

# 镁元素调控烤烟生长发育的研究进展

张玉芹<sup>1</sup>, 毛德成<sup>1</sup>, 董世峰<sup>1</sup>, 韩守栋<sup>1</sup>, 王永盛<sup>1</sup>, 刘新才<sup>1</sup>, 于晓辉<sup>2\*</sup>, 王 军<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>山东日照烟草有限公司, 山东 日照

<sup>2</sup>山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安

收稿日期: 2025年4月12日; 录用日期: 2025年5月14日; 发布日期: 2025年5月21日

## 摘 要

镁作为植物生长发育所必需的营养元素, 在烤烟的农艺性状、光合作用、碳氮代谢、衰老特性、干物质积累等方面发挥着重要作用。适宜的镁浓度能够显著改善烤烟的生长状况, 提高烟叶产值, 并通过调节叶绿素含量和SPAD值提高光合作用效率。此外, 镁通过调控SOD、POD、CAT、APX等抗氧化酶的活性, 维持植物体内活性氧代谢的平衡。在碳氮代谢方面, 镁参与糖类合成和氮素同化过程, 影响作物的产量和品质。镁浓度过高或过低对于烟草的生长均有不利影响。本文系统阐述了镁对烤烟生长发育的影响机制, 旨在为烟草生产中镁肥的合理施用提供理论依据。

## 关键词

镁浓度, 烟草, 农艺性状, 碳氮代谢, 光合作用

# Research Progress of Magnesium in Regulating the Growth and Development of Tobacco Products

Yuqin Zhang<sup>1</sup>, Decheng Mao<sup>1</sup>, Shifeng Dong<sup>1</sup>, Shoudong Han<sup>1</sup>, Yongsheng Wang<sup>1</sup>, Xincan Liu<sup>1</sup>, Xiaohui Yu<sup>2\*</sup>, Jun Wang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Shandong Rizhao Tobacco Co., Ltd., Rizhao Shandong

<sup>2</sup>College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

Received: Apr. 12<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 14<sup>th</sup>, 2025; published: May 21<sup>st</sup>, 2025

## Abstract

As an essential nutrient element for plant growth and development, magnesium plays an important

\*通讯作者。

文章引用: 张玉芹, 毛德成, 董世峰, 韩守栋, 王永盛, 刘新才, 于晓辉, 王军. 镁元素调控烤烟生长发育的研究进展[J]. 农业科学, 2025, 15(5): 583-589. DOI: 10.12677/hjas.2025.155071

role in agronomic traits, photosynthesis, carbon and nitrogen metabolism, senescence characteristics, and dry matter accumulation of roasted tobacco. Appropriate magnesium concentration can significantly improve the growth of roasted tobacco, increase tobacco yield, and improve photosynthetic efficiency by regulating chlorophyll content and SPAD value. In addition, magnesium maintains the balance of reactive oxygen species metabolism in plants by regulating the activities of antioxidant enzymes such as SOD, POD, CAT and APX. In terms of carbon and nitrogen metabolism, magnesium participates in the process of sugar synthesis and nitrogen assimilation, affecting crop yield and quality. Too high or too low concentration of magnesium has adverse effects on the growth of tobacco. This paper systematically elaborates the influence mechanism of magnesium on the growth and development of baked tobacco, aiming to provide a theoretical basis for the rational application of magnesium fertilizer in tobacco production.

