

烟草镁素营养研究进展

邓超², 王能如^{*}, 王东胜, 李章海, 董昭荣, 何明雄

(1. 中国科学技术大学, 安徽合肥 230052; 2. 安徽农业大学, 安徽合肥 230036; 3. 广西壮族自治区烟草公司河池市公司, 广西河池 547000)

摘要 对镁元素在植物生长发育中的作用、烟草对镁的吸收、分配及烟草缺镁原因和镁肥施用等有关研究进行了综述, 提出了烟草镁素营养的研究方向和研究重点。

关键词 烟草; 镁素营养; 镁含量; 镁肥

中图分类号 S572 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)19-08123-04

Progress of Study on Tobacco Magnesium Nutrition

DENG Chao et al (University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230052)

Abstract The relative research on the effect of magnesium(Mg) element during plant growth, the absorption and distribution of magnesium in tobacco, the reason of Mg deficiency and magnesium Mg fertilizer application were summarized and the direction and key points of the research on tobacco magnesium nutrition were proposed through summary.

Key words Tobacco; Magnesium nutrition; Magnesium content; Magnesium fertilizer

我国烟草种植面积在 100 万 hm^2 左右, 无论面积还是总产, 都居世界首位^[1]。烟草在我国财政收入和“三农”经济发展中具有重要地位。镁是影响烟草生长发育重要营养元素之一, 烤烟对镁的吸收量仅次于钾, 在缺镁土壤上施用镁肥, 对烟草生长发育和产量、产值具有很大作用。可见, 开展烟草镁素营养研究, 对烟叶经济发展具有重要意义。多年来, 人们对植物镁素营养开展了许多研究, 笔者就烟草镁素营养的研究进展进行概述。

1 镁在植物生长发育中的作用

1.1 镁与植物光合作用 镁存在于植物体内叶绿素分子中心, 占叶绿素分子量的 2.7%, 对于维持叶绿体结构具有举足轻重的作用。植物一旦缺镁, 叶绿体结构受到破坏, 基粒数下降、被膜损伤、类囊体数目降低^[2]。镁对类囊体膜的主要作用是在分子水平上维持天然色素、作用中心和膜的一定构象, 维持电子载体之间的密切关系, 以保证光能的有效吸收、传递和转化^[3]。左宝玉等研究发现, 补充镁素不仅可使基粒片层和基质片层界限分明, 堆叠有序, 而且可使基粒类囊体膜之间堆叠更加紧密; 而在无镁的情况下却松散成各种状态^[4]。基粒的堆叠意味着捕获光能机构的高度密集, 有利于光合膜色素间的能量传递, 高效利用所吸收的光量子并迅速地把它转化为化学能。

研究表明, 镁能逆转亚麻酸对光合膜造成的损伤^[5], 堵塞短杆菌肽 D 造成类囊体膜对 H^+ 的漏洞, 保持光合膜内外的质子梯度, 促进磷酸化作用形成更多的 ATP。镁能提高 PS 活性和原初光能转化效率, 调节 PS 和 PS 之间激发能的分配, 使叶绿体 2 个光系统之间的激发能分配迅速达到平衡, 而这种平衡是植物维持高的光合效率所需的内部状态^[6]。研究表明, 缺镁龙眼叶片的 F_v/F_o 、 F_v/F_m 和 F_d/F_s 比值均明显下降, 与正常值相比, 差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)^[7]。杨广东等研究发现, 强光下缺镁黄瓜叶片的 F_v/F_o 、 F_v/F_m 显著降低^[8]。PS 功能的降低不利于植物叶片把其捕获的光能转化为生物化学能, 为光合碳同化提供

充足的能量。叶绿素含量下降和 PS 功能变化造成光合作用速率明显降低。生长在强光下的植物, 叶片吸收过剩光能会使光合器官的光化学效率和光合速率降低即发生光抑制^[9]。还有研究表明, 缺镁植物叶片容易发生或加剧光抑制现象^[10]。就烟草而言, 适量施 Mg^{2+} 可促进其生长发育, 改善其植物学性状, 增加质体色素(叶绿素和类胡萝卜素)含量, 提高植株光合强度, 从而提高烟叶品质, 显著增加产量^[11-12]。

1.2 镁与植物酶活化 镁是多种酶的辅助因子。参与植物体光合作用、糖酵解、三羧酸循环、呼吸作用、硝酸盐还原等过程的酶, 几乎都需要镁来激活^[13]。在叶绿体中的 1,5-二磷酸核酮糖 (RuDP) 羧化酶的激活中, 镁提高了酶与二氧化碳的亲合性。镁在 ATP 或 ADP 的焦磷酸盐和酶分子之间呈桥式结合, ATP 酶的活化就是通过这种复合物引起的。涉及三磷酸腺苷 (ATP) 磷酸转移的大多数反应都需要镁。一般认为, 镁与磷酸功能团生成螯合结构, 形成一种在转移反应中达到最大活性的构型。能量转移的基本过程发生于光合作用、糖酵解、三羧酸循环和呼吸过程中, 所以, 镁在光合作用、糖酵解和三羧酸循环等几乎所有磷酸化过程的酶促反应中都发挥了辅助因子的作用。

