Hans Journal of Agricultural Sciences 农业科学, 2026, 16(11), 1641-1650
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/hjas
https://doi.org/10.12677/hjas.2026.1611195

Hans汉斯

控释肥不同施用量对烤烟生长发育及产质量的影响

李　峰[1]，徐　蕊[1]，田　雷[1]，朱先志[1]，贺鹏霖[1]，王丽丽[1]，卢溪文[1]，王钲程[2]，于晓辉[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10月1日；录用日期：2026年10月29日；发布日期：2026年11月5日

摘　要

为探讨控释肥不同施用量对烤烟NC55品种生长发育及烟叶产质量的影响，筛选最适宜的控释肥施用量，实现烤烟生产的节本增效，本研究通过大田试验，设置3个处理：T1 (控释肥20 kg/亩)、T2 (控释肥30 kg/亩)、T3 (控释肥40 kg/亩)，系统分析了不同控释肥施用量对烤烟生育期、农艺性状、光合特性、经济性状、化学成分、氮素利用、碳氮代谢、衰老特性、感官评吸及外观质量的影响。结果表明，不同控释肥施用量对烤烟大田生育期影响不显著，但对农艺性状、经济性状及烟叶品质有显著影响。处理T2 (30 kg/亩)在光合特性、氮素利用效率、碳氮代谢相关酶活性、抗氧化酶活性及经济性状等方面表现最优，控释肥30 kg/亩为山东烟区烤烟NC55品种的最适宜施用量。该研究为优化控释肥施用策略、提升烤烟种植效益提供了科学依据。

关键词

控释肥，烤烟，NC55，施用量，氮素利用，烟叶品质

The Effects of Different Application Rates of Controlled-Release Fertiliser on the Growth, Development, Yield and Quality of Flue-Cured Tobacco

Feng Li[1], Rui Xu[1], Lei Tian[1], Xianzhi Zhu[1], Penglin He[1], Lili Wang[1], Xiwen Lu[1], Zhengcheng Wang[2], Xiaohui Yu[2*]

[1]Shandong Linyi Tobacco Co., Ltd., Linyi Shandong
[2]College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong

[*]通讯作者。

文章引用: 李峰, 徐蕊, 田雷, 朱先志, 贺鹏霖, 王丽丽, 卢溪文, 王钲程, 于晓辉. 控释肥不同施用量对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 农业科学, 2026, 16(11): 1641-1650. DOI: 10.12677/hjas.2026.1611195

Received: October 1, 2026; accepted: October 29, 2026; published: November 5, 2026

Abstract

To investigate the effects of different application rates of controlled-release fertiliser on the growth and development of the NC55 flue-cured tobacco variety, as well as on tobacco leaf yield and quality, and to identify the most suitable application rate for controlled-release fertiliser with a view to reducing costs and increasing efficiency in flue-cured tobacco production, this study conducted field trials with three treatments: T1 (20 kg/mu of controlled-release fertiliser), T2 (30 kg/mu of controlled-release fertiliser) and T3 (40 kg/mu of controlled-release fertiliser). The study systematically analysed the effects of different application rates of controlled-release fertiliser on the growth period, agronomic traits, photosynthetic characteristics, economic traits, chemical composition, nitrogen utilisation, carbon-nitrogen metabolism, senescence characteristics, sensory evaluation and appearance quality of flue-cured tobacco. The results indicated that different application rates of controlled-release fertiliser had no significant effect on the growth period of flue-cured tobacco in the field, but did have a significant impact on agronomic traits, economic traits and tobacco leaf quality. Treatment T2 (30 kg/mu) performed best in terms of photosynthetic characteristics, nitrogen use efficiency, enzyme activities related to carbon-nitrogen metabolism, antioxidant enzyme activity and economic traits; an application rate of 30 kg/mu of controlled-release fertiliser was determined to be the most suitable for the NC55 variety of flue-cured tobacco in the Shandong tobacco-growing region. This study provides a scientific basis for optimising controlled-release fertiliser application strategies and enhancing the economic benefits of flue-cured tobacco cultivation.

