

控释肥调控烤烟生长发育的研究进展

徐蕊¹, 王滨¹, 朱先志¹, 贺鹏霖¹, 王中磊¹, 卢溪文¹, 于晓辉², 王钺程^{2*}

¹山东临沂烟草有限公司, 山东 临沂

²山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安

收稿日期: 2026年9月3日; 录用日期: 2026年10月6日; 发布日期: 2026年10月15日

摘要

控释肥作为一种能够调控养分释放速率的新型肥料,施用量是决定其在烤烟生产中应用效果的关键参数。不同施用量水平对烤烟的农艺性状、光合作用、叶绿素含量、干物质积累、根系活力、碳氮代谢、产量品质及肥料利用率等均产生差异化的调控效应。适宜的控释肥施用量能够显著促进烤烟生长发育,提高光合效率,增强根系活力,协调碳氮代谢过程,实现产量与品质的同步提升;控释肥施用量不足则导致养分供应短缺,烟株生长受限,叶色发黄,光合速率下降,干物质积累减少,产量降低;而施用量过高则可能引起奢侈吸收,导致烟株贪青晚熟,烟叶结构僵硬,化学成分协调性变差,烟碱含量升高,还原糖含量下降,甚至对根系产生胁迫效应。控释肥施用量的优化还与土壤类型、气候条件、烤烟品种及控释肥释放特性密切相关,在砂性土壤和降雨充沛地区需要适当增加施用量以弥补养分淋溶损失,而在粘性土壤和干旱地区则应适度降低施用量以避免释放滞后导致的后期供氮过剩。在减氮增效技术框架下,控释肥减量替代策略展现出显著的经济效益和环境效益,通过将部分速效肥替换为控释肥并在适度降低总施氮量的条件下施用,可以稳定或提升烟叶产量与质量。本文系统阐述了不同控释肥施用量对烤烟生长发育的差异化调控效应及其生理生态机制,旨在为控释肥在烤烟生产中的科学用量确定提供理论依据。

关键词

控释肥, 施用量, 烤烟, 生长发育, 产量品质

Research Progress on the Regulation of Flue-Cured Tobacco Growth and Development by Controlled-Release Fertilizers

Rui Xu¹, Bin Wang¹, Xianzhi Zhu¹, Penglin He¹, Zhonglei Wang¹, Xiwen Lu¹, Xiaohui Yu², Zhengcheng Wang^{2*}

¹Shandong Linyi Tobacco Co., Ltd., Linyi Shandong

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

*通讯作者。

文章引用: 徐蕊, 王滨, 朱先志, 贺鹏霖, 王中磊, 卢溪文, 于晓辉, 王钺程. 控释肥调控烤烟生长发育的研究进展[J]. 农业科学, 2026, 16(10): 1461-1468. DOI: 10.12677/hjas.2026.1610175

Abstract

As a new type of fertilizer that can regulate the rate of nutrient release, the application rate of controlled-release fertilizer is a key parameter determining its effectiveness in flue-cured tobacco production. Different application levels have differential regulatory effects on the agronomic traits, photosynthesis, chlorophyll content, dry matter accumulation, root activity, carbon-nitrogen metabolism, yield quality, and fertilizer use efficiency of flue-cured tobacco. An appropriate application rate of controlled-release fertilizer can significantly promote the growth and development of flue-cured tobacco, increase photosynthetic efficiency, enhance root activity, coordinate carbon-nitrogen metabolic processes, and achieve simultaneous improvements in yield and quality; insufficient application leads to nutrient deficiency, restricted plant growth, yellowing leaves, decreased photosynthetic rate, reduced dry matter accumulation, and lower yield; whereas excessive application may cause luxury consumption, resulting in overly dark green and late-maturing plants, stiff leaf structure, worsened coordination of chemical components, increased nicotine content, reduced reducing sugar content, and even stress effects on the roots. The optimization of controlled-release fertilizer application rates is also closely related to soil type, climatic conditions, flue-cured tobacco varieties, and the release characteristics of controlled-release fertilizers. In sandy soils and areas with abundant rainfall, it is necessary to appropriately increase the application rate to compensate for nutrient leaching losses, while in clay soils and arid regions, the application rate should be moderately reduced to avoid excessive late nitrogen supply caused by delayed release. Within the framework of nitrogen reduction and efficiency enhancement techniques, the strategy of partially replacing conventional fertilizers with controlled-release fertilizers shows significant economic and environmental benefits. By substituting part of the quick-acting fertilizer with controlled-release fertilizer and moderately reducing the total nitrogen application, tobacco yield and quality can be stabilized or improved. This paper systematically elaborates on the differential regulatory effects of various controlled-release fertilizer application rates on the growth and development of flue-cured tobacco and their physiological and ecological mechanisms, aiming to provide a theoretical basis for determining the scientific application rate of controlled-release fertilizers in flue-cured tobacco production.