1.3 镁与蛋白质和脂肪合成 镁是核糖体的结构组分, 可稳定核糖体颗粒在蛋白质合成中所需的构型, 还可激活氨基酸生成多肽链, 进而合成蛋白质。镁与植物中合成油脂有关, 它与硫一起作用, 油脂含量会大大提高。

1.4 镁与植物衰老 缺镁叶片, 光合同化力 NADPH 供给暗反应的能量减少, 积累过剩电子传递给氧, 使植物体内活性氧含量大大增加, 过度的活性氧引发和加剧生物膜脂过氧化作用, 膜系统受到破坏, 膜透性增加, 细胞内生理生化反应紊乱, 在植物外观上表现烧灼、失绿、坏死症状。叶绿素丧失是植物叶片衰老最明显的外部特征。陈星锋盆栽试验指出, 缺镁使烟叶叶绿素 (Chl) 和类胡萝卜素 (Car) 极显著 ($P < 0.01$) 降低; 同时, 叶片中的活性氧清除系统的酶 (SOD, POD, CAT) 活性显著 ($P < 0.05$) 增高, 使烟叶过早衰老, 无法正常成熟。

2 烟草镁素营养特性

2.1 烟草对镁的吸收与分配 植物对镁的吸收比钾慢, 对镁

基金项目 广西壮族自治区烟草专卖局(桂烟科[2006]1号)。

作者简介 邓超(1983-), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向: 烟草栽培。* 通讯作者。

收稿日期 2008-03-28

的吸收速率大约只有钾的一半。土壤溶液中镁离子浓度较低时,烟草对镁的吸收是主动过程,反之,则是被动过程。烤烟在不同的生长时期对镁的吸收速率有明显差异。移栽后第1周,烟草从土壤中吸收的镁很少,这是因为移栽环节使根系有所损伤,此时正处于根系适应与生长阶段,根系的吸收能力尚未恢复。从第3周开始,根系已经恢复吸收功能,而且根系量同移植前相比有了较大的提高,所以对镁的吸收量增加。进入第5周后,吸镁急剧增加。移栽后7~9周,达到高峰期。烟株体内镁的最大累积速率与干物质的最大累积速率并不完全重合,而是养分累积速率略超前于干物质累积速率,即烟株首先为烤烟的超快速生长准备物质基础。

镁在土壤和烟草体内均以正二价离子态存在。在同一烤烟植株中,不同部位镁的含量明显不同,一般而言,烟叶>根部>茎秆>顶芽和腋芽,即烟叶含镁量最高,顶芽和腋芽含镁量最低。烟叶中的含镁量还与生态区域有关,成熟烟叶中的镁含量一般是云南>山东、贵州、河南>湖北和皖南。

2.2 烟草对镁素含量的要求 烟草需要一定数量的镁素营养。缺镁会使烟草生长发育异常,产量和品质严重降低,但镁含量太多时,根系发育受阻,茎秆木质部不发达,叶组织细胞增大但数量减少。缺镁时,烟叶灰分含量增加,淀粉贮备减少(McMurtrey)。适量镁对烟叶燃烧性十分重要,但镁过量会降低燃烧性(Anderson)。缺镁条件下施用镁肥可以增加水溶性碳水化合物含量,降低蛋白质和烟碱含量(Kovalev)。研究表明,烟叶镁含量处于0.4%~1.5%(干重)为正常状态,但也有报道认为,烟叶含镁量以0.48%~0.98%较为合适。

2.3 烟草缺镁症状 镁是活动性元素,在植物体内移动性强,再利用性好。植物组织中70%的镁是可移动的,与无机阴离子和苹果酸盐、柠檬酸盐等有机阴离子相结合。所以,植物缺镁时,首先会在低位衰老叶片上表现症状。缺镁症大多发生在植物生长发育的中后期。缺镁烟叶先在叶尖、叶缘脉间失绿,叶肉由淡绿色转为黄绿或白色,但叶脉仍呈绿色,失绿部分逐渐扩展到整叶,使叶片形成清晰的网状脉纹。严重缺镁时,下部叶几乎变成黄色或白色,叶尖、叶缘枯萎,向下翻卷,调制后呈暗灰色,无光泽或呈浅棕色,油分差,无弹性^[14-15]。

2.4 烟草缺镁诊断 烤烟在不同的生长时期对镁的吸收量有明显差异。团棵期,烟株干物累积速度不断加快,对镁的吸收量不断增加;旺长期,烟株干物累积达到高峰,对镁的吸收量也趋向高峰;此后,干物累积有所下降,烟叶逐渐成熟,根系活力减退,对镁的吸收也逐渐减少。陈星峰研究表明,烤烟镁素营养临界值,团棵期下部叶镁含量为0.31%(干重),旺长期下部叶镁含量为0.25%(干重)。

有研究认为,烟叶镁含量为0.4%~1.5%(干重)属于正常,0.2%~0.4%为轻度缺镁,小于0.2%为明显缺镁^[16]。也有报道称,烟叶镁含量在0.41%~0.47%时不足,在0.48%~0.98%时适宜。还有研究认为,当烟叶镁含量在0.15%左右时,有明显缺镁症状发生,大于0.25%时一般不缺镁^[17]。邵岩通过水培试验,提出烟草缺镁临界值为0.36%^[18]。