Keywords

Controlled-Release Fertiliser, Flue-Cured Tobacco, NC55, Application Rate, Nitrogen Utilisation, Tobacco Leaf 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

烟草(*Nicotiana tabacum* L.)是我国重要的经济作物之一[1]，其产量和品质直接关系到烟农的经济收入和烟草工业的发展[2]。在烤烟生产中，合理施用化肥是提高烟叶产量和品质的关键措施[3] [4]。然而，传统化肥存在养分释放过快、利用率偏低、流失严重及环境污染等问题，已成为制约烤烟优质高效生产的突出瓶颈[5]。控释肥作为一种新型环境友好型肥料，能够依据作物需肥规律调控养分释放速率[6]，具有养分利用率高、减少施肥次数、降低环境污染等显著优势，正逐渐受到农业生产和烟草栽培领域的高度重视[7]。

近年来，有关缓/控释肥料在烤烟生产中的应用研究日益增多[8]。研究表明，控释肥能够促进烟草生长发育、增强抗逆性、提高烟叶钾含量、促进烤后烟叶化学成分的协调，提升外观和感官质量，提高肥料利用率和经济效益[8] [9]。丁洪等通过 5 年的田间试验发现，施用烟草控释肥可提高烟叶产量 14.1~51.8 kg/hm^2，肥料 N、P、K 利用率分别提高 2.3~6.7、1.9~3.6、1~3.1 个百分点，上等烟比例提高 3.9~5.8 个百分点[8]。马松等的研究也表明，增施控释复合肥能显著提高烤烟叶片叶绿素、类胡萝卜素含量及 SOD、POD 活性，同时降低 MDA 含量，提高烤烟的抗氧化能力和对氮、磷、钾营养元素的积累[10]。然而，控释肥施用量并非越高越好，用量不足会导致养分供应不够，用量过高则会造成养分浪费和烟株贪青晚熟

[11]，因此确定适宜的控释肥施用量对于烤烟的节本增效生产至关重要。

控释肥在烤烟栽培中虽具备养分利用率高、可简化农事操作等优势，但施肥量并非越高越优，施肥不足会造成烟株养分供给匮乏，过量施用又易引发养分浪费、烟株贪青晚熟等问题，直接制约烟叶产量与品质提升。目前针对山东烟区 NC55 品种的控释肥适宜用量仍有待进一步明确。鉴于此，本研究设置梯度控释肥施用量开展大田试验，分析不同施肥水平下烤烟生育进程、农艺表现、光合生理、氮素利用、碳氮代谢、衰老特性及烟叶产质量的变化规律，筛选该区域 NC55 烤烟的适宜控释肥施用量，以期为当地烤烟控释肥科学施用、节本提质增效提供实践依据与技术参考。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

试验地点位于前善疃试验地，试验地选择肥力中等一致、地势平坦、灌排水方便的地块，土壤类型为棕壤。供试肥料为青岛海之冠控释掺混肥料，供试烤烟品种为 NC55。

2.2. 试验设计

采用大区示范设计，试验设置 3 个处理，处理 T1 为控释肥 20 kg/亩，处理 T2 为控释肥 30 kg/亩，处理 T3 为控释肥 40 kg/亩，每个处理 2 亩。除上述处理不一致外，其余肥料施用、栽培管理措施均完全一致。按照烟叶生产规范、流程要求进行，各项农事操作及时一致，同一管理措施在同一时期内完成。

2.3. 测定项目及方法

2.3.1. 生育期气象记录

采用专业仪器，按照烤烟生育期调查标准准确记录移栽期、团棵期、现蕾期、中心花开放期、脚叶成熟期、顶叶成熟期的时间。

2.3.2. 大田生育期调查

按照烤烟大田生育期调查标准，详细记载烟草的播种期、出苗期、移栽期、团棵期、现蕾期以及叶片成熟期等关键生育期。通过定点定株观测，记录各生育期的具体时间和生长状况，以便后续分析烟草的生长发育规律。

2.3.3. 植物学性状

选取代表性植株，详细观测并记录其株高、叶数、叶形、叶色、茎粗等关键性状，确保数据准确，以全面评估烟草植株的生长发育状况及其与产量、品质的关系。

2.3.4. 农艺性状

按《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142-2010)，烟草植株移栽后，每小区选择 6 株烟草植株测量其株高、节距、茎围及有效叶片数，并测量最大叶长和最大叶宽。