Keywords

Controlled-Release Fertilizer, Application Rate, Flue-Cured Tobacco, Growth and Development, Yield and Quality

Copyright © 2026 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

控释肥在烤烟生产中的应用效果不仅取决于肥料类型和施用方式,还取决于施用量多少[1]。与速效化肥不同,控释肥的养分释放速率受土壤温度、水分及包膜材料特性的综合影响[2],其释放曲线与烟株需肥曲线的匹配程度与施用量水平密切相关[3]。控释肥施用量过低,难以满足烟株在旺长期和成熟期的养分需求[1];施用量过高,则可能造成中后期土壤养分过剩,烟株过量吸收,氮代谢过旺,碳代谢相对弱化,还原糖和总糖含量下降,烟碱含量升高,感官质量降低[4]-[6]。因此,明确控释肥施用量与烤烟生

长发育及产质量形成之间的定量关系[7], 确定特定生态条件下控释肥的适宜用量范围, 是控释肥技术推广应用中急需解决的问题[8]。

近年来, 国内众多学者围绕控释肥施用量对烤烟的影响开展了大量研究, 涉及缓控释一体肥、缓控释钾肥、掺混控释肥以及不同释放期控释氮钾肥等多种产品类型, 涵盖从漂浮育苗到大田生产的全过程。已有研究表明, 控释肥施用量对烤烟具有显著影响, 不同施用量水平在农艺性状、光合特性、氮代谢、产量形成及品质优化等方面产生了差异化的调控效果[1][9]。然而, 由于控释肥种类繁多、释放特性各异, 加之不同烟区的土壤质地、气候条件及烤烟品种差异显著, 控释肥的适宜施用量尚无统一标准[10]。本文聚焦控释肥施用量这一核心变量, 系统综述其对烤烟生长发育及产质量的差异化调控效应及内在机制, 为控释肥在烤烟生产中的精准施用提供科学参考。

2. 不同控释肥施用量对烤烟农艺性状的影响

农艺性状是烤烟生长发育状况的综合表征[11], 控释肥施用量对烤烟影响呈现出明显的依赖性[7]。大量田间试验表明, 随着控释肥施用量的增加, 烤烟的株高、茎围、有效叶数及最大叶面积等关键农艺性状总体呈上升趋势, 但当施用量超过某一阈值后, 各项指标的增速趋缓甚至出现下降[12]。林卿等以翠碧 1 号为试验材料, 设置不同施用量的缓控释一体肥处理, 结果表明随着缓控释一体肥施用量的增加, 打顶期烟株株高、茎围、有效叶片数、最大叶面积等农艺性状均显著提升[7]。吴涛等以云烟 87 为供试品种, 设置 750 kg/hm² 和 900 kg/hm² 两个缓控释一体肥用量水平, 发现增加施用量显著提高了平顶期平均茎围和上部叶面积, 其中 900 kg/hm² 处理的上部叶发育更为充分[13]。毛林昌等研究了 40 d 缓释期控释钾肥不同施用量对烤烟农艺性状的影响, 结果显示在烟株生长前中期, 当施钾量达到 186 kg/hm² 以上时, 株高显著增高, 茎围和最大叶的长、宽显著高于常规施肥处理; 施钾量低于该水平则促进效果不明显[14]。

值得注意的是, 控释肥施用量并非越高越好。黄松青的研究表明, 在高施肥水平下, 控释肥处理虽然仍能提高各项农艺性状指标, 但与常规施肥的差异幅度明显减小, 部分指标甚至出现边际效益递减现象[1]。潘兴兵等进一步发现, 控释肥施用量的优化还需考虑土壤 pH 条件, 在不同 pH 土壤上控释肥用量的最佳范围存在差异, 过高或过低的用量均不利于根系发育和地上部形态建成[15]。