3 烟草缺镁的相关背景

3.1 土壤镁素状况

3.1.1 土壤中的镁含量。地壳中镁含量平均为21

g/kg^[19-21],由于含镁矿物风化,镁遭淋失,土壤中镁含量平均为5g/kg,土壤镁含量变幅相当大,范围为0.5~40.0g/kg,但大多数土壤的含镁量为3~25g/kg^[22]。我国南方地区全镁含量一般是0.6~19.5g/kg,平均为5g/kg左右;北方土壤含镁量一般为5~20g/kg,平均为10g/kg左右^[19],一般砂土为0.5g/kg、粘土为5g/kg。谢建昌等曾对红壤区几种主要土壤的镁素供应状况进行调查,发现在我国大面积的红壤中,全镁量一般为0.6~3.0g/kg,进而把土壤的镁素供给力分为3类,第1类是镁素含量丰富、供给力高的土壤,如紫色土,全镁含量超过30g/kg;第2类供给力中等,如华中地区的红壤;第3类供给力低,如华南红壤和华中的第四纪红色粘土红壤等,全镁含量仅1g/kg^[23]。福建省主要土壤类型中,除盐土镁含量较高外,其他土壤平均为3.3g/kg^[24]。

3.1.2 土壤中的镁形态。土壤中镁的存在形式分有机形态和无机形态,无机形态是主要存在形式,包括矿物态镁、代换态镁和存在于土壤溶液中的镁,但不同形态之间可以相互转化^[25]。其中,矿物态镁是土壤镁的主要形态,包含在原生矿物和次生矿物晶格和层间的镁,占全镁量的70%~90%^[26-27]。土壤的含镁矿物以硅酸盐为主,如橄榄石、黄长石、辉石、角闪石、黑云母等。矿物态镁不溶于水,但大多溶于酸,能被稀酸溶解的矿物态镁,称为酸溶性镁或非交换态镁,这是矿物中较易释放的镁,可作为植物利用的潜在有效镁,也称缓效性镁,占全镁量的5%~25%。我国土壤中的缓效镁大致为0.015~6.700g/kg^[28]。代换态镁是被吸附在胶体表面并能被一般代换剂代换出来的镁,也称交换性镁,一般占全镁量的1%~20%,个别可高达25%^[19-29],平均5%。我国南方一些土壤中的交换性镁含量为0.007~0.267g/kg,个别的高达1.655g/kg,一般占全镁量的1.3%~10%;北方土壤交换性镁含量在0.1~0.6g/kg^[23-24]。交换性镁是作物可利用的主要有效镁,是土壤镁肥力的重要衡量指标,其含量随着土壤深度的增加而增加,耕层含量相对最低^[30]。土壤溶液中的镁与胶体上吸附的镁相平衡,因此,土壤溶液中的镁随着胶体上吸附镁的含量和饱和度增加而增加,同时也与硫酸镁、碳酸镁等固相平衡,且与pH值有一定关系^[31]。所以,土壤质地对土壤溶液中的镁含量影响较大。土壤溶液中的镁含量一般为0.003~0.060g/kg,仅占交换性镁含量的百分之几。有机态镁在土壤中所占比例不高,平均不足1%,除了结合在有机成分中尚未分解的外,多数以络合或吸附形态存在^[23,25,32]。

3.1.3 土壤中的镁流失。淋洗和排水是土壤镁损失的主要途径,损失量达3.0~39.0kg/hm²,多雨地区和砂质土壤镁的淋溶损失更严重,淋失量高达90.0kg/hm²^[33-34]。镁很容易从土壤中流失,一方面是由于钾、镁的拮抗作用,另一方面是因为Mg²⁺外包有很厚的水化层,使负电荷对其吸引力减弱,导致镁的淋失^[34]。冉邦定通过调查发现,云南主烟区屡有缺镁症状发生,且多发生在8月中下旬至9月上旬,这与7~8月降雨量大有关^[16]。镁是土壤中极易淋失的元素之一。气候湿热,pH值小、降雨量大、施用石灰、过磷酸钙和氯化钾都会加重代换性镁的淋失,在盐碱干旱地区进行灌溉时,也会造成土壤镁盐通过淋洗而损失。李士敏等研究发现,贵州

黄壤山区, 高温多雨, 风化淋溶作用强烈, 土壤镁淋失量大, 加上不合理的施肥方式, 使得旱地有效镁的数量普遍较低^[35]。因此, 在强酸性缺磷的黄壤旱地上极易出现缺镁现象。贵州省环境保护科学研究所的研究结果表明, 表土层是一个钙、镁贫乏层, 有效态镁在土层中的含量仅为 0.09 g/kg^[36]。另外, 我国有大面积的红壤性土壤及由红壤发育成的酸性水稻土, 其钙、镁均很贫乏。尤其南方高温、多雨的气候条件, 再加上施用石灰、过磷酸钙和氯化钾, 造成土壤中镁的风化、淋溶均较强烈, 土壤中可溶性镁淋失严重, 致使土壤中含镁量严重不足。有研究发现, 在我国大面积的红壤中的代换性镁量一般仅占全镁的 4% 左右, 并且固定态镁转变为有效态镁的速度缓慢, 土壤的有效性镁量一般偏低^[23]。