## Keywords

Magnesium Concentration, Tobacco, Agronomic Traits, Carbon and Nitrogen Metabolism, Photosynthesis

Copyright © 2025 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

镁作为植物必需的营养元素之一，在农业生产中扮演着重要角色。同时，镁是构建叶绿体结构所必需的中微量元素[1]，镁能够参与烟草植株体内碳水化合物、脂肪和类脂、蛋白质和核酸等物质的合成。镁在光合作用调控、同化产物的转运与配置、蛋白质的生物合成以及酶催化反应等多个生理过程中，同样扮演着不可或缺的角色[2]-[4]。

在农业生产过程中，镁作为植物生长发育所必需的营养元素对于不同作物生长发育造成的影响已经在多种作物上得以证实。例如，林齐民等[5]的研究表明，增施镁肥可以提高稻谷精米率、粗蛋白和淀粉含量；丁玉川等[6]-[8]发现，增施镁肥能够显著提高玉米籽粒中粗蛋白含量以及总淀粉和总糖含量。此外，增施镁肥能够改善油菜的外观质量，进而提高出油率，影响粮食安全和人体健康[9] [10]。

近年来，农业生产中化肥的广泛应用导致土壤离子间相互作用增强，这使得烤烟吸收镁元素变得更加困难。这一变化进一步影响了烤烟地上部分的光合作用进程及光合产物的生成，进而阻碍了烤烟的正常生长发育，降低了其产量与品质[11]。在北方地区，温室里密集种植的番茄和蔬菜等作物，由于过度施肥，使得土壤中钾离子浓度攀升，打破了阳离子的平衡状态，进而引发了番茄等作物的镁元素缺乏症状[12]-[15]。

土壤中镁元素含量过多或过少均会对烤烟生长造成不利影响。镁含量过高会使烟株在吸收营养元素时，不同离子之间的拮抗作用增强，从而影响烤烟对其他营养元素(钙、钾、钠离子)的吸收。镁含量过低，将导致植物生长受阻，植株体内钾、钙、磷元素有所增加。马洪波等[16] [17]的研究表明，缺镁将导致甘薯和油菜等农作物叶片出现黄化现象，植物生长迟缓，植株矮小，开花和结荚数量减少，籽粒不饱满等。田斌等[18]的研究表明，当镁元素不足时，大麦的生长会受到明显阻碍，叶片的叶脉间会显现出黄色的条纹，同时叶绿体的数量减少且功能受损，这会削弱光合作用，并加剧膜脂的过氧化程度。此外，镁元素对龙眼、青枣、黄瓜等农作物的光合特性有显著影响。当镁肥供应不足时，农作物叶片的光合色素含量、光合参数、叶绿素 a、荧光动力学参数等将会降低[19]-[23]。

## 2. 不同镁浓度对烤烟农艺性状的影响

镁作为植物生长必需的营养元素,对烤烟农艺性状有显著影响。吴光辉等[24]的研究表明,在合理施肥的基础上,通过叶面补充镁肥,可以助力水稻茁壮成长,显著提升其株高、有效穗数、千粒重、结实率以及总产量。胡佳玉[25]的研究表明,增施镁肥处理能够增加稻秆、稻米和小萝卜茎叶、块茎的微量元素含量。

然而,镁浓度过高或过低会对烤烟产生不利影响。缺镁会导致烤烟生长受阻,表现为植株矮小、叶片黄化、烤烟产量及品质下降。朱英华等[26]的研究表明,在探究不同镁浓度对烤烟干物质积累与养分吸收动态变化的影响时,发现当镁浓度为 4 mmol/L 时,烤烟的干物质积累量、养分的最大累积量及其增长速率均显著优于其他浓度处理。吴一群等[27]的研究表明,高浓度镁处理下番茄植株出现叶片边缘焦枯、生长迟缓等现象,果实产量和品质均有所下降。杨文祥等[28]的研究表明,缺镁处理下水稻的株高、分蘖数和穗粒数均显著低于正常供镁处理。另一方面,过量镁也会抑制水稻作物生长,引起毒害症状。因此,在农业生产中应根据作物种类和生长阶段合理调控镁肥施用量,以优化农艺性状,提高产量和品质。

## 3. 不同镁浓度对烤烟光合作用和 SPAD 值的影响

镁是叶绿素分子的核心成分,对植物的光合作用有着至关重要的影响。研究表明,适宜的镁浓度能够显著提高作物的光合效率。朱帅[29]在黄瓜试验中研究发现,适量增施镁肥使黄瓜净光合速率提高了 20%~30%,这主要归因于镁促进了叶绿素的合成和光合电子传递链的活性。

