

缓释肥对不同基因型丹参生理特性的影响

王雨晴, 宋旭东, 郝腾飞, 杨秀芳, 王新瑶, 王 哲*

商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西 商洛

收稿日期: 2025年3月18日; 录用日期: 2025年4月17日; 发布日期: 2025年4月27日

摘 要

为了明确缓释肥对丹参生理特性的影响, 本研究采用盆栽实验, 研究不同缓释肥用量0 kg/hm² (N1)、120 kg/hm² (N2)、240 kg/hm² (N3)、360 kg/hm² (N4)、480 kg/hm² (N5)对三种基因型的丹参幼苗SY-JM-L4 (A1), DY-SD-8 (A2), YY-YM-X1 (A3)的株高、叶绿素含量、可溶性糖、可溶性蛋白和抗氧化酶活性等指标的影响。研究结果表明, 施用缓释肥显著提高丹参的株高, 其中A1和A2基因型的株高在N4处理下达到最大值, 而A3基因型的株高在N3处理下达到最大值, 分别比对照处理提高了42.4%、75.4%和70.7%。3种基因型丹参总叶绿素含量均在N3处理下最高, 分别比对照处理提高17.9%、13.5%和11.3%。3种基因型丹参的可溶性糖、可溶性蛋白含量均在N3处理下达到最大值。A1和A2基因型丹参的POD活性在N5施肥水平下达到最大值, A1和A2丹参的SOD活性最高在N3施肥条件下最高。综合考虑, 缓释肥施用量为N3 (240 kg/hm²)时适合3种基因型丹参的生长。

关键词

丹参, 缓释肥, 生理指标

Effect of Slow-Release Fertilizer on Physiological Characteristics of Different Genotypes of *Salvia miltiorrhiza*

Yuqing Wang, Xudong Song, Tengfei Hao, Xiufang Yang, Xinyao Wang, Zhe Wang*

School of Biology Pharmacy and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

Received: Mar. 18th, 2025; accepted: Apr. 17th, 2025; published: Apr. 27th, 2025

Abstract

To elucidate the effect of slow-release fertilizer (SFR) on the physiological characteristics of *Salvia*

*通讯作者。

文章引用: 王雨晴, 宋旭东, 郝腾飞, 杨秀芳, 王新瑶, 王哲. 缓释肥对不同基因型丹参生理特性的影响[J]. 农业科学, 2025, 15(4): 485-492. DOI: 10.12677/hjas.2025.154060

miltiorrhiza (*S. miltiorrhiza*), the present study was conducted in a pot experiment to investigate the effects of different slow-release fertilizer dosages of 0 kg/hm² (N1), 120 kg/hm² (N2), 240 kg/hm² (N3), 360 kg/hm² (N4), 480 kg/hm² (N5) on the plant height, chlorophyll content, soluble sugars, soluble proteins and antioxidant enzymes activities of three genotypes *S. miltiorrhiza* seedlings (SY-JM-L4 (A1), DY-SD-8 (A2) and YY-YM-X1 (A3)). The results showed that the SFR significantly augmented the plant height of the three genotypes of *S. miltiorrhiza*. The maximum plant height of A1 and A2 was observed at N4 treatment, while A3 was observed at N3 treatment, which was 42.43%, 75.37%, and 70.72% higher than that of the control treatments. The total chlorophyll content in three genotypes of *S. miltiorrhiza* was found to be the highest at N3 treatment, which was 17.94%, 13.47% and 11.30% higher than the control treatment, respectively. The soluble sugars and soluble protein contents of three genotypes of *S. miltiorrhiza* attained the maximum values at N3 treatment. Furthermore, the POD activity of the A1 and A2 genotypes of *S. miltiorrhiza* reached the maximum at N4 treatment, and the SOD activity in A1 and A2 reached its maximum at N3 treatment. Consequently, it can be concluded that the SRF application rate of N3 (240 kg/hm²) was determined to be the optimal for the growth of the three genotypes of *S. miltiorrhiza*.

