平；而中川 208 则提升率最低，为 6.64%。

3.2. 打顶前后土壤速效钾含量的变化

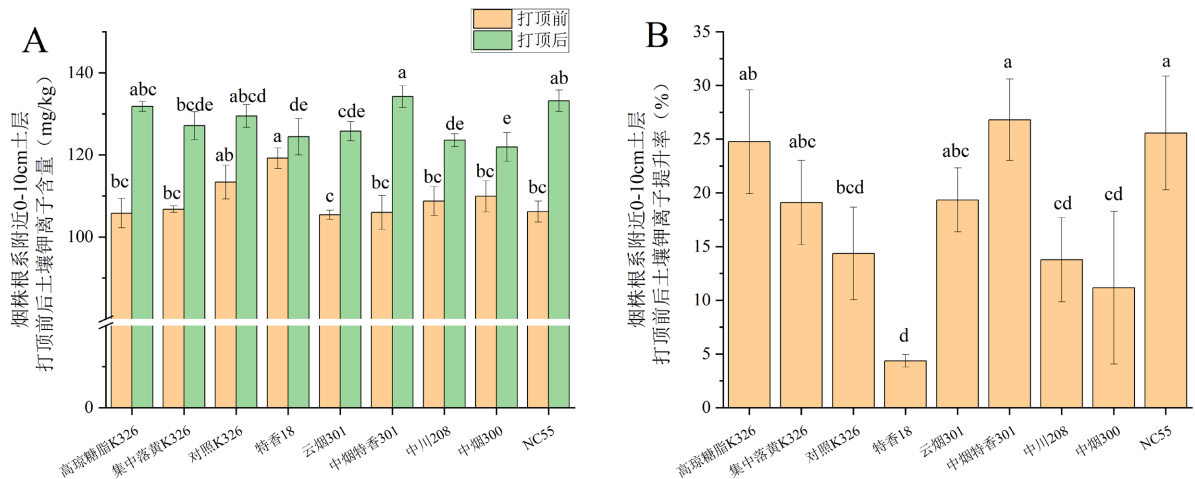


Figure 5. Changes in soil quick-acting potassium content (A) and its enhancement rate (B) in the vicinity of the root system 0-10 cm before and after topping of nine different tobacco varieties

图 5. 9 种不同烤烟品种根系附近 0~10 cm 在打顶前后土壤速效钾含量变化(A)及其提升率(B)

由图 5(A)可知，通过对烟株根系附近 0~10 cm 土层土壤钾离子含量的测定可以看出，打顶前后土壤钾离子含量是有所增加的。在打顶之前，种植特香 18 和对照 K326 的土壤中钾离子含量最高，为 119.20 mg/kg，和 113.38 mg/kg；剩余 7 个品种土壤钾含量也均高于 105.00 mg/kg，其中，土壤钾离子含量最低的是云烟 301，为 105.41 mg/kg。打顶后，中烟特香 301、NC55、高琼糖脂 K326 的土壤钾含量均在 130.00 mg/kg 以上，分别为 134.24 mg/kg、133.18 mg/kg、131.81 mg/kg；其余烤烟品种的土壤钾含量都在 120.00 mg/kg 以上，其中最低的是中烟 300，为 121.92 mg/kg。

土壤钾含量提升率由高到低分别是：中烟特香 301 (26.81%)、NC55 (25.57%)、高琼脂糖 K326 (24.76%)、云烟 301 (19.34%)、集中落黄 K326 (19.09%)、对照 K326 (14.36%)、中川 208 (13.77%)、中烟 300 (11.17%)、特香 18 (4.36%)。

3.3. NC55 烤烟品种六种矿质元素之间的相关性分析

从图 6 中可以看出，六种离子之间相关性均显著。上部烟叶钾离子含量与铜离子、钠离子、镁离子以及钙离子含量相关性均显著。其中钾离子含量与铜离子、钠离子、钙离子以及氯离子含量在 0.01 级别(双尾)相关性显著；上部烟叶钾离子含量与镁离子含量在 0.05 级别(双尾)相关性显著。五种离子中与钾离子含量与铜离子含量相关性系数绝对值最大；其次是钙离子含量；相关性系数绝对值最小为镁离子含量。