SPAD 值作为叶绿素含量的间接指标,与镁浓度呈显著正相关。李亚洲等[30]在大豆试验中研究发现,随着镁浓度的增加,SPAD 值呈现先升高后降低的趋势,在适宜镁浓度处理下 SPAD 值将达到最大值。镁含量过高则会干扰烤烟植株对其他元素的吸收,间接影响叶绿素含量。辛佳佳[31]的研究表明,适量镁处理下的烤烟叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量分别比缺镁处理提高了 35%、40%和 37%。这一现象表明,适量镁供应有利于叶绿素的合成和积累,而过量镁则可能抑制叶绿素的形成。

## 4. 不同镁浓度对烤烟干物质积累量的影响

适宜的镁浓度有利于叶绿素的合成,提高烤烟光合作用速率,增加碳水化合物化合物的积累,促进糖类、蛋白质和脂肪的代谢,从而增加烤烟干物质积累量[32]。此外,适宜的镁浓度有助于烤烟对其他营养元素(如氮、磷、钾)的吸收和利用,进一步促进干物质合成,增强烤烟的抗逆性,减少环境胁迫对干物质积累产生的负面影响[33]。

低镁浓度将会导致叶绿素合成减少,叶片出现黄化现象,光合作用速率下降,干物质积累减少,并且低镁浓度将会降低镁的活性,影响糖类、蛋白质和脂肪的代谢,导致干物质合成减少[34]。低镁浓度也将影响烤烟对于其他营养元素的吸收,尤其是对钾和磷元素的吸收,从而进一步限制干物质积累,使得烤烟生长缓慢,植株矮小,干物质积累量显著降低[35]。

高镁浓度会显著抑制烤烟对其他阳离子的吸收,如钾、钙等,导致烤烟植株体内养分失衡,影响干物质积累[36]。此外,过高的镁浓度可能会对烤烟植株根系产生毒害作用,影响根系的发育和养分的吸收,从而抑制干物质积累[37]。土壤中镁浓度过高会对土壤的物理和化学性质造成不利影响,导致土壤变得坚硬板结,进而阻碍烤烟根系的伸展与养分的有效吸收[38]。

不同作物对镁的响应存在差异。一般来说,叶菜类作物如菠菜、甘蓝对镁的响应更为敏感,其叶绿素含量和生物量随镁浓度的变化幅度较大,而禾谷类作物如小麦、玉米的响应相对较小[39]。此外,同一作物在不同生长阶段对镁的需求也不同,通常在快速生长期对镁的需求量较大,此时适量增施镁肥能够

显著提高叶绿素含量和生物量[40]。

## 5. 不同镁浓度对烤烟根系活力的影响

根系活力是反映植物吸收水分和养分能力的重要指标,对作物生长发育和产量形成有着重要影响。研究表明,适宜的镁浓度(土壤有效镁含量 50~120 mg/kg)能够促进水稻根系的伸长和分枝,增加根系表面积,从而提高养分和水分的吸收能力[41]。此外,镁是多种酶的活化剂,适宜的镁浓度能够增强根系细胞中酶的活性,促进能量代谢和物质合成,提升根系活力,在植物新陈代谢过程中起着重要作用[42]。适宜的镁浓度能够增强烤烟根系的抗逆性,帮助根系在逆境(如干旱、盐胁迫)中维持正常功能,从而提高作物产量并改善品质[43]。

低镁浓度会导致根系生长缓慢,根系短小、分枝减少,根系表面积缩小,从而降低养分和水分的吸收效率。谢和缘[44]在水稻试验的研究中表明,缺镁可能会导致水稻根系形态和活性、光合特性和养分积累显著降低,抑制根系细胞中酶的活性,影响能量代谢和物质合成,导致根系活力下降。徐雷等[45]在黄瓜试验的研究中表明,镁缺乏将对黄瓜苗期生长季对矿质营养元素的吸收造成影响,导致根系功能减弱,活力下降。