2.3.5. 光合特性

烤烟成熟期，于晴朗的上午 9:00 开始对每个小区挂牌的烟株随机选取 6 株进行测定，用 SPAD-502 便携式叶绿素仪测定中部叶片(从下到上的第 10 叶位)叶绿素的相对含量。同时使用 Li-6400 光合仪选取每片中部叶基部的第 2、3 叶脉间的位置测定光合参数，包括净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率。

2.3.6. 经济性状

烟叶经过常规烘烤调制后，根据国家标准 GB 2635-1992 对烤烟进行分级，统计计算各处理的上中等

烟比例、均价、产量、产值等经济性状。

2.3.7. 化学成分

采收结束后，参考烟草行业标准 YC/T 159-2019、YC/T 468-2013、YC/T 162-2011，取烤后中部叶(C3F)样品 1.5 kg，放入 55℃的烘箱中直到达到恒重，用流动分析仪测定总糖、还原糖、总氮、烟碱、氯离子和钾离子的含量。

2.3.8. 氮素利用

在烟叶成熟期选择有代表性的植株，每处理 6 株，挖取整棵烟株，用水冲洗干净后再用吸水纸吸干水分，将烟株的根、茎和叶各器官分开，将其贴上标签。烘干后的烟叶、茎和根分别用粉碎机粉碎并过 0.5 mm 筛后，使用流动分析仪分别测定全氮，并计算氮素积累量、氮收获指数及氮肥利用效率。

2.3.9. 碳氮代谢

每处理在现蕾期选取 6 片新鲜中部叶片，液氮速冻后按照试剂盒(北京索莱宝科技有限公司)说明测定碳氮代谢相关酶硝酸还原酶(NR)、中性转化酶(NI)、α 淀粉酶、β 淀粉酶、总淀粉酶活性及蔗糖含量。

2.3.10. 衰老特性

每处理在现蕾期选取 6 片新鲜中部叶片，液氮速冻后按照试剂盒(北京索莱宝科技有限公司)说明测定衰老特性相关酶：超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)及 H_2O_2 含量。

2.3.11. 感官评吸及外观质量

烟叶感官评吸由山东中烟评吸专家依据 YC/T 430-2015，对烟叶质量风格特色和品质特征进行评价，评吸项目为香型、香气质、香气量、杂气、刺激性、余味、燃烧性、灰色等。每个处理取 B2F 和 C3F 烤后烟叶各 2 kg 作测试样品。由专职评级人员参照 GB 2635-1992 烤烟分级标准对烟叶样品的颜色、成熟度、叶片结构、身份、油分、色度等进行外观质量评价。

2.3.12. 田间病害

在烟草实验中，关于田间常见病害的实验方法应详细记录病害种类、症状表现、发生时间及防治措施。通过定期巡查田间，及时发现并记录病害情况，为后续病害防控研究提供数据支持。

3. 结果与分析

3.1. 生育期气象记录

Table 1. Meteorological data for the growth period
表 1. 生育期气象数据

项目	时间	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
		2024/常年	2024/常年	2024/常年	2024/常年	2024/常年	2024/常年	2024/常年
平均气温(℃)	上旬	4/4.7	15.2/11.8	18.1/18.3	25.1/22.7	24.6/25.5	28.8/26.3	25.4/24.2
	中旬	10.1/7.3	17.6/14.1	23.2/19.5	26.8/25.7	26/25.3	28.3/25.3	24.5/21
	下旬	12.7/9.2	17.6/16.2	22.4/21.7	26/26.7	28.8/24	27.6/24	20.6/19.3
	平均	9/7.2	16.8/14	21.3/19.9	26/23.7	26.6/26	28.2/25.1	23.5/21
降水量(mm)	上旬	3.5/5.5	0/8.6	9.3/23.5	0/13.3	197.7/50.4	74/74	4.9/26.9
	中旬	0/5.4	5.2/11.1	2.1/24.2	36.8/26.2	110.5/73.9	15.8/78.5	16.7/23.7