3. 不同控释肥施用量对烤烟光合作用及叶绿素含量的影响

光合作用是烤烟干物质积累的生理基础[16], 叶绿素含量和 SPAD 值则是衡量光合潜力的重要指标[17]。控释肥施用量通过调节叶片氮素营养水平, 对光合特性产生显著的剂量效应[18]。马松等采用盆栽试验, 研究了增施控释复合肥对烤烟叶片生理特性的影响, 结果表明增加控释复合肥的用量能显著提高烤烟叶片生育期的叶绿素和类胡萝卜素含量(以团棵至打顶期最为显著), 同时提高了抗坏血酸(ASA)含量(旺长至成熟期)[19]。吴涛等的研究进一步证实, 增加缓控释一体肥用量显著提高了云烟 87 上部叶 SPAD 值和净光合速率, 各处理间上部叶光合特性的差异被认为是导致产量产值差异的主要原因[13]。张雪芹等的研究表明, 控释肥处理能够提高烤烟旺长期以后的叶片叶绿素含量, 提高旺长期烟叶净光合速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度, 且这些光合参数的改善程度与控释肥施用量密切相关[20]。当施氮量由 90 kg/hm² 提高到 150 kg/hm² 时, 烤烟产量和产值均显著增加, 但上等烟比例和均价略有下降, 表明光合效率的提高与品质性状之间并非简单的正相关关系[1]。

此外, 控释肥施用量对光合作用的调控效应还受土壤类型影响[21]。赵阿娟等的研究发现, 在壤土中施用缓控释氮钾肥对烟草光合作用的影响与常规施肥无显著差异, 而在砂性土中则表现出一定的下调效应, 提示在砂性土壤上可能需要适当增加控释肥用量以维持稳定的光合性能[22]。

4. 不同控释肥施用量对烤烟根系活力及干物质积累的影响

根系是烤烟吸收水分和养分的重要器官,其活力水平直接影响地上部的生长发育[23]。干物质积累是烤烟产量形成的物质基础[24],二者均受到控释肥施用量的深刻调控。研究表明,施用烟草缓释肥料可显著提高烟株根系活力、叶片叶绿素含量和净光合速率以及烟株干物质的积累,且这些指标的改善程度与施用量密切相关[13]。其中以每株施用 45.45 g 烟草缓释肥料对根系形态和干物质积累的促进效果最好,其次为每株施用 38.63 g 处理[20]。值得注意的是,减少烟草缓释肥料用量的处理虽然降低了烟叶产量,但因改善了烟叶品质反而提高了产值,缓释肥料对烟叶产值的影响以每株施用 38.63 g 处理效果最佳[25]。冯烨君等的研究进一步表明,缓控释肥施对烤烟农艺性状影响不显著,但显著提高了干物质积累量,尤其是高养分水平的 T3 处理(N-P-K = 10-10-30)的根和叶干重显著高于其他处理,且缓控释肥处理促进了烟株对氮钾素的吸收与积累,其中 T3 表现最佳[26]。不同控释肥施用量对根系活力的影响存在阈值效应[27]。危跃的研究表明,在低施肥水平下,施用水稻专用缓释肥对根系活力的提升效果更为显著,而在高施肥水平下提升效果相对减弱[28]。由此可见,控释肥并非施用越多效果越好,实际应用中需把控用量,实现养分高效利用。

碳氮代谢是烤烟生长发育的核心生理过程,二者之间的动态平衡决定着烟叶的产量形成和品质形成[5][29]。控释肥施用量通过调控氮素供应强度,对碳氮代谢关键酶活性及代谢产物积累产生差异化影响[30]。丁洪研究表明,施用烟草专用缓释肥能够提高旺长期至成熟期烟株各农艺性状指标、干物质重、根系活力、烟叶 SPAD 值以及烟叶硝酸还原酶活性[31];同时提高烤烟旺长期烟叶净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度等光合作用指标,以及各生育期烟叶可溶性总糖、还原糖、烟碱、全氮、全钾等化学成分含量[32]。控释肥施用量对氮代谢的影响尤为突出。黄松青等的研究显示,当施氮量由 90 kg/hm² 提高到 150 kg/hm² 时,烟叶烟碱含量显著提高,总糖与还原糖含量显著下降[1]。这一结果表明,控释肥施用量的增加在促进氮代谢的同时,可能抑制了碳代谢产物的积累,反映了碳氮代谢之间此消彼长的平衡关系[33]。抗氧化酶活性方面,马松等的研究揭示,增加控释复合肥用量能显著提高烤烟叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性(团棵至打顶期)和过氧化物酶(POD)活性(旺长至成熟期),同时显著降低了丙二醛(MDA)含量和超氧阴离子自由基(O₂⁻)产生速率,表明适宜剂量的控释肥可增强烤烟的抗氧化能力,延缓叶片衰老[34]。