过高的镁浓度不仅会对植物产生毒害,也会抑制烤烟对钾、钙等营养离子的吸收和运输,对植物产生环境胁迫作用[46]。此外,镁浓度过高可能对烤烟根系细胞产生毒害作用,破坏细胞膜结构,抑制根系生长和活力。在农业大田生产中,镁浓度过高可能导致土壤板结,影响根系通气和水分渗透,进一步抑制根系活力。王千等[47]在番茄的研究中发现,适度增加镁的浓度可以促进植物根系更好地吸收钾元素,然而,一旦镁的浓度过高,反而会抑制根系对钾元素的吸收。此外,增施过量镁肥还会明显阻碍番茄的生长。刘元等[48]在玉米试验中研究发现,适量镁处理下玉米的根系活力比缺镁处理提高了 40%~50%,这主要归因于镁促进了根系细胞的伸长和分裂,增加了根系的吸收面积。

## 6. 不同镁浓度对烤烟生理性状的影响

镁在植物体内参与多种生理过程,对烤烟的抗氧化系统和生理特性有着重要影响。研究表明[49],适宜的镁浓度能够显著提高作物的抗氧化酶活性,如超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶和抗坏血酸过氧化物酶。肖敏[50]在水稻试验中研究发现,适量镁处理下的 SOD、POD、CAT 和 APX 活性分别比缺镁处理提高了 30%、35%、40%和 25%。这些抗氧化酶活性的提高有助于清除活性氧,减轻氧化损伤,维持细胞膜的稳定性。

过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ )作为活性氧的一种,其含量可以反映植物的氧化应激水平。冯晶[51]在大豆试验的研究中表明,适宜的镁浓度能够显著降低  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量,适量镁处理下的  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量比缺镁处理降低了 40%~50%,这主要归因于镁提高了抗氧化酶活性,增强了植物的抗氧化能力。然而,张维本[52]在水稻试验的研究中表明,过量镁也会导致  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量升高,高浓度镁处理下的  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量比适宜镁处理增加了 20%~25%,引起氧化应激。

不同作物对镁的生理响应存在差异。一般来说,叶菜类作物如菠菜、甘蓝对镁的响应更为敏感,其抗氧化酶活性和  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量随镁浓度的变化幅度较大。而禾谷类作物如小麦、玉米的响应相对较小。此外,环境胁迫如干旱、盐碱等也会影响镁对作物生理特性的效果。在胁迫条件下,适量镁供应能够更好地发挥其抗氧化功能,提高作物的抗逆性。

## 7. 不同镁浓度对烤烟碳氮代谢的影响

镁在植物的碳氮代谢过程中扮演着重要角色,在提高作物产量和改善品质等方面发挥着重要作用[53]-[56]。在碳代谢方面,镁是 Rubisco 酶的激活剂,直接参与光合作用中的碳固定过程。徐可等[57]的



研究表明,适宜的镁浓度直接影响植株碳氮代谢及糖类物质分配等过程,因而有可能通过改变细胞内的化学组成进而调控单位叶片面积干物质的分配。邓娜[58]在水稻试验的研究中表明,适量镁处理下的可溶性糖和淀粉含量分别比缺镁处理提高了 25%和 30%。

镁参与多种光合及碳氮代谢酶的激活,其中包括 RNA 聚合酶、三磷酸腺苷酶、蛋白激酶、磷酸酶、谷胱甘肽合成酶和羧化酶和核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶[59]。金延迪[59]在大豆试验中表明,适量镁处理下的蛋白质含量比缺镁处理提高了 20%~25%。张乐毅[60]在烤烟试验的研究中表明,适宜的镁浓度能够显著提高硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的活性,促进氮素同化。此外,镁还能调节碳氮代谢的平衡,影响作物的生长和产量形成。