3.2 烟草生长状况 缺镁症状通常在烟株长得较高大, 生长速度较为迅速时才会出现, 特别易发生在多雨季节砂质土壤中, 且在旺长期最为明显^[37]。成熟期的叶重和叶面积与烟叶含镁量之间呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 叶片过大、过重往往会导致烟叶含镁量下降, 从而出现缺镁症。因此, 烤烟各生育期 特别是成熟期 应保持适宜的生物学产量。

3.3 养分交互作用 植物的营养状况取决于诸多因子, 考量土壤-植物系统的营养元素的交互作用具有重要意义^[38]。烟草镁素营养不仅取决于土壤有效镁的含量, 且受土壤各种养分的相互作用和植株体内各种离子拮抗作用的影响^[35, 39]。

3.3.1 镁和钾的拮抗。关于镁和钾之间的拮抗关系, 国内早已证实。在同等氮磷施用量的前提下, 增施钾肥均使植株镁浓度显著降低 ($P < 0.05$)^[40-41]。但也有研究认为, 只有当土壤极端缺镁时, 钾才会加剧缺镁^[28]。国外研究资料也表明, 钾肥抑制了各种作物对镁的吸收^[42], 如高含量 K^+ 会导致苹果叶中 Mg^{2+} 不足; 当营养液中无 K^+ 时, 大豆对 Mg^{2+} 的吸收特别快。一般认为, 两元素互相拮抗的主要原因是植物细胞带负电荷, 大多数阳离子能被细胞负电荷所吸引, 因此当某种阳离子进入细胞后, 细胞去极化, 从而阻碍了其他阳离子的吸收^[43]。也有解释为 K^+ 作为一价离子对胶体的吸附力比二价离子 Mg^{2+} 小得多, 胶体对 Mg^{2+} 的倾向性降低了代换镁的活动性, 从而抑制了 Mg^{2+} 的利用^[20, 44]。也有学者认为是由于 Mg^{2+} 由根系向地上部分的运输过程受阻。因为在以阳离子形式吸收的矿质养分中, 高水平的 Mg^{2+} 对根原生质膜上的结合单位的亲和力特别低, 其他阳离子对 Mg^{2+} 的竞争相当强, 从而会大大减低镁的吸收速率^[45]。也有研究表明, 镁对钾的吸收有影响^[46-48]。如低钾水平时, 低量的镁能促进植物对钾的吸收, 而当土壤中的镁能满足作物正常生长发育需要, 钾不足时, 施用镁肥相对降低了作物对钾的吸收, 此时植物中镁的含量比钾高得多, 钾充足时, 施用镁肥则表现出正效应^[49-50]。不过, 也有人提出镁对钾的拮抗作用甚弱, 甚至没有影响^[51]。

有关烟草研究表明, 烟叶的 K/Mg 比值在 4~5 比较合适, 在 5~10 范围内缺镁不显著, 在 15~20 出现缺镁症状^[19]。还有研究认为 Mg/K 比值的临界范围应为 0.7~1.5, 小于 0.7 易发生缺镁症^[20]。

3.3.2 镁和钙的拮抗。一般认为, 钙会降低作物对镁的吸

收^[52-54]。镁和钙的拮抗作用可能是在质外体交换位点上竞争, 在液泡负电荷平衡上, 两者可能相互替代^[46]。相反, 大量的镁会使交换性钙的活动性降低^[49, 55-56]。但也有试验表明, 供钙浓度在一定范围内, Ca^{2+} 并不与 Mg^{2+} 拮抗或协助, Mg^{2+} 吸收速率在不同供钙浓度下几乎是稳定的^[57]。

研究表明, 当烟叶中的 Ca/Mg 比值大于 8 时, 即使镁含量正常, 亦会出现缺镁症状; 土壤代换性 Ca/Mg 比值大于 20 时, 就易产生缺镁症状^[21]。

3.3.3 氮磷施用的影响。有研究指出, 铵态氮会减少烟株对镁的吸收^[16, 58]。 NH_4^+ 拮抗镁吸收的原因可能是植物吸收 NH_4^+ 后, 根际 pH 值降低, H^+ 拮抗镁的吸收^[59]。另外, 有试验结果表明, 在低施氮水平下, 增加磷的施用提高了烟株体内镁的含量, 而且上部叶的增加程度超过中部叶, 中部叶的增加程度超过下部叶。在高施氮水平下, 磷对镁的影响没有一致的规律^[17]。日本学者认为, 增加磷酸用量可导致镁的减少, 原因是, 镁是烟株内磷酸移动及其生理作用必不可少的元素, 当烟株大量吸收磷酸时, 镁就会显得不足^[60]。

4 烟草镁肥施用

4.1 常见镁肥品种及施用 常用镁肥有硫酸镁(七水、一水、无水)、硫酸钾镁、磷酸镁铵、硝酸镁、氧化镁、蛇纹石、白云石、含镁矿渣和钙镁磷肥。多年来, 我国常用作物镁肥主要是钙镁磷肥和硫酸镁。镁肥主要在缺镁的土壤和喜镁作物上施用。易溶性镁盐可作基肥、种肥和追肥, 也可作叶面肥; 难溶解的白云石粉、菱镁矿等可将其煅烧成含氧化镁等物质后, 用于酸性土壤, 主要作基肥。镁肥作为基肥时应注意混施, 与铵盐、钾肥、磷肥以及农家肥混施能够取得较好效果。硫酸镁(七水)作为基肥或追肥, 一般作物施 150~225 kg/hm², 柑桔、果树等每株穴施 0.25 kg; 作为叶面肥喷施浓度为 1%~2%, 一般作物在苗期施用镁肥较好, 柑桔等在盛果期施用较好。中性或微碱性土壤选用硫酸镁或氯化镁效果较好, 酸性土壤选用碳酸镁效果较好。