Keywords

Salvia miltiorrhiza, Slow-Release Fertilizer, Physiological Indicators

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

《中药材生产质量管理规范(GAP)》明确要求,药用植物施肥方案应遵循“有机肥和无机肥结合,基肥与追肥互补”的原则,依据目标物种营养需求特征及土壤供肥能力进行精准调控。鉴于药用植物的次级代谢产物合成对矿质元素的特殊需求,施肥策略需兼顾产量稳定与有效成分积累的双重目标。我国作为全球氮肥消耗量最大的国家之一,当前农田氮肥利用率仅 30%,远低于世界平均水平[1]。过量氮投入不仅造成经济效益下降,更引发土壤酸化,水体富营养化等环境问题[2][3]。在粮食安全与生态保护协同发展的战略需求下,提升肥料利用率已成为现代农业的必由之路。

缓释肥(Slow-Release Fertilizer, SRFs)因其可控释放性,可实现养分供应与作物需求曲线的动态匹配[4]。相比于传统速效肥,SRFs 具备以下优势:1) 可通过薄膜或化学合成技术延缓养分释放,使肥料利用率比 45%~95% [5]。2) 避免苗期烧苗与后期脱肥现象,保障作物全生育期稳健生长。田间试验证明,SRFs 对作物生理调控具有显著正向效应。史莉娜等[6]研究发现。汉中市南郑区沙壤土上缓释肥用量可以促进油菜生长进度和产量构成因子,并在 840 kg/hm² 时缓释肥施用量,可以获得油菜最高产量和最大经济效益;赵晴等[7]研究发现,缓释肥增量处理使用夏谷叶绿素含量提升了 12.7%~18.4%、光合速率增加 23.6%、最终生物量提高 29.8%。纪耀坤等[8]研究表明,优化 SRFs 用量可使麦茬花生中后期叶片硝酸还原酶活性提高了 37.2%,百果重增加 15.4%、氮肥偏生产力提升 42.6%。

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bunge),作为唇形科药用植物,始于《神农本草经》,在《本草经疏》和《本草纲目》中也均有记载。随着丹参生产规模的不断扩大,规模化种植中盲目增施化肥的现象,导致土壤板结,微生物区系失衡等问题频发,严重威胁丹参品质与产地生态安全。研发适宜丹参种植的缓释肥对其产量和品质的提升具有重要的意义。针对此现状,本实验以三种基因型丹参(SY-JM-L4, DY-SD-8 和

YY-YM-X1)为材料, 系统分析 SRFs 用量对其农艺指标和生理特性的调控规律, 旨在建立“肥料增效 - 品质提升 - 环境友好”协同的丹参绿色种植体系。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

丹参(Y-JM-L4、DY-SD-8、YY-YM-X1)优质种苗由山东省潍坊市丹参种植场提供, 试验中分别编号为 A1, A2, A3; 缓释肥为多维肥精, 由多维谷(国际)科技有限公司提供, 其主要成分: 磷 + 氮 + 钾 $\geq 50\%$ 。

2.2. 试验设计

盆栽试验盆栽土壤质地为壤土, 土壤有机质含量 $18.67\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 碱解氮 64.82 mg/kg 、速效磷 25.04 mg/kg 、速效钾含量 94.9 mg/kg 。试验由尿素(含 N $\geq 46.4\%$)、硫酸钾(K_2O 51%)、过磷酸钙(P_2O_5 $\geq 14\%$)分别提供氮磷钾肥, 采用单因素随机区组设计, 并一次性作为底肥施入。试验包括 3 个丹参基因型(A1、A2、A3)和 5 个水平的缓释肥用量(0、120、240、360、480 kg/hm^2)。缓释肥用量水平分别记作 N1、N2、N3、N4、N5。共 15 个处理, 每个处理重复 3 次, 共计 45 盆我们选取长势一致的健康幼苗进行定植, 每盆 3 株幼苗。移栽之前对植株称鲜重, 并做记录。植株生长过程中适时定量浇水, 其他管理措施统一按常规要求。

2.3. 项目测定

定植后 90 d 取出所有植株测定相关指标。采用丙酮比色法测定叶绿素含量, 采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量, 采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量, 采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)的含量; 采用 NBT 光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)的活性, 采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性, 采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)的活性。

2.4. 数据分析

用 Excel 软件进行数据整理, 用 Origin 分析软件进行分析作图。

3. 结果

3.1. 缓释肥用量对不同基因型丹参株高的影响

施用缓释肥显著提高丹参的株高(表 1)。随着使用量的增加, 3 种基因型丹参的株高均呈现先增加后降低的趋势。不同施肥水平下, A1 和 A2 基因型丹参的株高均在 N4 (360 kg/hm^2)施肥条件时达到最高值, 分别比 N1 (0 kg/hm^2)施肥条件下提高了 42.4%和 75.3%; A3 基因型丹参的株高在 N3 (240 kg/hm^2)施肥条件下达到最大值, 比 N1 (0 kg/hm^2)提高了 70.7%。