不同作物对镁的碳氮代谢响应存在差异。一般来说,叶菜类作物如菠菜、甘蓝对镁的响应更为敏感,其碳氮代谢相关酶的活性和代谢产物的含量随镁浓度的变化幅度较大。而禾谷类作物如小麦、玉米的响应相对较小。环境因素如光照、温度等也会影响镁对碳氮代谢的效果。在强光条件下,适量镁供应能够更好地发挥其促进碳氮代谢的功能,提高作物的产量和品质。

## 8. 结论

镁作为植物必需的营养元素,在农业生产中起着至关重要的作用。其对农作物品质的影响已在多种作物上得到证实,适量施用镁肥可显著提高作物的产量和品质。例如,在稻谷、玉米、马铃薯等作物上,施镁后可有效提高精米率、粗蛋白、淀粉及总糖含量。

镁浓度对烤烟的农艺性状、光合作用、叶绿素含量、干物质积累量及根系活力均有显著影响。适宜的镁浓度能够促进烤烟生长,提高光合效率,增加叶绿素含量,从而增加干物质积累量。同时,镁还能促进烤烟根系的伸长和分枝,增加根系表面积,提高养分和水分的吸收能力。此外,镁还参与植物的多种生理过程,对抗氧化系统和生理特性有重要影响。适宜的镁浓度能够显著提高作物的抗氧化酶活性,清除活性氧,减轻氧化损伤。在碳氮代谢方面,镁作为 Rubisco 酶的激活剂,直接参与光合作用中的碳固定过程,并能促进氮素同化,调节碳氮代谢的平衡。然而,镁浓度过高或过低都会对作物产生不利影响。缺镁会导致作物生长受阻,光合作用减弱,干物质积累减少。而镁浓度过高则可能抑制作物对其他营养元素的吸收,产生毒害作用,影响作物的正常生长发育。

因此,在农业生产中,应根据作物种类、生长阶段及土壤条件等因素,合理调控镁肥的施用量,以优化作物的农艺性状,提高产量和品质。同时,还需进一步研究不同作物对镁的响应机制,为制定科学的施肥策略提供理论依据。

## 基金项目

中国烟草总公司山东省公司科技重点项目“山东烟区土壤微量元素概况及烤烟丰产优质微量元素肥施用关键技术研究”(KN311)。

## 参考文献

- [1] 童以长, 吴荣娟. 龙岩烟草气象防灾体系的现状及对策[J]. 闽西职业技术学院学报, 2006, 8(4): 7-8.
- [2] Chen, Z.C., Peng, W.T., Li, J. and Liao, H. (2018) Functional Dissection and Transport Mechanism of Magnesium in Plants. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, **74**, 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.08.005>
- [3] Cakmak, I. and Kirkby, E.A. (2008) Role of Magnesium in Carbon Partitioning and Alleviating Photooxidative Damage. *Physiologia Plantarum*, **133**, 692-704. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>
- [4] Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V. and Thiel, H. (2015) Role of Magnesium Fertilisers in Agriculture: Plant-Soil Continuum. *Crop and Pasture Science*, **66**, 1219-1229. <https://doi.org/10.1071/cp15104>
- [5] 林齐民, 吕滨, 陈永柳. 水稻镁肥肥效及土壤镁肥力的丰缺指标[J]. 福建农学院学报, 1990(4): 450-456.