续表

下旬	5.2/6.2	2.6/13.6	22.6/16	22.2/50.3	249.7/69.7	36.1/48.7	1.3/11.9
月降水总量(mm)	8.7/17.1	7.8/33.3	34/63.6	59/89.8	557.9/193.9	125.9/201.2	22.9/62.5

由表 1 可知，2024 年气象数据与常年有所不同。在平均气温方面，今年 3 月~9 月均较常年温度高。降雨量方面，今年烤烟生育期内降水量分布不均。移栽后至 6 月，降雨量显著低于常年水平，此期间烤烟处于团棵期至旺长期，期间使用滴灌浇水 2 次；7 月 4 日后降水量显著高于常年，此期间烤烟生长进入成熟期，降水量偏多，日照时数较往年少，导致今年叶片较往年薄。日照时数方面，除 7 月份外，烟株生育期内日照时数均比常年多。

3.2. 大田生育期调查

将各处理大田生育期记载如表 2 所示，由表 2 可以看出，各处理间生育期差别较大，T3 处理生育期最长，T1 处理生育期最短。

Table 2. Records of the growth stages in the field
表 2. 大田生育期记载

处理	播种期(日/月)	出苗期(日/月)	成苗期(日/月)	移栽期(日/月)	现蕾期(日/月)	中心花开放期(日/月)	脚叶成熟期(日/月)	顶叶成熟期(日/月)	大田生育期(日/月)
T1	28/2	8/3	25/4	30/4	26/6	3/7	6/7	6/9	128
T2	28/2	9/3	26/4	30/4	27/6	4/7	9/7	7/9	129
T3	28/2	8/3	26/4	30/4	26/6	6/7	9/7	10/9	132

3.3. 植物学性状

将试验不同处理植物学性状记录如表 3 所示。处理 T1 移栽前 30 天生长势弱于其余处理，后期长势一致，均表现为强。其余性状无显著差异。

Table 3. Record of botanical characteristics
表 3. 植物学性状记载表

处理	株型	叶形	叶色	主脉粗细	田间整齐度	成熟特性	生长势	
							移栽后 30 天	移栽后 50 天
T1	塔形	椭圆形	绿	适中	整齐	分层落黄	较强	强
T2	塔形	椭圆形	绿	适中	整齐	分层落黄	强	强
T3	塔形	椭圆形	绿	适中	整齐	分层落黄	强	强

3.4. 农艺性状

由表 4 可知，处理间控释肥施用量不同，烤烟农艺性状表现有差异。株高方面，处理 T3 株高最高为 130.7 cm，三个处理株高表现为 T3 > T2 > T1；叶数方面，有效叶数均处于 20~21 之间，差距不明显；节距表现为 T1 > T3 > T2；茎围方面，处理 T3 茎围最大，为 11.0 cm；下部叶方面，叶面积大小为 T2 > T1 > T3；中部叶方面，叶面积最大的处理为 T3，最大叶长为 61.1 cm，最大叶宽为 34.2 cm；上部叶方面，叶面积大小为 T2 > T1 > T3。综合来看，T3 处理在多数农艺性状指标上表现最佳，说明较高用量的控释肥更有利于烟株营养生长。

Table 4. Survey of agronomic traits
表 4. 农艺性状调查

处理	株高(cm)	叶数	节距(cm)	茎围(cm)	下部叶		中部叶		上部叶	
					叶长(cm)	叶宽(cm)	叶长(cm)	叶宽(cm)	叶长(cm)	叶宽(cm)
T1	114.5	21	6.2	9.5	39.7	21.1	56.5	25.6	44.9	21.1
T2	127.2	20	5.6	10.8	49.9	26.4	58.1	25.9	51.3	21.6
T3	130.7	21	6.1	11.0	51.6	26.1	61.1	34.2	63.0	25.1