除钾离子之外，钙离子、镁离子、钠离子以及氯离子均与铜离子相关性最显著。

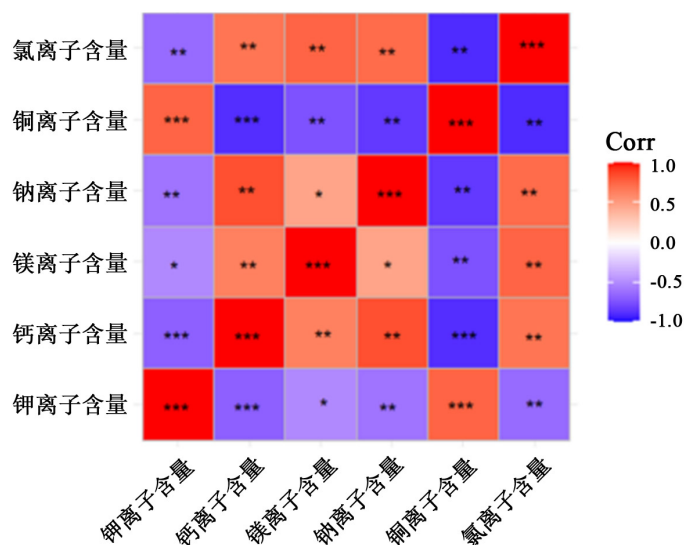


Figure 6. Heat map of correlation analysis between six mineral elements in the upper leaves of NC55 flue-cured tobacco cultivars

图 6. NC55 烤烟品种中上部叶六种矿质元素之间的相关分析热图

4. 讨论

打顶可以促进烟株发育，增加烟株生物量，提高烟叶的产量和质量，有利于优质烟叶的生产。但是在打顶前后上部叶片中的矿质元素含量有些差异，这些元素的差异可能会对上部叶的质量产生影响。

4.1. 钾离子含量变化

烟株打顶不仅可以去除花苞，抑制它的生殖生长，延长营养生长的时间，可以在一定程度上提高烟叶质量和品质，还可以去除烟株的顶端优势，合理分配烟株从土壤中吸收的营养物质。打顶后顶端的生长素(IAA)合成受阻，生长素含量降低，有研究指出，生长素能够促进维管组织的分化[9]，对植物局部进行施加外援生长素或生长素类似物时，该部位和周围地区的维管组织相对发达[10]，而维管组织的分化又能促进植物对矿质元素的运输、分配和利用，烟株打顶后，生长素不足导致维管组织发育相对较缓，影响了对上部叶的钾的运输。同时，有研究指出，IAA 可以诱导质膜上 K^+ 通道相关基因的表达[11]，增强细胞对钾的吸收，烟株打顶后 IAA 含量减少，可能对质膜上钾离子的内外运输也产生了一定影响。Lippmann, B.等通过对玉米的试验发现，通过接种能产生生长素的菌株，可以提高植物体内的钾含量[12]。

郭丽琢等通过对 K326 烟草品种的研究发现，与不打顶相比，打顶并未增加烟株最终的干物质及 K^+ 累积量[13]。邱尧等对 K326 的研究也发现，未打顶的烟株中钾积累水平要比打顶烟株的钾积累水平高，经过打顶，烟株中钾离子的浓度降低，K 素的吸收量也有一定的下降[14]。植物钾利用率下降后，植物体内 K^+ 含量较少，使得土壤中的速效钾得到了及时补充，提高率土壤速效钾的含量。

4.2. 上部烟叶钙离子含量增加

烟株打顶后可以减少病虫害的发生，未打顶时，顶端的花蕾会对昆虫产生吸引，导致顶端虫害的发生，同时在害虫体内或体表可能存在对烟株有侵染的病菌，导致烟株病害的发生，这些都会导致烟株增加感染风险，影响烟叶质量。钙(Ca)作为植物生长发育所需要的中量元素，在植物中发挥着重要作

用。

打顶后烟株顶端产生了伤口,容易感染病害,现已有文献证明,钙可以减少植物病害的发生[15]。当病原体侵染植物时,钙可通过诱导植物产生免疫,增强植物的抗病性。同时,Arbia Arfaoui 等通过对大豆的研究发现, Ca^{2+} 可以增强大豆体内防御相关基因的表达来应对菌核病[16]。王丁等人通过使用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 研究对壶瓶枣黑顶病发生率的影响发现,不同浓度的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 均能降低壶瓶枣感染黑顶病的发病率[17]。烟株打顶后,顶部的伤口为外界的病菌的进入提供了大门,植物作为相应,增加了对 Ca^{2+} 的吸收,提高了自身的免疫能力,以此来对抗外来的病菌,从而减少植物病害的发生。