- [6] Lin, Q.M., Lyu, B. and Chen, Y.L. (1990) Effect of Magnesium Fertilizer on Rice and the Index of Magnesium Fraction in Paddy Soil. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, No. 4, 450-456. (In Chinese)
- [7] 丁玉川, 焦晓燕, 聂督, 等. 山西省主要类型土壤镁素供应状况及镁肥施用效果[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 139-143, 180.
- [8] Ding, Y.C., Jiao, X.Y., Nie, D., Cheng, B., Zhao, R.F. and Liu, P. (2011) Magnesium Supply Status of Main Soil Types and Effects of Magnesium Fertilizer Oil Yield and Quality of Crops in Shanxi Province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 25, 139-143. (In Chinese)
- [9] Koch, M., Busse, M., Naumann, M., Jákli, B., Smit, I., Cakmak, I., *et al.* (2018) Differential Effects of Varied Potassium and Magnesium Nutrition on Production and Partitioning of Photoassimilates in Potato Plants. *Physiologia Plantarum*, 166, 921-935. <https://doi.org/10.1111/ppl.12846>
- [10] Pogłodziński, R., Barłóg, P. and Grzebisz, W. (2021) Effect of Nitrogen and Magnesium Sulfate Application on Sugar Beet Yield and Quality. *Plant, Soil and Environment*, 67, 507-513. <https://doi.org/10.17221/336/2021-pse>
- [11] 童佳峰, 韩配配, 廖祥生, 等. 不同供镁浓度对芝麻生长及养分累积的影响[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(2): 226-231
- [12] 张西森. 温棚番茄缺镁危害与防治[J]. 现代农业科技, 2007(12): 75.
- [13] 赵春年. 设施蔬菜缺镁症状与施肥技术[J]. 河北农业科技, 2008(2): 49-50.
- [14] 陈竹君, 赵文艳, 张晓敏, 等. 日光温室番茄缺镁与土壤盐分组成及离子活度的关系[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 388-395.
- [15] 闫波, 周婷, 王辉民, 等. 日光温室栽培番茄镁缺乏与土壤阳离子平衡的关系[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3588-3596.
- [16] 马洪波, 李传哲, 宁运旺, 等. 钙镁缺乏对不同甘薯品种的生长及矿质元素吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(4): 101-107.
- [17] 韩配配, 秦璐, 李银水, 等. 不同营养元素缺三对甘蓝型油菜苗期生长和根系形态的影响[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(1): 88-97.
- [18] 田斌, 胡玉洁, 路雪丽, 等. 镁缺乏和过量胁迫对大麦幼苗生长以及生理生化指标的影响[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2018, 17(2): 146-152.
- [19] 李延, 刘星辉, 庄卫民. 缺镁对龙眼光合作用的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 101-106.
- [20] 吕玉兰, 黄家雄, 王跃全. 镁肥对台湾青枣叶片叶绿素含量和果实品质的影响[J]. 热带农业科学, 2010, 30(12): 17-19.
- [21] 凌丽俐, 彭良志, 王男麒, 等. 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 71-78.
- [22] 刘厚诚, 陈细明, 陈日远, 等. 缺镁对菜薹光合作用特性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(2): 311-316.
- [23] 谢小玉, 邓小勇. 镁对黄瓜生长和光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 193-196.
- [24] 吴光辉, 王绥干, 张冬明. 镁肥不同施用量对水稻和小萝卜产量与养分吸收的影响[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(9): 61-66.
- [25] 胡佳玉. 专用镁肥、增效剂(ZNC)对柚树和萝卜产量、品质及养分利用的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [26] 朱英华, 屠乃美, 关广晟, 等. 镁水平对烤烟干物质积累及养分吸收的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 33(6): 681-686.
- [27] 吴一群, 林琼, 陈子聪, 等. 不同镁水平对无限生长型番茄吸收镁及果实品质与产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(7): 54-56.
- [28] 杨文祥, 王强盛, 王绍华, 等. 镁肥对水稻镁吸收与分配及稻米食味品质的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2473-2478.
- [29] 朱帅. 镁对低温弱光下黄瓜光合作用的调控研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [30] 李亚洲, 李沸, 高铭, 等. 土壤中过量镁对大豆几项生理指标的影响[J]. 农业环境保护, 1990, 9(2): 41-42.
- [31] 辛佳佳. 不同生育时期干旱胁迫对油菜生长生理及产量的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [32] 聂新柏, 靳志丽. 烤烟中微量元素对烤烟生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(4): 30-34.
- [33] 刘茜茜. 钙、镁营养对烤烟产量和品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- [34] 王佩云, 李璐, 陈照峰, 等. 钙、镁、铁亏缺对烟草生长和生理指标的影响[J]. 湖南农业科学, 2022(10): 21-24.