3.5. 光合特性

由表 5 可知，不同控释肥施用量对烤烟叶片光合特性有显著影响。净光合速率(Pn)以 T2 处理最高，为 12.49 μmol·m^{-2}·s^{-1}，较 T1 提高了 10.8%；蒸腾速率(Tr)以 T2 最高，为 4.66 mmol·m^{-2}·s^{-1}，较 T1 提高了 14.2%；气孔导度(Gs)和气孔导度均以 T2 处理最高，分别为 0.41 mol·m^{-2}·s^{-1} 和 299.77 μmol·mol^{-1}，显著高于 T1 和 T3。上述结果表明，T2 处理(30 kg/亩)控释肥施用量最有利于提高烟叶光合作用能力，为干物质积累和产量形成奠定了良好基础。

Table 5. Survey of photosynthetic characteristics
表 5. 光合特性调查

处理	Pn (umol/m^2/s)	Tr (mmol/m^2/s)	Gs (mol/m^2/s)	CO_2int (umol/mol)
T1	11.27	4.08	0.33	274.26
T2	12.49	4.66	0.41	299.77
T3	12.09	4.29	0.36	287.65

3.6. 经济性状

由表 6 可知，不同控释肥施用量对烤烟经济性状有重要影响。亩产量以 T3 处理最高为 154.4 kg/亩，其次为 T2，T1 最低。均价方面，T2 处理最高，显著高于 T1 和 T3。亩产值以 T2 处理最高，较 T1 和 T3 分别提高了 9.98%和 4.41%。上等烟比例以 T2 处理最高，为 73.4%，T1 最低。各处理的中上等烟比例均为 100%，表明控释肥处理下的整体烟叶等级均表现良好。综合来看，T2 处理在均价、亩产值和上等烟比例方面均表现最优，表明 30 kg/亩的控释肥施用量能够较好地协调产量与品质的关系，实现经济效益最大化。

Table 6. Statistical summary of key economic traits
表 6. 主要经济性状统计表

处理	亩产量(kg/亩)	均价(元/kg)	亩产值(元/亩)	上等烟(%)	上中等烟(%)
T1	148.3	30.33	4496.42	70.3	100
T2	153.2	32.27	4945.05	73.4	100
T3	154.4	30.68	4736.38	71.5	100

3.7. 化学成分

由表 7 可知，在中部叶中，处理 T2 的总糖含量略低于 T1，但还原糖含量高于 T1 和 T3。烟碱含量在三个处理中相近，但在 T2 中稍高，为 2.70%。总氮含量在 T3 中最高，为 1.92%，而在 T1 中最低，为 1.74%。氯和钾含量在三个处理中差异不大，但钾含量在 T2 中略高，为 2.01%。两糖比和糖碱比在三个

处理中相近，但 T2 的糖碱比略低，表明其化学平衡较好。

Table 7. Chemical composition survey of mid-section leaves
表 7. 化学成分中部叶调查

处理	还原糖(%)	总糖(%)	烟碱(%)	总氮(%)	氯(%)	钾(%)	两糖比	糖碱比
T1	24.52	31.87	2.54	1.74	0.45	1.93	0.77	9.67
T2	25.81	30.94	2.70	1.80	0.41	2.01	0.83	9.56
T3	25.13	30.05	2.73	1.92	0.43	1.97	0.84	9.20

3.8. 氮素利用

由表 8 可知，氮素利用方面，处理 T2 的氮积累量最高，为 86.54 kg/hm^2，而 T1 最低，为 70.67 kg/hm^2。氮收获指数在三个处理中相似，但氮肥利用效率在 T2 中最高，为 33.83%，表明 T2 的氮肥使用更为高效。氮肥农学利用率也在 T2 中最高，为 5.57%，显示其对氮肥的反应更敏感。

Table 8. Survey on nitrogen utilisation
表 8. 氮素利用调查

处理	氮积累量(kg/hm^2)	氮收获指数(%)	氮肥利用效率(%)	氮肥农学利用率(%)	氮肥偏生产力(%)
T1	70.67	67.59	24.28	1.40	32.37
T2	86.54	67.53	33.83	5.57	26.57
T3	103.09	65.26	39.16	1.95	17.44

3.9. 碳氮代谢

由表 9 可知，碳氮代谢方面，处理 T2 的 NR 活性、α 淀粉酶活性、β 淀粉酶活性和总淀粉酶活性均高于其他处理，表明其碳氮代谢更为活跃。NI 活性也在 T2 中最高，进一步证明了其代谢活动的增强。蔗糖含量在三个处理中相近，但在 T2 中略高，为 98.92 μmol·g^{-1}。