同时, Ca^{2+} 在植物组织形成过程中也具有重要作用。钙对细胞壁具有强化作用,有研究表明,钙与中胶层的结合越紧密,细胞壁强度则越大[18],细胞壁同时也是阻拦病菌侵入的第一道防线,细胞越安全。 Ca^{2+} 在提高植物抗氧化能力的报道也有很多。

4.3. 上部烟叶铜离子含量降低

打顶前后上部叶片中铜离子含量降低,这可能与铜离子和钙离子之间存在拮抗作用有关。徐照丽等通过利用铁、铜间相互作用减轻对 K326 烤烟铜毒害的研究发现,在低浓度的铜离子的情况下,烟株对铁的吸收量增加,反之当铜离子浓度高时,植物的吸铁量下降[19]。同时,铜作为植物生长发育所需要的微量元素,若过量,则会对植物产生不良影响。过量的铜会导致植物产生过多的活性氧,造成活性氧的生成和消除之间的平衡被打破,致使细胞受到损害[20]。

4.4. 上部烟叶氯离子含量增加

烟草虽为忌氯植物,但是适量的氯可以提高烟叶品质,有研究指出,烟叶中的氯占烟株总量的 80% 以上[21]。氯可以维持细胞正常的渗透压[22],氯通常以负一价阴离子的形式被植物根系吸收后利用。氯会降低植物的水势,以此来帮助植物吸收土壤里的水分和细胞的水分分配,水是植物营养物质的溶剂,提高植物吸收由根系运输上来的养分的效率和叶片之间光合作用产生的有机物的转运效率。氯还可以提高对氮的利用率[23]。烟株打顶后产生的伤口的愈合需要大量的能量和营养物质,提高氮的利用率,进而增强植物生产蛋白质的能力,加快伤口的愈合速度。邹长明等通过使用氯化肥对水稻的研究中发现,长期使用显著减少水稻对 P、Mu、Cu、Ca、Si 的吸收[24]。

烟株打顶后,由于顶端优势的消失,营养物质的分配由原来的供应顶端逐渐向上部叶片转移,顶端和上部叶中各离子的含量也会存在一定的变化,通过对 NC55 烤烟上部叶中各离子之间的相关性分析(图 6)可以看出,上部烟叶钾离子与铜离子相关性最强,钙离子次之,与镁离子相关性最差。除铜离子外,其他四种离子变化趋势与钾离子变化趋势相反。变化趋势相反的四种离子中钙离子与钾离子相关性系数绝对值最大。有研究表明钙离子通过调节钙调素 CaM 信号途径来调节烟株对钾离子的吸收,当钙离子含量过高,CAM 可以通过影响钾离子通道蛋白的基因表达来控制钾离子的转运[25]。

5. 结论

打顶抹杈在烟草生产工艺过程中具有重要的作用,是烟叶生产过程不可缺少的一环。充分的营养元素供应,可以保证烟叶正常发育,为后续优质烟叶的生产提供基础和保障。通过此次研究发现,在打顶后烟株上部叶中不同的矿质元素含量存在着不同的变化, K^+ 、 Cu^{2+} 含量降低, Ca^{2+} 、 Cl^- 含量增加,土壤速效钾的含量增加。现已有研究表明,烟叶中 K^+ 含量与烟叶中香气物质的含量呈正相关[26],对打顶后的烟株进行合理的控钾能有效提高烟叶的质量。但对打顶后烟叶中各矿质元素含量的变化、各元素之间的关系及其背后的机理还需要进一步研究。