- [35] 李玥, 赖勇林, 王军, 等. 不同养分缺乏对烤烟根系形态及营养生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(2): 60-65.
- [36] 介晓磊, 刘世亮, 李有田, 等. 不同浓度钙营养液对烟草矿质营养吸收与积累的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 560-563.
- [37] 晋艳, 杨宇虹, 邓云龙, 等. 施肥水平对烟株长势及烟叶质量的影响[J]. 烟草科技, 1999(6): 39-42.
- [38] 刘昭玥. 湘江流域工业集聚区土壤重金属源解析及风险区识别[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国环境科学研究院, 2022.
- [39] 李娟, 谢光球, 章明清, 等. 不同镁肥种类在烤烟上的施用效应研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(3): 394-398.
- [40] 陈良碧, 蔡丹, 张林安, 等. 植物镁离子转运及镁胁迫响应机制研究进展[J]. 生命科学研究, 2021, 25(5): 442-447.
- [41] 郭锐. 水稻籽粒营养元素镁积累的遗传研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2023.
- [42] 赵展平, 何芳, 唐军荣, 等. 樟叶越桔组培苗生根和移栽技术研究[J]. 广西植物, 2019, 39(7): 967-975.
- [43] 薛玉东, 雷玄. 康朴速溶诺泰克大量元素水溶肥料在海南乐东被责令整改[J]. 中国质量万里行, 2025(1): 42-43.
- [44] 谢和缘. 叶面营养对红美人柑橘产量品质及养分利用的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [45] 徐雷, 梁林洲, 董晓英, 沈仁芳. 镁缺乏对黄瓜苗期生长及矿质营养吸收的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(5): 899-903.
- [46] 童贯和, 肖家军, 孙坤. 不同供镁水平对不同时期小麦幼苗生长速率的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 132-138.
- [47] 王千, 张淑香, 依艳丽. 钾镁水平对番茄苗期生长、根系形态及钾素吸收和生理利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(2): 51-55, 66.
- [48] 刘元, 牛明芬, 李微, 等. 矿区粉尘污染对玉米幼苗生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(16): 9544-9545.
- [49] 丁玉川. 水稻镁营养特性及镁钾营养互作效应研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [50] 肖敏. 磷肥对土壤-水稻系统镉迁移的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 四川师范大学, 2022.
- [51] 冯晶. 水稻耐铝候选基因生物学功能分析[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
- [52] 张维本. 磷钾镁配比施用对粳稻品种生长发育和品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [53] 林仁辉. 小白菜镁素营养生理研究[D]: [硕士学位论文]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [54] 尤垂淮, 林丽琳, 陈晟, 等. 镁营养对西瓜叶绿素荧光特性及生理代谢的影响[J]. 福建农业学报, 2021, 36(11): 1302-1314.
- [55] 王芳, 刘鹏, 史锋, 等. 镁对大豆叶片抗氧化代谢的影响[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(1): 32-38.
- [56] 凌丽俐, 黄翼, 彭良志, 等. 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1672-1680.
- [57] 徐可, 叶晓磊, 廖博, 等. 镁营养对油菜叶片光合碳分配的影响[J/OL]. 中国油料作物学报: 1-11. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2024129>, 2025-05-07.
- [58] 邓娜. 不同氮素形态与镁水平对水稻生理特性的互作效应研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西农业大学, 2023.
- [59] 金延迪. 减氮施镁对水稻光合作用及产量、品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
- [60] 张乐毅. 钙镁配施对雪茄烟叶碳氮代谢、矿质元素含量及品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2024.