Table 1. Effects of SRF on plant height of different genotypes of *S. miltiorrhiza*
表 1. 缓释肥用量对不同基因型丹参株高的影响

处理	N1	N2	N3	N4	N5
A1	$7.00 \pm 1.00\text{ cd}$	$7.17 \pm 0.61\text{ b}$	$6.87 \pm 0.60\text{ cd}$	$9.97 \pm 0.44\text{ a}$	$7.93 \pm 0.28\text{ b}$
A2	$6.43 \pm 0.71\text{ b}$	$6.57 \pm 1.16\text{ b}$	$11.27 \pm 1.69\text{ a}$	$11.27 \pm 1.69\text{ a}$	$6.20 \pm 1.74\text{ b}$
A3	$7.07 \pm 1.42\text{ c}$	$9.80 \pm 1.05\text{ ab}$	$12.07 \pm 1.94\text{ a}$	$11.23 \pm 1.56\text{ a}$	$8.93 \pm 1.55\text{ b}$

3.2. 缓释肥用量对不同基因型丹参叶绿素含量的影响

如图 1(A)所示, 不同施肥水平下, A1 和 A2 丹参的叶绿素 a 在 N3 (240 kg/hm²)施肥条件下达到最大值, A3 丹参的叶绿素 a 含量在 N4 (360 kg/hm²)施肥水平下达到最大值, 分别比相应的 N1 (0 kg/hm²)处理组提高了 18.0%、12.2%和 14.2%。不同基因型条件下, A1 基因型叶绿素 a 含量高于其他两个基因型。且在 N3 施肥条件下, A1 基因型叶绿素 a 含量比 A2 和 A3 基因型提高了 8.0%和 42.0%。

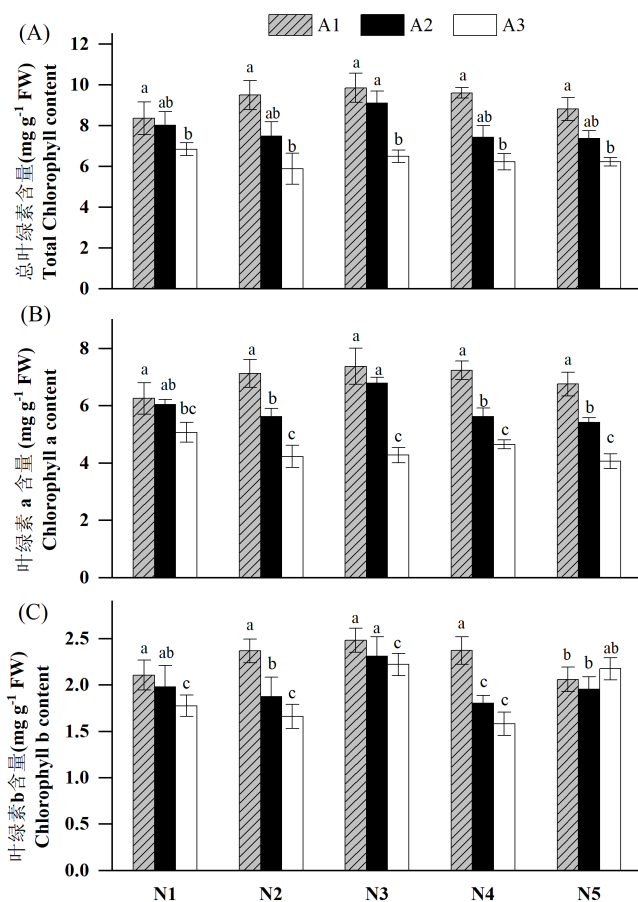


Figure 1. Effect of SRF on chlorophyll content of three genotypes of *S. miltiorrhiza*

图 1. 缓释肥对 3 种基因型丹参叶绿素含量的影响

如图 1(B)所示, 不同施肥水平下, A1 基因型的叶绿素 b 含量随着施肥量呈现增长趋势, A2 和 A3 基因型变化不大, 三种基因型叶绿素 b 含量均在 N3 施肥条件下达到最大值, 分别比对照处理组提高了 17.5%、16.7%和 24.7%。不同基因型条件下, 在 N3 施肥条件下, A1 的叶绿素 b 含量比 A2 和 A3 分别提高了 6.9%和 10.5%。

如图 1(C)所示, 不同施肥水平下, 三种基因型丹参总叶绿素含量均在 N3 施肥条件下最高, 分别比对应的对照处理提高 17.9%、13.5%和 11.3%。不同基因型条件下, A1 基因型的总叶绿素显著性高于其他两个基因型。在 N3 施肥条件下, A1 的总叶绿素含量比 A2 和 A3 分别提高了 8.4%和 51.7%。