Table 9. Survey of carbon and nitrogen metabolism
表 9. 碳氮代谢调查

处理	NR 活性/(U·g^{-1})	α 淀粉酶活性/(U·g^{-1})	β 淀粉酶活性/(U·g^{-1})	总淀粉酶活性/(U·g^{-1})	NI 活性/(U·g^{-1})	蔗糖含量/(μmol·g^{-1})
T1	0.41c	2.42c	9.20c	11.48c	46.11c	97.31c
T2	0.44a	2.94a	9.83a	12.93a	50.87a	98.92a
T3	0.40b	2.58b	9.41b	11.67b	48.28b	97.82b

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$，Duncan 新复极差法)；每处理选取 6 株长势一致无病虫烟株，采集中部功能叶作为生物学重复测定。

3.10. 衰老特性

由表 10 可知，在衰老特性方面，处理 T2 的 POD 活性和 SOD 活性均高于其他处理，分别为 303.45 U·g^{-1}·min^{-1} 和 279.02 U·g^{-1}FW，表明其抗氧化能力较强。CAT 活性也在 T2 中最高，为 226.29 U·g^{-1}·min^{-1}。MDA 含量在 T2 中最低，为 65.29 mmol·g^{-1}，显示其膜脂过氧化程度较低。H_2O_2 含量在三个处理中相近，

但 T2 略低，为 4859.29 mmol·g^{-1}。

Table 10. Survey of tobacco leaf senescence characteristics
表 10. 烟叶衰老特性调查

处理	POD 活性 /(U·g^{-1}·min^{-1})	SOD 活性 /(U·g^{-1}FW)	CAT 活性 /(U·g^{-1}·min^{-1})	MDA 含量 /(mmol·g^{-1})	H_2O_2 含量 /(mmol·g^{-1})
T1	284.22b	250.56c	214.27b	77.62b	4970.01a
T2	303.45a	279.02a	226.29a	65.29c	4859.29c
T3	298.31c	267.53b	207.98c	80.31a	4901.03b

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$，Duncan 新复极差法)；每处理选取 6 株长势一致无病虫烟株，采集中部功能叶作为生物学重复测定。

3.11. 感官评吸

由表 11 可知，感官评吸方面，处理 T2 在多个香气指标上得分较高，如干草香、木香、蜜甜香、焦香、焦甜香、青香和烘焙香等，表明其香气质量较好。浓度和劲头评分在三个处理中相近，但 T2 略高，显示其烟气较为饱满。

Table 11. Sensory evaluation survey
表 11. 感官评吸调查

部位	处理	香型	干草香	木香	蜜甜香	焦香	焦甜香	青香	烘焙香	醇甜香	辛香	坚果香	酸香	其他香韵	浓度	劲头
C3F	T1	6.1	3.4	2.8	2.4	2.7	2.6	1.2	2.9	2.2	1.9	0.6	0.0	0.0	6.5	6.2
	T2	6.1	3.5	2.8	2.7	3.0	2.9	1.2	2.7	2.5	2.3	1.4	0.0	0.0	6.5	6.5
	T3	6.1	3.1	2.8	2.5	2.8	2.5	1.2	2.9	2.3	2.3	1.3	0.0	0.0	6.6	6.3
B2F	T1	6.1	3.2	2.5	2.7	3.2	2.4	1.5	3.3	2.6	1.9	1.5	0.0	0.0	6.9	6.6
	T2	6.1	3.4	2.8	2.7	3.3	2.4	1.6	3.4	2.7	2.2	1.7	0.0	0.0	6.6	6.9
	T3	6.1	3.3	2.7	2.5	3.1	2.2	1.5	3.1	2.3	2.0	1.4	0.0	0.0	6.5	6.7

3.12. 外观质量

由表 12 可知，外观质量方面，处理 T2 的颜色为金黄色，成熟度好，叶片结构疏松，身份中等，油分有，色度中，叶面组织稍粗糙。与 T1 和 T3 相比，T2 的外观质量更为优秀，尤其是在颜色和成熟度方面。