5. 不同控释肥施用量对烤烟产量和品质的影响

产量与品质是烤烟生产追求的双重目标,控释肥施用量对这两者的影响呈现出显著的非线性特征[35]。控释肥施用量的优化本质上是产量与品质之间权衡和协调的过程[36]。从产量效应来看,吴涛等的研究结果表明,与常规施肥相比,750 kg/hm² 和 900 kg/hm² 缓控释一体肥处理使云烟 87 产量分别提高 8.19% 和 13.80%,产值分别增加 6058.95 元和 12874.65 元/hm²,且显著提高了中桔三和中桔二的产量,说明增加施用量对烟叶等级结构的优化效果更为突出[13]。从品质效应来看,控释肥施用量对化学成分的调控效应呈现出复杂的趋势[37]。林卿等的研究表明,随缓控释一体肥施用量的增加,主要化学成分烟碱、总氮和钾含量整体呈上升趋势,而总糖、还原糖含量呈下降趋势,经济性状及感官质量显著提升[7]。张翔等的研究也证实了类似的趋势:控释肥处理较普通复合肥显著提高了烟叶全钾含量和烟碱含量,但显著降低了总糖和还原糖含量[38]。蒋伟峰的研究表明:在高、低两种施肥水平下,施用缓释肥比施用普通专用肥烤后烟叶产量、产值均有所提高,且烟叶可溶性总糖、还原糖、烟碱、全钾含量较高,化学成分协调,符合优质烟叶要求[39]。但在低施肥水平下,缓释肥的增产提质幅度更大,肥料效益更高。冯烨君等的研究进一步表明,缓控释肥处理中,T1 和 T2 的感官评吸质量得分最高,但 T3 在经济性状方面表现最佳,其产值、均价和上等烟比例显著高于其他处理[26]。这反映了产量和品质在控释肥施用量优化中可能

存在目标冲突,生产上需根据最终用途和效益目标进行综合权衡。

6. 控释肥施用量对肥料利用率的影响

肥料利用率是衡量控释肥施用效益的核心指标[40],控释肥施用量与其对肥料利用率的提升效果之间呈现“低促高抑”规律[41]。危跃的研究系统揭示了这一规律:在低施肥水平下,施用烟草专用缓释肥的氮、钾肥利用率较普通专用肥分别高出 24.13 和 25.08 个百分点;而在高施肥水平下,施用缓释肥的氮、钾肥利用率较普通专用肥仅高出 8.74 和 8.58 个百分点[1]。这一结果表明,当控释肥施用量较低时,养分释放与烟株吸收的同步性优势得到了最大程度的发挥[1] [42];而当施用量提高后,即使释放特性再好,土壤中仍然积累了超出烟株同化能力的养分,部分养分以硝态氮淋溶或氨挥发等形式损失[43]。上述结果表明,控释肥的相对优势在低施用量条件下更为突出,这为控释肥配合减量施肥策略的实施提供了有力的理论支持。施用控释肥还能有效保持中后期植烟土壤的全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量,提高土壤肥力,促进烤烟营养元素的吸收[12] [44]。与普通专用肥相比,低施肥水平下控释肥的保肥效果更为显著。