4.2 施用镁肥对烤烟产量、质量的影响 镁肥对于补充烤烟镁素营养, 防止土壤酸化, 调控镁素营养有直接效果。大田试验结果表明, 不同种类的镁肥对烤烟产量和外观质量的影响不尽相同。陈星峰等研究表明, 施用氧化镁和氢氧化镁处理的产值、均价及上等烟比例较高, 白云石粉和钙镁磷次之, 施用硫酸镁的最低。李鹃等研究认为: 不同镁肥施入土壤后, 其有效性的差别很大, 施入氧化镁、硫酸镁、白云石粉和钙镁磷肥后, 土壤交换性镁含量显著提高, 不施镁肥的对照处理土壤交换性镁含量最低; 不同镁肥品种对烤烟的化学成分有显著影响, 施用镁肥有助于减少烤烟发生缺镁现象, 烟叶叶绿素含量明显氧化镁处理的 $Ch(a+b)$ 、 Cha 和 Chb 含量最高, 差异达 0.01 极显著水平; 不同镁肥品种对烤烟的生长发育、产量有不同的影响, 在等量镁的情况下, 各处理中以氧化镁处理的长势最好, 总生物量最高, 烟叶产量也最高, 与各处理差异达 0.05 显著水平^[61]。李永忠等研究认为: 施用不同种类的镁肥对烟叶产量和产值都会有所提高, 但是, 差异不显著; 施镁有利于施木克值、总糖、烟碱比等品质指标的改善, 对烟碱含量和 $K/(Ca+Mg)$ 值影响不明显; 施 Mg 有助于烟叶含镁率的提高, 是防治缺镁症的有效手段之一; 磷

酸铵镁效果最好,其次是硫酸镁和氯化镁,蛇纹石有一定效果,但肥效缓慢^[62]。洪火奇研究认为:施镁肥处理的烤烟在茎围上都比对照粗;氧化镁处理和氢氧化镁处理烤烟有效株高都比对照高,硫酸镁处理则比对照矮;中部叶(长×宽)以硫酸镁处理最大;施用不同类型镁肥,烤烟烟叶的等级均有不同程度的提高,中上等烟叶呈增多趋势;施用镁肥后,烤烟的产量均有不同程度的提高,比对照增加14.28~19.19%,可见施用镁肥均有改善土壤条件,促进烤烟的生长发育和代谢等作用。特别是施用碱性氢氧化镁肥料,既可中和土壤酸性,又在促进其他矿质养分有效化的同时提供镁元素,为烤烟生长发育和优质高产创造良好条件;福建烟区在常规施肥基础上施用镁肥,以施用氢氧化镁增产效果最好,氧化镁次之,硫酸镁较差^[63]。因此,在常规施肥基础上增施氢氧化镁或氧化镁,可提高烤烟产量和烟叶品质。

5 烟草镁素营养展望

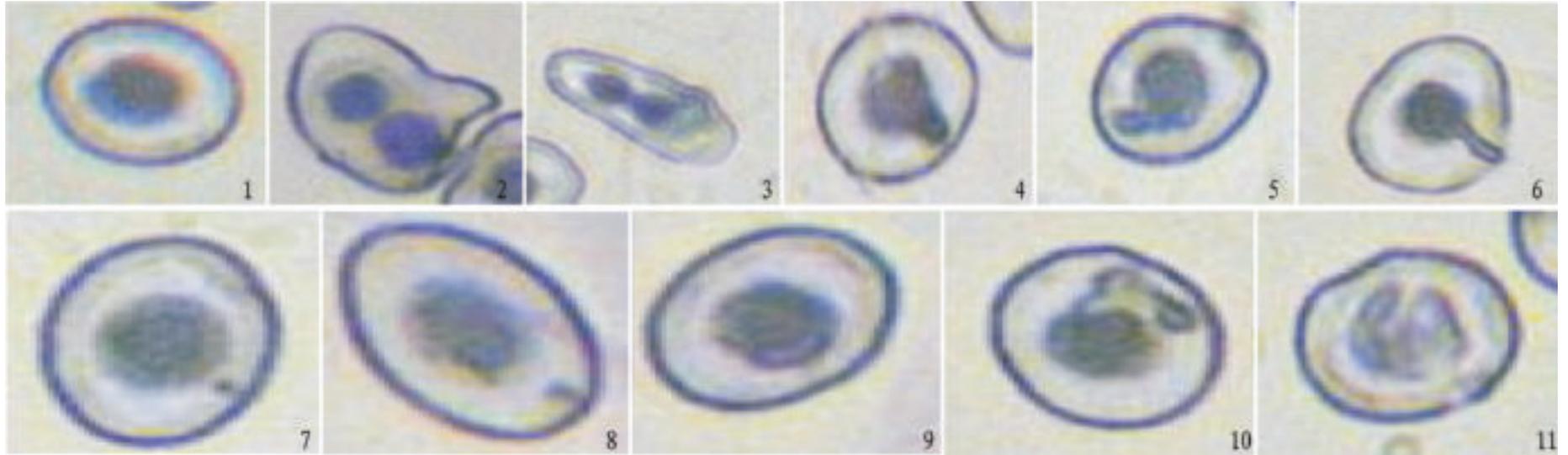
前人研究表明,镁是烤烟生长发育必不可少的重要营养元素之一,对烟草生长发育及其产量和质量具有重要影响。缺镁会使烟草生长发育受阻,烟叶的产量和质量严重降低,但供镁过多时,烟草根系发育受阻,茎的木质部组织不发达,叶组织细胞增大但数量减少。国内不少科研院所开展了烟草镁素营养与镁肥施用技术研究,内容涉及烟草镁素营养机理、营养特性、缺镁诊断和镁肥施用技术等方面,既有基础理论探讨,又有应用技术研究,推动了我国烟草镁肥施用技术的推广。但是,目前我国关于烟草镁素营养与镁肥施用技术仍有不少问题需要研究,如镁肥施用与烟叶品质关系的研究还不够深入,几乎未见镁肥施用对烟草香气成分和吸食品质影响的研究报道。此外,不同地区和不同烟草品种的镁素需求乃至不同背景下的优质烟叶生产如何合理施用镁肥,也需要进一步探讨。