3.3. 缓释肥用量对不同基因型丹参渗透调节物质的影响

如图 2(A)所示, 不同施肥水平条件下, 3 种基因型丹参的可溶性糖含量均在 N3 (240 kg/hm²)缓释肥

处理条件下达到最大值, 分别比对应的对照组 N1 (0 kg/hm²) 提高了 19.5%, 28.8% 和 27.4%。不同基因型条件下, 在 N3 施肥条件下, A2 基因型的可溶性糖含量比 A1 和 A3 基因型高了 17.7% 和 14.9%。

如图 2(B) 所示, 不同施肥水平条件下, 3 种基因型丹参的可溶性蛋白含量在 N3 施肥条件下均达到最大值, 分别比对照处理提高了 18.8%, 17.0% 和 27.7%。不同基因型条件下, 在 N3 施肥条件下, A1 丹参的可溶性蛋白含量比 A2 和 A3 分别提高了 10.7% 和 9.7%。

如图 2(C) 所示, 不同施肥水平条件下, 3 种基因型的脯氨酸含量均呈现先降低后增加的趋势, 并在 N3 缓释肥处理条件下达到最低值, 分别比对照组在 N1 施肥条件下降低了 51.0%, 22.5% 和 36.9%。

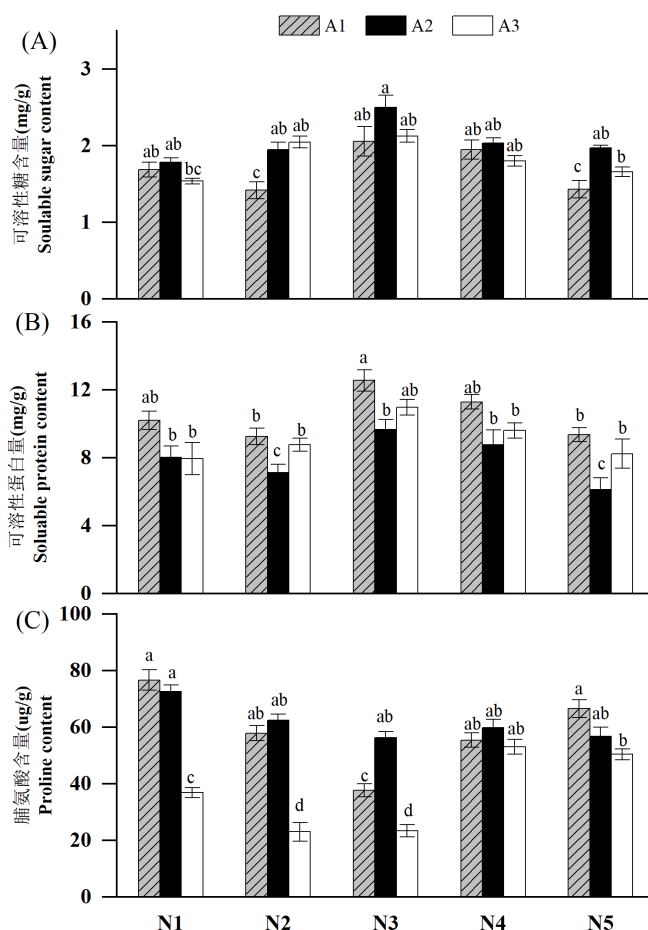


Figure 2. Effect of SRF on osmoregulatory substances of three genotypes of *S. miltiorrhiza*

图 2. 缓释肥对 3 种基因型丹参的渗透调节物质的影响

3.4. 缓释肥用量对不同基因型丹参抗氧化酶活性的影响

植物体内的 SOD 水平是植物衰老和死亡的直观指标, 能抵抗和阻断氧自由基的损伤, 及时修复受损细胞, 恢复自由基的损伤。如图 3 所示, 不同施肥水平条件下, A1 和 A2 基因型的 SOD 活性在 N3 施肥条件下达到最大值, 相反, A3 基因型的 SOD 活性在 N3 施肥条件下最低。不同基因型条件下, A3 基因型 SOD 活性低于其他两个基因型(图 3(A))。不同施肥水平条件下, A1 和 A2 基因型的 POD 含量的最大值在 N5 施肥水平, 比对应的对照组分别提高了 34.3% 和 50.7%。A3 基因型的 POD 含量在 N1 水平达到最大值(图 3(B))。不同施肥水平条件下, 3 种基因型在不同缓释肥用量下均呈现先增长后降低的趋势, 均