Table 12. Survey on appearance quality
表 12. 外观质量调查

部位	处理	颜色	成熟度	叶片结构	身份	油分	色度	叶面组织
C3F	T1	桔黄	成熟	疏松	中等	有	中	稍粗糙
	T2	金黄	成熟	疏松−	中等	有	中	稍粗糙
	T3	桔黄	成熟−	疏松−	中等	有−	中−	较粗糙
B2F	T1	桔黄	成熟−	尚疏松	中等	有−	强−	较粗糙
	T2	桔黄	成熟	尚疏松	稍厚	有	强	较粗糙
	T3	桔黄	成熟−	疏松−	稍厚	有	中	较细腻

3.13. 田间常见病害

各处理常见病害发病率和病情指数如表 13，不同处理间稍有差异。各处理均无普通花叶病、黄瓜花叶病、气候性斑点病发生。马铃薯 Y 病毒病方面，T1 处理发病率为 1%。根茎类病害方面，T1 未发现病株，病情指数为 0，其余处理病情指数均为 0.1，均达到抗病(R)标准；赤星病方面，三个处理病情指数表现为 T1 > T2 > T3。

Table 13. Survey of disease severity indices in the field
表 13. 田间病害病情指数调查

处理	普通花叶病		黄瓜花叶病		马铃薯 Y 病毒病		根茎类病害		赤星病	
	发病率(%)	病情指数	发病率(%)	病情指数	发病率(%)	病情指数	发病率(%)	病情指数	发病率(%)	病情指数
T1	0	0	0	0	1	0.1	0	0.0	6	0.9
T2	0	0	0	0	0	0	1	0.1	1	0.3
T3	0	0	0	0	0	0	1	0.1	1	0.1

注：总体抗病性评价标准抗性评定按国家标准 GB/T 23224-2008 规定进行，根据各参试品种病指大小评定品种的抗性级别。品种抗病性评价标准如下：高抗或免疫(I)：病情指数为 0；抗病(R)：病情指数为 0.1~20.0；中抗(MR)：病情指数为 20.1~40.0；中感(MS)：病情指数为 40.1~60.0；感(S)：病情指数为 60.1~80.0；高感(HS)：病情指数为 80.1~100.0。

4. 讨论

控释肥作为一种养分释放与作物吸收相匹配的新型肥料，在烤烟生产中的应用前景广阔[12]。本研究结果表明，适量施用控释肥能够显著改善烤烟农艺性状、光合特性、氮素利用效率及烟叶品质，这与前人研究结论基本一致。前人研究表明，施用控释专用肥促进了烟株的生长，提高了烟叶产量和外观品质等级，降低了烟碱含量，提高了还原糖含量及中上部叶的钾含量[8] [9] [13]。控释肥料能够促进烟草生长发育，提高烟叶钾含量，促进烤后烟叶化学成分的协调，提升外观和感官质量[14]。林卿等研究也表明，随缓控释一体肥施用量的增加，烤烟株高、茎围、有效叶片数、最大叶面积等农艺性状提升，烟碱、总氮和钾含量呈上升趋势，总糖、还原糖呈下降趋势，经济性状及感官质量显著提升[15]。

本研究的重要发现是，30 kg/亩控释肥施用量在光合特性、碳氮代谢、衰老特性及氮素农学利用率等方面均表现出最优效果。具体而言，T2 处理的净光合速率(12.49 μmol·m^{-2}·s^{-1})和蒸腾速率(4.66 mmol·m^{-2}·s^{-1})均显著高于其他处理，这与黄松青等关于控释肥提高烤烟光合能力的研究结果一致。碳氮代谢方面，T2 处理的 NR 活性、NI 活性和淀粉酶活性均最高，表明适中的控释肥用量能够有效协调碳氮代谢平衡，这与马松等的研究结果相互印证。衰老特性方面，T2 处理显著提高了 SOD、POD、CAT 活性，降低了 MDA 含量，这与增施控释复合肥能提高烤烟叶片抗氧化能力的研究结论相符。