7. 减氮增效背景下控释肥的优化用量策略

在化肥减量增效的农业政策导向下,控释肥因其优异的“减量增效”特性而备受关注[45]。研究表明,控释肥的施用并非简单地用等养分量的控释肥完全替代速效肥,而是在适当降低总施氮量的前提下,通过合理掺配控释肥与速效肥比例,实现产量、品质与环境效益的多目标优化[46] [47]。湖南省农业科学院的研究指出,在施氮量不变的情况下,50%底肥 + 50%缓释肥的配比方案烤烟农艺性状表现最佳,能够最大程度地增加烤后烟叶的产量、产值、单叶重及上等烟比例,改善烤后烟叶化学成分协调性,同时保证中性致香物质略有增加;而当施氮量减少 12.5%时,增施或减少缓释肥占比烤烟的农艺性状均表现欠佳,说明减氮幅度应与缓释肥占比协同调整,单纯减氮不优化缓释肥比例难以达到理想效果[48]。赵阿娟等的研究发现,在壤土中施用缓控释氮钾肥,可以在减少肥料施用次数的同时保障烟草的生长发育;而在砂性土中,则应适当增加缓控释氮钾肥的施用量以弥补因淋溶损失造成的有效养分不足[22]。这一结果表明,控释肥用量的确定必须考虑土壤质地的区域性差异[49]。

综合已有研究,控释肥用量的优化应遵循以下原则:第一,根据烤烟品种的需肥特性和目标产量确定总施氮量,控释氮占比一般控制在 30%~60%之间[50];第二,根据土壤质地和气候条件调整控释肥用量和释放期,沙质土壤和降雨充沛地区宜选择较长释放期的控释肥并适当增加用量[51];第三,在减量施肥框架下,控释肥的用量应在常规推荐用量的基础上适度下调,充分发挥其高利用率的優勢[52];第四,结合 SPAD 值和土壤养分动态监测进行实时调控,避免控释肥释放特性与实际烟株需求脱节[53]。

8. 结论

控释肥施用量是决定其在烤烟生产中应用效果的关键参数。综合现有研究,可以得出以下主要结论:第一,控释肥施用量对烤烟农艺性状、根系活力、干物质积累、光合特性及产量品质均表现出显著的剂量效应。适宜的施用量能够优化烟株形态结构,提高叶绿素含量和光合速率,增强根系吸收能力,协调碳氮代谢,实现产量和品质的提升;施用量不足则无法充分发挥控释肥的长效优势;施用量过高则可能导致奢侈吸收、碳氮代谢失衡、品质下降及肥料浪费。第二,控释肥施用量与肥料利用率之间呈现典型的负相关关系。在低施用量水平下,控释肥较速效肥的利用率优势更为突出,氮肥利用率可提高 20 个百分点以上,钾肥利用率提高接近 10 个百分点;而在高施用量水平下,这一优势显著收窄。这一规律为控释肥配合减量施肥策略提供了科学依据。第三,控释肥施用量的优化需综合考虑烤烟品种、土壤类型、气候条件和控释肥释放特性等多种因素。在壤土中,控释肥的保肥效果良好,施用量可适度降低;在砂性土中则需适当增加施用量以抵消淋溶损失。第四,减氮增效是控释肥应用的重要方向。在适度降低总

施氮量的前提下,通过控释肥与速效肥的合理掺配,能够在保障烟叶产量和品质的同时,显著提高肥料利用效率,降低环境负荷,实现烤烟生产的绿色可持续发展。未来研究应聚焦于:控释肥用量与释放期的交互效应机制、控释肥施用量对烤烟香气成分和吸食品质的深层影响、基于光谱技术和大数据的控释肥精准用量决策系统开发等方面,为控释肥在烤烟生产中的科学推广提供更加坚实的理论支撑。