基金项目

山东省烟草公司重点项目——打顶后抑制上部烟叶钾回流技术示范与推广(KN300)资助。

参考文献

- [1] 王熹, 陶龙兴, 徐仁胜, 等. 初论杂交稻粒间顶端优势[J]. 作物学报, 2001(6): 980-985.
- [2] 贾中林, 尹启生, 陈广晴, 等. 成熟度对烤烟上部烟叶生理特性及烟叶质量的影响[J]. 江西农业学报, 2023, 35(4): 1-7.
- [3] 闫晓海, 肖梦月. 烟草打顶循环一体机结构设计[J]. 农业技术与装备, 2022(8): 40-42.
- [4] 解莹莹. 施肥和打顶对烤烟中主要含氮化合物含量的影响[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2004.
- [5] 聂根新, 罗林广, 何宽信, 等. 微波消解——原子吸收法测定烟叶中铜铁锰锌钙镁钾含量[J]. 江西农业学报, 2004(2): 43-45.
- [6] 孔浩辉, 郭璇华, 沈光林, 等. 烟草中氯含量连续流动分析法的改进[J]. 烟草科技, 2008(2): 28-32+41.
- [7] 许敬山. 精确测定土壤钾的有效方法[J]. 黑龙江农业科学, 2009(4): 165-466.
- [8] 程红霞. 土壤钾素变化定量测定方法分析[J]. 农业与技术, 2015, 35(24): 32.
- [9] 葛颜锐, 赵冉, 徐静, 等. 植物维管形成层发育及其调控的研究进展[J]. 生物技术通报, 2023, 39(3): 13-25.
- [10] Demura, T. (2014) Tracheary Element Differentiation. *Plant Biotechnology Reports*, **8**, 17-21. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0293-0>
- [11] Claussen, M., Lütke, H., Blatt, M., et al. (1997) Auxin-Induced Growth and Its Linkage to Potassium Channels. *Planta*, **201**, 227-234. <https://doi.org/10.1007/BF01007708>
- [12] Lippmann, B., Leinhos, V. and Bergmann, H. (1995) Influence of Auxin Producing Rhizobacteria on Root Morphology and Nutrient Accumulation of Crops. I. Changes in Root Morphology and Nutrient Accumulation in Maize (*Zea mays* L.) Caused by Inoculation with Indole-3-Acetic Acid (IAA) Producing Pseudomonas and Acinetobacter Strains or IAA Applied Exogenously. *Journal of Applied Botany*, **69**, 31-36.
- [13] 郭丽琢, 张福锁, 李春俭. 打顶对烟草生长、钾素吸收及其分配的影响[J]. 应用生态学报, 2002(7): 819-822.
- [14] 邱尧, 周冀衡, 黄助理, 等. 打顶后供钾水平对烟草体内钾素积累分配的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(1): 68-72.
- [15] 王芳, 李振轮, 陈艳丽, 等. 钙抑制植物病害作用及机制的研究进展[J]. 生物技术通报, 2017, 33(2): 1-7.
- [16] Arfaoui, A., El Hadrami, A., Adam, L.R., et al. (2016) Pre-Treatment with Calcium Enhanced Defense-Related Genes' Expression in the Soybean's Isoflavones Pathway in Response to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **93**, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2015.11.004>
- [17] 王丁, 付瑞敏, 刘春雷, 等. Ca(OH)₂ 防治枣黑顶病及对果实营养的影响研究[J]. 中国南方果树, 2022, 51(4): 177-181.
- [18] 王萌, 许孝瑞, 刘成连, 等. 钙营养对温室毛桃果实品质及生理生化特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(8): 219-222.
- [19] 徐照丽, 张晓海. 利用铁、铜间相互作用减轻烤烟铜毒害的研究[J]. 中国烟草科学, 2006(2): 37-40.
- [20] 巩丽, 刘振东, 高晗, 等. 微量元素过量对农作物的危害[J]. 现代农业科技, 2017(8): 132-134.
- [21] 马瑞, 王西娜, 余顺博, 等. 土壤中氯的累积状况及其对植物的营养和毒害作用[J]. 现代农业科技, 2022(23): 143-146+155.
- [22] 曹恭, 梁鸣早. 氯平衡栽培体系中植物必需的微量元素[J]. 土壤肥料, 2004(4): 53-54.
- [23] 郑青松, 杨文杰, 刘兆普, 等. 外源氯处理对向日葵幼苗生长、养分吸收及植株硝态氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007(6): 1161-1165.
- [24] 邹长明, 高菊生, 王伯仁, 等. 长期施用含氯化肥对水稻生长和养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2004(6): 182-184+195.
- [25] Wang, Y., Dai, X., Xu, G., et al. (2021) The Ca(2+)-CaM Signaling Pathway Mediates Potassium Uptake by Regulating Reactive Oxygen Species Homeostasis in Tobacco Roots under Low-K(+) Stress. *Frontiers in Plant Science*, **12**, Article ID: 658609. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.658609>
- [26] 赵铭钦, 刘金霞, 黄永成, 等. 不同起垄方式与钾肥施用方法对烤烟中性致香物质含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007(9): 58-62.