值得注意的是，虽然 T3 处理(40 kg/亩)在农艺性状和氮积累量方面表现更好，但其氮肥农学利用率(1.95%)却远低于 T2 处理(5.57%)，且均价、上等烟比例和亩产值均不及 T2 处理。这一结果表明，控释肥施用量并非越高越好。控释肥施用量过高会导致烟株前期营养生长过旺，出现“贪青”现象，延缓成熟，进而影响烟叶内在品质的协调性[16] [17]。尤其是在降雨量偏多的年份，过量施肥会导致烟叶含水量过高、叶片偏薄，对品质产生不利影响[18] [19]。综合来看，30 kg/亩控释肥能够在保障烟株营养供给的同时，维持良好的碳氮代谢平衡和抗氧化能力，实现产量与品质的协同提升。

5. 结论

本试验通过施用不同亩用量的控释肥，对比试验品种 NC55 在大田生育期、农艺性状、常见病虫害

情况和主要经济性状等指标方面的差异，筛选出控释肥的适宜施用量，提升烟叶产量和品质。结果显示，不同控释肥施用量对 NC55 大田生育期影响不明显，三个处理大田生育期均在 128~132 天之间。处理间 NC55 株型、叶形和叶色等植物学性状均表现一致，田间整齐度较高，成熟特征明显。处理 T1 前期生长势弱于处理 T2 和 T3，但后期长势一致，在生育期各阶段均保持良好状态。

不同控释肥施用量处理下，NC55 田间农艺性状表现不同。处理 T3 控释肥施用量为 30 kg/亩时，试验品种 NC55 在叶面积方面表现最佳，优于处理 T1 和 T2，有效叶数处理间差距不明显，且处理 T1 株高最低，最终亩产量最低为 148.3 kg/亩。田间病害情况方面，各处理发病情况均较轻，处理间差异不明显。经济性状分析表明，不同控释肥施用量处理下亩产量和均价都表现出一定差异，处理 T2 均价、亩产值、上等烟比例最高，综合亩产值高于处理 T1 和 T3，但三个处理间上等烟比例差异较小，中上等烟比例均为 100%。

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] 任民, 王志德, 牟建民, 等. 我国烟草种质资源的种类与分布概况[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(S1): 8-14.

[2] 谭子笛, 郭鸿雁, 陈建军, 等. 不同播期对烤烟品种产量和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 556-560.

[3] 肖金香, 刘正和, 王燕, 等. 气候生态因素对烤烟产量与品质的影响及植烟措施研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 163-165.

[4] 杨云高, 王树林, 刘国, 等. 生物有机肥对烤烟产质量及土壤改良的影响[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 70-74.

[5] 唐拴虎, 郑惠典, 张发宝, 等. 控释肥料养分释放规律及对水稻生长发育效应的研究[J]. 华南农业大学学报, 2003, 24(4): 9-12.

[6] 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]. 有机化学研究杂志, 2023, 11(2): 49-56.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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, 2011, 19(2): 276-279.

[11] 李书田, 刘晓永, 何萍. 当前我国农业生产中的养分需求分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1416-1432.

[12] 赵先贵, 肖玲. 控释肥料的研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2002, 10(3): 95-97.

[13] 阮彦楠, 赵文军, 王志远, 等. 杂卤石矿质肥料对烟草生长及烟叶养分含量的影响[J]. 安徽农业科学杂志, 2024, 52(15): 164-171.

[14] 曹长代, 周永, 邱询学, 等. 不同中微量元素肥用量对烤烟生长发育和质量的影响[J]. 安徽农业科学杂志, 2025, 53(21): 167-172+176.

[15] 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.

[16] 张静, 靳志丽, 王兴祥, 等. 湘南典型植烟土壤养分供应及烟株吸收特征[J]. 土壤, 2021, 53(5): 1008-1014.

[17] 杨雪, 梁辉, 杨兴有, 等. 基于文献计量学的上部烟叶可用性知识图谱分析[J]. 安徽农业科学杂志, 2024, 52(24): 234-238.

[18] 陆永恒. 生态条件对烟叶品质影响的研究进展[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 43-46.

[19] 陈涛, 廖睿, 吕大树, 等. 微量元素对烟草质量的影响及管理对策[J]. 植物健康与医学, 2025, 4(2): 59-66.