参考文献

- 1] 龚逢科,张景略.烟草品质与土壤肥料[M].郑州:河南科学技术出版社,1992:1-3.
- 2] 汪洪,褚天铎.植物镁素营养的研究进展[J].植物学通报,1999,16(3):245-250.
- 3] 郝道斌,李桐柱,张其德,等.叶绿体膜的结构与功能.镁离子对叶绿体类囊体膜的叶绿素-蛋白复合体聚合的影响[J].生物化学与生物物理学报,1981,13(4):365-372.
- 4] 左宝玉,李世仪,王仁儒,等.叶绿体膜的结构和功能.镁离子及K离子对两种类型叶绿体膜超微结构的影响[J].植物学报,1979,21(4):328-333.
- 5] 唐崇钦,张其德,左宝玉,等.叶绿体膜的结构和功能X.镁离子及钾离子对叶绿体光诱导pH变化的影响[J].植物生理学报,1982,8(2):163-172.
- 6] 张其德.Mg²⁺对生长在不同光强下的小麦叶绿体光合功能的影响[J].广西植物,1990,10(1):55-61.
- 7] 李延,刘星辉.缺镁胁迫对龙眼叶片衰老的影响[J].应用生态学报,2002,13(3):311-314.
- 8] 杨广东,朱祝军.不同光照条件下缺镁对黄瓜生长及活性氧清除系统的影响[J].园艺学报,2001,28(5):430-434.
- 9] 许大全.光合作用效率[J].植物生理学通讯,1988(5):1-7.
- 10] 秦遂初,李延,徐定超,等.水稻缺镁黄叶症的调查研究[J].浙江农业科学,1993(4):153-155.
- 11] 周言记,刘建安,崔仲善,等.镁肥与烟草生长及产质关系的研究[J].中国烟草,1993(2):25-28.
- 12] 崔国明,张小海,李永平,等.镁对烤烟生理生化及品质和产量的影响研究[J].中国烟草科学,1998(10):5-7.
- 13] 曹恭,梁鸣早.镁——平衡栽培体系中植物必需的中量元素[J].土壤肥料,2003(3):2-3.
- 14] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2002:145-146.
- 15] 江豪,许锡民,连国鑫,等.烤烟生产[M].福建:福建科学技术出版社,1992:193-199.
- 16] 冉邦定.烤烟缺镁症初步调查[J].烟草科技,1986(1):4-5.
- 17] 胡国松,郑伟,王震,等.烤烟营养原理[M].北京:中国科学出版社,2001:162-167.
- 18] 邵岩.烤烟水培镁临界值研究[J].中国烟草学报,1995,2(1):52-57.
- 19] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983:261-293.
- 20] 邹邦基,何雪晖.植物的营养[M].北京:中国农业出版社,1985:195-206.
- 21] HOSSNER L R, DOLL E C. Magnesium fertilization of potatoes as related to lincing and potassium[J]. Pssa, 1970, 34:772-774.
- 22] MAYLAND H F, WILKINSON R. Soil factor affecting magnesium availability in plant animal systems: A review[J]. J. Agric. Sci., 1989, 67:3437-3444.
- 23] 谢建昌,陈际型,朱月珍,等.红壤区几种主要土壤的镁素供应状况及镁肥肥效的初步研究[J].土壤学报,1963(3):294-305.
- 24] 林齐民,陈举鸣.福建省主要土壤类型的镁素含量[J].福建农学院学报,1986,15(2):132-140.
- 25] BARBER A S. Soil nutrient bioavailability: Mechanistic approach[M]. New York: A Wiley Inter Science Publication, 1984:275-296.
- 26] MLEN E O, CARBONE M D. Calcium magnesium and potassium saturation ratio in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German rai-let and alfalfa[J]. Pssa, 1972, 36:927-930.
- 27] MOKWUNY A U, MELSTEDS W. Interrelationships between soil magnesium forms in soil and H₂O[J]. Analysis, 1973, 4:397.