高于对照处理,并在 N4 施肥条件下达到最大值,分别比对照处理提高了 67.4%、43.2%和 48.5%。不同基因型条件下, A2 基因型丹参的 CAT 活性最高(图 3(C))。

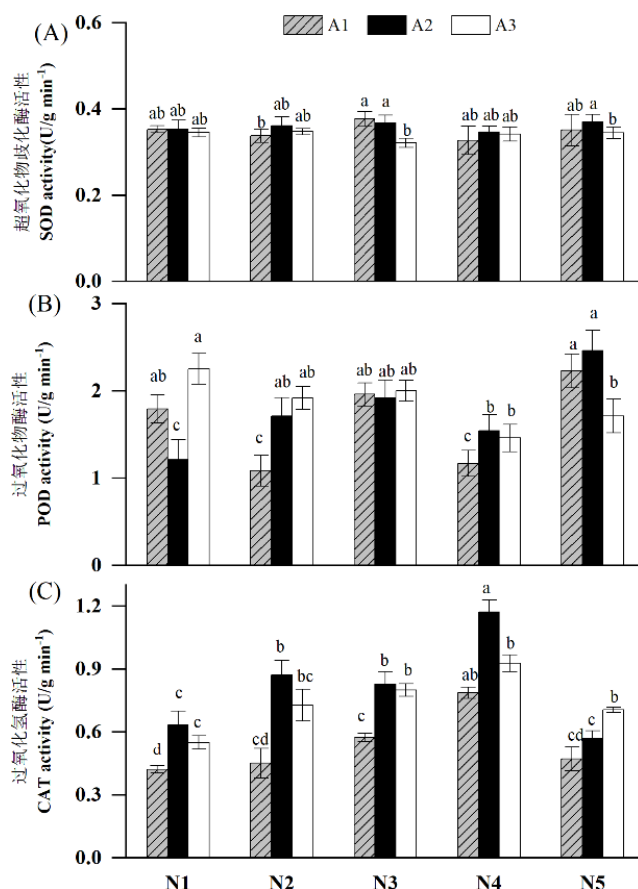


Figure 3. Effect of SRF on antioxidant enzyme activities of three genotypes of *S. miltiorrhiza*

图 3. 缓释肥对 3 种基因型丹参抗氧化酶活性的影响

4. 讨论

由于缓释肥的养分释放期长,淋溶、挥发少,养分释放慢,可以达到一次施肥用于作物的整个生长阶段,可提高养分利用率,施用范围广泛。颜冬云等[9]研究表明,施用控释复合肥的番茄的株高、叶片数、叶面积和鲜果均高于普通复合肥,其中番茄产量提高了 63.1%。陆士奎等[10]研究结果显示,施用缓释肥增强花椰菜的抗性,提高花椰菜产量和效益,改善花椰菜的品质。本实验结果发现,缓释肥用量对丹参的农艺指标和生理生化指标有较为明显的作用。与对照组相比,缓释肥处理下丹参的株高和叶绿素含量均有明显提高,在施肥水平为 360 kg/hm²时, A1 和 A2 基因型丹参的株高比对照组分别提高了 42.4%和 75.3%;在施肥水平为 480 kg/hm²下, A3 基因型丹参的株高比对照组提高了 70.7%。3 种基因型丹参的叶绿素 a 含量均在 240 kg/hm² 达到最大值,比对照组增加了 12.2%~14.3%,说明缓释肥可以提高丹参叶绿素的合成,从而提高丹参植株的生长。

植物体内的 SOD 水平是植物衰老和死亡的直观指标,能抵抗和阻断氧自由基的损伤,及时修复受损细胞,恢复自由基的损伤[11]。过氧化氢酶(Catalase, CAT)广泛存在于植物组织中,是重要的保护酶之一,其作用是代谢中产生的 H₂O₂ 消除,避免 H₂O₂ 积累对细胞的氧化破坏,因此,其活性水平与植物的生长

发育水平有关。本实验结果显示,在施肥水平为 360 kg/hm² 时,3 种基因型丹参的 CAT 活性达到最大,A1 和 A2 丹参在施肥水平为 240 kg/hm² 时 POD 活性达到最大值,A1 和 A2 丹参在施肥水平为 240 kg/hm² 时 SOD 活性最高,腐殖酸可以缓解生长环境因子限制对丹参生长带来的胁迫压力。