基金项目

项目名称《烤烟节本增效控释肥施用关键技术研究》,项目编号:2022371300260643-004。

参考文献

- [1] 黄松青,危跃,屠乃美,等.控释肥对烤烟光合特性和产质量与氮钾利用率的影响[J].中国烟草科学,2023,36(1): 54-60.
- [2] 张民,史衍玺,杨守祥,等.控释和缓释肥的研究现状与进展[J].化肥工业,2001,28(5): 27-30.
- [3] 吕大树,杨洋,杨燕,等.有机肥施用量对烟草农艺性状及产质量的影响[J].植物医学,2025,4(2): 74-80.
- [4] 赵亚南,宿敏敏,吕阳,等.减量施肥下小麦产量、肥料利用率和土壤养分平衡[J].植物营养与肥料学报,2017,23(4): 864-873.
- [5] 张嘉雯,卢绍浩,赵铭钦,等.植烟密度对雪茄烟叶碳氮代谢及品质的影响[J].中国烟草科学,2023,41(4): 95-100.
- [6] 孙光伟,陈振国,赵环宇,等.采收次数对上部烟叶碳氮代谢及产质量的影响[J].中国烟草科学,2023,39(6): 58-65.
- [7] 林卿,叶超,武博,等.缓控释一体肥施用对烤烟生长和产质量的影响[J].安徽农业科学杂志,2023,51(20): 153-155+175.
- [8] 孙雪,高璐阳,陈宏坤,等.缓控释肥料对我国生态农业发展的效应分析与策略研究[J].生态工业科学与磷氟工程,2025,40(10): 75-81.
- [9] 陈艳,丁德盛,戴勇,等.氮肥用量与种植密度对烤烟生长、光合特性及产质量的影响[J].江西农业学报,2026,38(1): 48-55.
- [10] 熊于斌,余顺平,杨娅,等.不同比例化肥减量配施有机肥对植烟土壤有机碳固存的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2023,32(2): 262-272.
- [11] 王成己,郭学清,曾文龙,等.不同生物质炭用量对烤烟生长和烟叶品质的影响[J].南方农业杂志,2019,50(10): 2160-2168.
- [12] 曾祥难,冯烨君,余育光,等.有机无机氮配施对植烟土壤氮形态和烟叶质量的影响[J].中国烟草科学,2026,47(3): 10-17.
- [13] 吴涛,薛钦仁,史晓华,等.一次性基施烟草缓控释一体肥对“云烟87”光合特性及产量的影响[J].安徽农业科学,2024,52(9): 125-128.
- [14] 毛林昌,李想,刘艳霞,等.不同施用量的缓控释钾肥对烟草生长和品质的影响[J].农业与技术,2023,43(2): 76-78.
- [15] 潘兴兵,封俊,简连均,等.掺混控释肥对不同酸碱土壤烤烟根系和烟叶产质量的影响[J].湖北农业科学,2022,61(12): 95-100.
- [16] 王摇瑞.光强对苗期烤烟光合作用及干物质生产的影响[J].应用生态学报,2010,21(8): 2072-2077.
- [17] 郭财源,李艳民,胡观兴,等.油茶杂交子代叶片光合特性与形态结构[J].中南大学学报,2025,45(9): 59-70.
- [18] 李广浩,赵斌,董树亨,等.控释尿素水氮耦合对夏玉米产量和光合特性的影响[J].作物学报,2015,41(9): 1406-1415.
- [19] 马松,许自成,苏永士,等.增施控释复合肥对烤烟叶片生理特性和氮、磷、钾含量的影响[J].生态学杂志,2011,30(8): 1647-1653.
- [20] 张雪芹,彭克勤,王少先,等.烤烟缓释肥料对烟株根系和光合特性的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(3): 454-458.
- [21] 王永军,孙其专,杨今胜,等.不同地力水平下控释尿素对玉米物质生产及光合特性的影响[J].作物学报,2011,37(12): 2233-2240.