- 28] 李伏生.土壤镁素和镁肥施用的研究[J].土壤进展,1994,22(4):21-22.
- 29] MOKWUNY A U, MELSTEDS W. Magnesium forms in selected temperate and tropical soils[J]. Pssa, 1972, 36:762-764.
- 30] 丁群英.安徽沿淮地区土壤交换性镁含量及镁对大豆营养的影响[J].安徽农学通报,2002,8(6):60.
- 31] 中国农科院土肥所.中国肥料[M].上海:上海科学技术出版社,1994:332-342.
- 32] MARION G M, BABCOCK K L. The solubilities of carbonates and phosphates in calcareous soil suspensions[J]. Pssa, 1977, 41:724-728.
- 33] 谢建昌,杜承林,李伏生.中国南方地区土壤镁素状况与需镁前景[M].成都:成都科学技术出版社,1993:126-134.
- 34] 朱越丰.大埔县水稻缺镁症状分析及矫正对策[J].广东农业科学,1998(1):35-36.
- 35] 李士敏,朱富强,刘方,等.贵州黄壤旱地有效镁的含量与镁肥盆栽效果分析[J].贵州农业科学,1999,27(2):31-33.
- 36] 高尚玉,毕坤.喀斯特农业生态环境钙镁补偿研究[J].贵州地质,1995,12(1):61-68.
- 37] 朱贤朝,王彦亭,王智发.中国烟草病虫害防治手册[M].北京:中国农业出版社,2002:88.
- 38] 王家玉.植物营养元素交互作用研究[J].植物营养,1991(3):1-8.
- 39] 李伏生.红壤地区镁肥对作物的效应[J].土壤与环境,2000,9(1):53-55.
- 40] 陈际型,宣家祥.低盐基土壤K, Ca, Mg的交互作用对水稻生长与养分吸收的影响[J].土壤学报,1999,36(4):433-439.
- 41] MACMAR T, KOBBA E L. Some observations on the interrelationships of potassium and magnesium[J]. Soil Science, 1966, 101(6):437-440.
- 42] REHNG W, SORESEN R C. Effect of potassium and magnesium applied for corn grown on an irrigated sandy soil[J]. Soil Sci Soc A MJ, 1985, 49:1446-1450.
- 43] 陈防.农业生产中的中量元素[J].科学施肥,1998(5):4-7.
- 44] K·蒙格尔, E·A·克尔克贝.植物营养原理[M].张宜春,译.北京:中国农业出版社,1978:450-469, 475-486.
- 45] 鲁如坤.土壤——植物营养学原理和施肥[M].北京:化学工业出版社,1998:243-251.
- 46] 邵岩.镁在烟草生产中的作用[J].云南农业大学学报,1992(2):105-108.
- 47] OLOGUNDE O O, SORESEN R C. Influence of concentrations of potassium and magnesium in nutrient solution on sorghum[J]. Agronomy Journal, 1982(74):41-45.
- 48] 晋艳,雷永和.烟草中钾钙镁相互关系研究初报[J].云南农业科技,1997(3):6-10.
- 49] NARVAL R P, VINOD KUMAR, SINGH J P. Potassium and magnesium relations in cowpea[J]. Hart and Soil, 1985(86):129-134.
- 50] BEDI A S, SEKHON G S. Effect of potassium application to soil on the dry matter yield and Cation composition of maize[J]. J. Agric. Sci., 1997, 88:753-758.
- 51] 沈善敏.中国土壤肥力[M].北京:中国农业出版社,1998:320-336.
- 52] 韩志卿,张电学,王莹玉,等.冀东褐土区施用石膏对花生生长发育和钙、镁吸收分配的影响[J].中国油料,1992,18(2):62-66.