可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸是衡量植物渗透调节物质的重要因素。缓释肥通过精准调控养分释放影响丹参的代谢过程[12]。刘芳[13]等研究结果显示,施用缓释肥可以使十字花科作物的可溶性糖和蛋白含量提高 3.2%~29.7%。叶挺等[14]研究结果显示,与对照组相比,使用缓释肥后樱桃番茄可溶性糖含量提高了 19.73%,促进植物生长和果实品质形成。本试验结果显示,在 240 kg/hm² 是施肥水平下,3 种基因型的可溶性糖和可溶性蛋白含量均达到最大值,缓释肥用量对于丹参生长有促进作用,能够提高丹参叶绿素含量、可溶性蛋白和可溶性糖,可以提高丹参的药用价值,提高肥料利用率。

5. 结论

合理施用是保障丹参安全和改善品质的重要措施,多维肥精富含多种营养物质及微生物,对提高肥料利用率和改善作物品质具有积极作用。实验设置的 5 个缓释肥水平处理下丹参的株高、叶绿素含量、可溶性糖、可溶性蛋白含量均优于对照组。3 种基因型丹参的叶绿素 a 含量均在施肥水平为 240 kg/hm² 时达到最大值,分别比对照处理提高 17.9%、13.5%和 11.3%;A1 和 A2 丹参的株高在施肥水平为 360 kg/hm² 时达到最大值,A3 丹参的株高在施肥水平为 1.2 kg/hm² 时达到最高值。A1 和 A2 丹参的 POD 活性在施肥水平为 480 kg/hm² 时达到最大值,A1 和 A2 丹参的 SOD 活性最高在施肥水平为 240 kg/hm² 时最高;3 种基因型丹参的 CAT 活性均在施肥水平为 360 kg/hm² 时达到最大值;3 种基因型丹参的可溶性糖和可溶性蛋白的含量均在施肥水平为 240 kg/hm² 时达到最大值。综合考虑,多维精缓释肥施用量为 240 kg/hm² 最适合 3 种基因型丹参的生长。

基金项目

大学生创新创业训练项目(S202311396052);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2023-JC-QN-0357)。

参考文献

- [1] 涂仕华. 化肥在农业可持续发展中的作用与地位[J]. 西南农业学报, 2003, 16(S1): 7-11.
- [2] 夏立江, 王宏康. 土壤污染及其防治[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2001.
- [3] 武志杰. 化学肥料与生物圈[J]. 农业环境保护, 1994, 13(6): 279-282.
- [4] Chen, X., Wang, H., Yang, X., et al. (2015) Preliminary Discussion on Research Progress and Prospect of Slow Released Fertilizers. *Agricultural Science & Technology*, **16**, 2699-2702.
- [5] Guo, J., Wang, Y., Blaylock, A.D. and Chen, X. (2017) Mixture of Controlled Release and Normal Urea to Optimize nitrogen Management for High-Yielding (> 15 Mgha⁻¹) Maize. *Field Crops Research*, **204**, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.021>
- [6] 史莉娜, 回阿霞, 瞿利英, 等. 汉中市油菜缓释肥用量研究[J]. 陕西农业科学, 2022, 68(3): 11-13.
- [7] 赵晴, 杨梦雅, 赵国顺, 等. 缓释肥用量对夏谷光合特性、物质积累分配和产量性状的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(12): 28-33.
- [8] 纪耀坤, 郭振升, 田伟, 等. 不同用量缓释肥对麦茬花生生长发育及养分利用的影响[J]. 东北农业科学, 2022, 47(3): 94-98.
- [9] 颜冬云, 张民. 控释复合肥对番茄生长效应的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 110-115.
- [10] 陆士奎. 缓释肥在花椰菜上使用效果试验[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(7): 76-77.
- [11] 杜艳玲, 周怀平, 杨振兴, 等. 长期施肥褐土不同磷组分对磷素盈余的响应[J]. 华北农学报, 2018, 33(3): 224-231.
- [12] 李珈铭, 刘文钰. 缓释肥施用量对莴笋生长发育和品质的影响[J]. 上海蔬菜, 2023(5): 42-43, 46.

- [13] 刘芳, 邹强, 王正银, 等. 缓释复合肥对蔬菜产量和品质的效应研究[J]. 磷肥与复肥, 2014, 29(6): 73-75.
- [14] 叶挺, 沈婷婷, 王欣怡, 等. 不同缓释肥对樱桃番茄植物生长及基质养分特性的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(11): 11-17.