- [22] 赵阿娟, 区禧贤, 翟争光, 等. 一次性施用缓控释氮钾肥对烟草生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2025, 64(11): 102-109+118.
- [23] 霍昭光, 孙志浩, 邢雪霞, 等. 北方烟区水肥一体化对烤烟生长、根系形态、生理及光合特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1317-1325.
- [24] 雷波, 王昌全, 伍仁军, 等. 富钾绿肥籽粒苋对烤烟干物质积累和产量、质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(5): 69-73.
- [25] 肖艳松, 相雨晴, 姚鸿吉, 等. 不同化肥减施对烟草养分利用率和烟叶产量及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2025, 46(3): 55-62.
- [26] 冯焯君, 梁桂广, 阮杰崇, 等. 缓控释肥对烤烟生长发育及烟叶质量的影响——以南平烟区‘翠碧 1 号’为例[J]. 湖南农业科学, 2025(6): 45-51.
- [27] 田利英, 李胜利, 余路明, 等. 控释肥种类及用量对黄瓜植株生长及果实产量的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(6): 59-63.
- [28] 张嫩珠. 缓控释肥对水稻生长及肥料利用率的影响[J]. 福建农业科技, 2025, 56(10): 83-88.
- [29] 王红丽, 杨惠娟, 苏菲, 等. 氮用量对烤烟成熟期叶片碳氮代谢及萜类代谢相关基因表达的影响[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(5): 116-120.
- [30] 曹兵, 黄志浩, 吴广利, 等. 控释掺混肥一次性减量施用对夏玉米产量、氮肥利用和叶片氮代谢酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 127-133.
- [31] 丁洪, 郑祥洲, 唐莉娜, 等. 控释专用肥在烟草上应用效应研究[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(5): 33-37.
- [32] 赵会纳, 雷波, 潘文杰, 等. 有机肥施用种类和时间对烤烟生长发育和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(10): 53-57.
- [33] 高捷, 李思宇, 成大宇, 等. 缓控释肥对水稻产量与品质影响的研究进展[J]. 作物杂志, 2022, 38(3): 20-26.
- [34] 马松, 许自成, 苏永士, 等. 施用控释复合肥对烤烟叶片抗氧化系统的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2011, 19(2): 276-279.
- [35] 赵文军, 杨继周, 尹梅, 等. 绿肥模式下减量施氮对烤烟产量与品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(4): 189-196.
- [36] 周舟, 沈炘垚, 王俊, 等. 控释肥与普通尿素组合对水稻产量, 氮肥利用率和米质的影响[J]. 作物杂志, 2024, 40(4): 180-187.
- [37] 安文博, 孙焱鑫, 李占台, 等. 不同缓控释肥对鲜食玉米产量、品质及氨挥发的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(7): 2422-2430.
- [38] 张翔, 毛家伟, 黄元炯, 等. 生物包膜控释钾肥对烤烟叶片钾含量及产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(3): 42-46.
- [39] 蒋伟峰, 金佳威, 常剑波, 等. 根施 γ -聚谷氨酸对烤烟根系活力及烟叶产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(7): 56-64.
- [40] 刘晓淑, 侯翠红, 陈新平, 等. 无机包裹缓释肥对水稻生长与氮肥利用的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(1): 83-92.
- [41] 李伟, 李絮花, 李海燕, 等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(4): 699-706.
- [42] 梁泳怡, 王晶晶, 吴炳孙, 等. 氮肥有机替代对橡胶树苗期养分吸收及土壤肥力的影响[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(4): 915-930.
- [43] 褚继登, 闫慧峰, 王树声, 等. 化肥减量配施生物炭对植烟土壤氮素淋失的影响[J]. 中国烟草科学, 2023, 43(4): 40-47.
- [44] 李湘伟, 赵宇霞, 白寿光, 等. 功能炭基有机肥配施微生物菌剂改善烤烟产质量及相关因素分析[J]. 土壤与作物, 2026, 15(1): 119-132.
- [45] 李芳, 冯淑怡, 曲福田. 发达国家化肥减量政策的适用性分析及启示[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(1): 15-23.
- [46] 李子双, 李洪杰, 杜梦扬, 等. 控释掺混肥对冬小麦产量·氮素吸收及施肥经济效益的影响[J]. 安徽农业科学杂志, 2025, 53(1): 152-157.
- [47] 曹兵, 丁紫娟, 侯俊, 等. 控释掺混肥结合增密对水稻氮肥利用效率和氨挥发的影响[J]. 中国农业工程学会会刊, 2022, 38(13): 56-63.

-
- [48] 刘芳, 孟智勇, 江祥伟, 等. 缓释肥不同对比对郴州烤烟产量及品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2023(12): 33-38.
 - [49] 温延臣, 李燕青, 袁亮, 等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 91-99.
 - [50] 廖强, 杨新士, 廖敏, 等. 不同施氮量对赣南烟区烤烟生长发育及烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学杂志, 2024, 52(8): 142-144.
 - [51] 钟卓妍, 董玲玲. 缓控释肥发展现状及其土壤改良的研究进展[J]. 有机化学研究, 2023, 11(2): 49-56.
 - [52] 黄绍文, 唐继伟, 李春花, 等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1480-1493.
 - [53] 石义思, 谢凯, 陈思雨, 等. 水稻生产的作物特性与养分管理策略[J]. 土壤科学, 2026, 14(1): 19-28.