表现出染色体畸变,使正在进行分裂的细胞染色体被阻断而产生微核和各种形式的核异常^[4-5]。稀土在一定条件下能够清除动物体内有害自由基,其反应机理是: $Ce^{3+} + O_2^- + 2H^+ \rightarrow Ce^{4+} + 2H_2O_2$, $Ce^{4+} + O_2^- \rightarrow Ce^{3+} + O_2$,但其活性有“低

促高抑”效应。已有研究证实,适量的铈可以降低细胞内ROS浓度,减少脂质过氧化损伤,从而缓解DNA氧化损伤,而高浓度的铈可能增加脂质过氧化损伤或DNA氧化损伤,表现为细胞毒性或遗传毒性^[6],该试验进一步证实,低浓度的



注:1 为正常泥鳅红细胞;2~3 为双核;4~6 为核外凸;7~8 为微核;9 为空泡;10~11 为核碎裂。

Nte: 1 is common blood erythrocyte of loach; 2 and 3 are binuclear; 4-6 are outer convex nucleus; 7-8 are micronucleated; 9 is vacuole; 10-11 are nuclear fragmentation.

图1 微核及不同形式的核异常

Fig.1 Micronucleated and different forms of nuclear anomalies

表1 Cd^{2+} 及 $Cd^{2+} + Ce^{3+}$ 对泥鳅红细胞核异常率的影响

Table 1 Effects of Cd^{2+} and $Cd^{2+} + Ce^{3+}$ on the abnormal nucleus rate of erythrocytes in loach

组别 Group	红细胞核异常数 Abnormal nucleus number of erythrocytes 个					观察红细胞数 个 Number of observed erythrocytes	核异常 % Micronucleated rate
	微核 Micronucleated	核空泡 Nuclear vacuole	核凸出 Convex nucleus	双核 Binuclear	核碎裂 Nuclear fragmentation		
1(CK)	2	0	4	4	6	1 905	0.08 ± 0.01
2	6	14	8	16	8	2 016	0.25 ± 0.02*
3	8	24	18	32	16	2 051	0.43 ± 0.04*
4	16	32	36	54	34	1 980	0.87 ± 0.07*
5	2	8	4	12	4	1 978	0.15 ± 0.01
6	8	14	10	18	10	1 996	0.30 ± 0.03*
7	28	28	52	64	58	2 098	1.10 ± 0.09*

注: n = 3, 核异常率用平均数 ± 标准偏差来表示, * 表示与对照组差异显著 (P < 0.05)。

Nte: n = 3; Abnormal nucleus rate was denoted by mean ± standard deviation; * stands for significant difference with control group (P < 0.05).

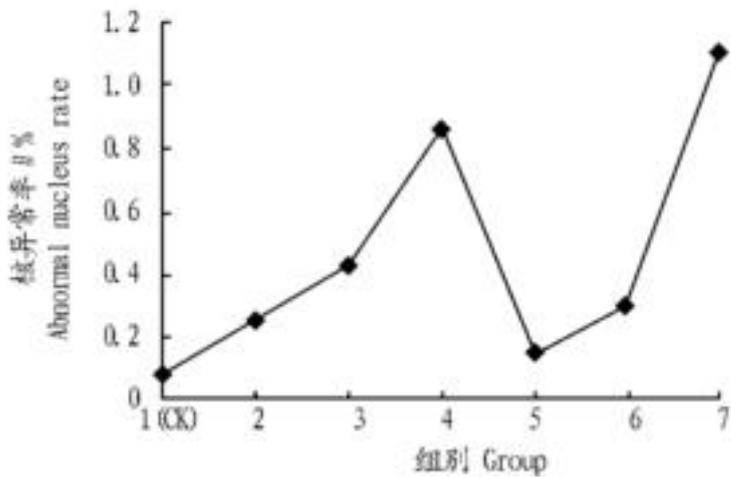


图2 Cd^{2+} 及 $Cd^{2+} + Ce^{3+}$ 对泥鳅红细胞核异常率的影响

Fig.2 Effects of Cd^{2+} and $Cd^{2+} + Ce^{3+}$ on the abnormal nucleus rate of erythrocytes in loach

Ce^{3+} 能缓解 Cd^{2+} 造成的细胞核异常,而高浓度的 Ce^{3+} 对 Cd^{2+} 造成的细胞核异常则具有协同作用。

参考文献

- [1] 尹文稚, 宁加贵. 稀土在农业上的应用效果 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2006.
- [2] 杨燕生, 雷衡毅, 张锦周, 等. 稀土元素铈对细胞内活性氧的影响 [J]. 卫生研究, 2001, 30(5): 275-277.
- [3] 姜允东, 吴萍. 亚硝基胍对泥鳅红细胞微核及核异常的诱发 [J]. 中国环境科学, 1996, 26(4): 273-275.
- [4] 栗建林, 张丽, 刘建中, 等. 轻稀土对小鼠肺癌的抑制作用 [J]. 中国稀土学报, 1998, 16(2): 18.
- [5] HOCTAMAN N, DERAAT WK. Induction of nuclear anomalies (micronuclei) in the peripheral blood erythrocytes of the eastern mudminnow *Umbra pigmaea* by ethyl methanesulphonate [J]. Mutation Res, 1982, 104: 147-151.
- [6] 颜学武, 金宗哲. 硝酸铈减少OH自由基作用的研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2004, 33(11): 1206-1208.

(上接第8126页)

- [53] 宋国菡, 杨力, 刘光栋, 等. 钙对结球甘蓝钙镁硫吸收分配影响的研究 [J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(4): 495-501.
- [54] 周卫, 林葆. 花生夹果钙素吸收机制研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 1995(1): 44-51.
- [55] 何电源. 红壤的酸性与作物的生长及石灰施用的研究 [J]. 农业现代法研究, 1981(2): 33-40.
- [56] 杨竹青, 陶为民. 不同浓度钙镁营养液对番茄生育的影响及其与元素吸收的关系 [J]. 土壤通报, 1994, 25(4): 190-192.
- [57] 林葆, 周卫. 钙肥品种及施用方法对花生肥料的影响 [J]. 土壤通报,

1997, 28(4): 172-184.

- [58] 李仲林, 周秀如. 论我国优质烤烟基地的土壤环境 [J]. 中国烟草, 1993(2): 34-40.
- [59] 何念祖, 孟赐福. 植物营养学原理 [M]. 上海: 上海科学出版社, 1987.
- [60] 秦野, 李友鹏. 烟草肥料科学 [J]. 1981.
- [61] 李鹏, 谢光球, 章明清, 等. 不同镁肥种类在烤烟上的施用效应的研究 [J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(3): 394-397.
- [62] 李永忠, 丁善荣, 罗鹏涛. 不同Mg肥种类对烤烟产量、质量、产值的影响 [J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(1): 45-47.
- [63] 洪火奇. 不同镁肥对烤烟产量和品质的影响 [J]. 闽西职业大学学报, 2004(3): 114-116.