

不同催熟剂对胡麻成熟一致性及产量的影响

李进京, 陈 军, 叶春雷, 孙夏玲

(甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对武威地区胡麻生产过程中胡麻成熟不一致, 收获时籽粒含水量较高的问题, 解决胡麻机械化收获难题。以胡麻品种陇亚 13 号为试验材料。对比分析 20%敌草快水剂、68%草甘膦胺盐可溶粒剂和 40%乙烯利水剂 3 种催熟剂对胡麻成熟度、籽粒性状、产量及机械化收获损失率的影响。结果表明, 化学催熟技术可显著提升胡麻机械化收获适配性; 敌草快、草甘膦胺盐处理分别使植株含水量较对照喷施清水降低 41.15%、37.36%, 蒴果含水量降低 55.75%、42.18%, 同时产量较喷施清水提高 3.20%、5.60%。两处理在保证种子活力(发芽率>99%)前提下, 使机收适宜窗口期延长。因此, 敌草快和草甘膦胺盐可作为胡麻机械化收获的适宜催熟剂。本研究为胡麻机械化收获的催熟技术提供了科学依据, 为我国油料作物收获技术升级提供了新思路。

关键词: 胡麻; 化学催熟剂; 成熟一致性; 产量

中图分类号: S565.9

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)09-0851-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.09.012

Effects of Different Ripening Agents on the Maturity Uniformity and Yield of *Linum usitatissimum*

LI Jinjing, CHEN Jun, YE Chunlei, SUN Xialing

(Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: To address the issues of inconsistent maturity and high seed moisture content at harvest in flax (*Linum usitatissimum* L.) production, thereby overcoming the challenges of mechanized harvesting, the flax variety Longya 13 was used as experimental material. The effects of 3 ripening agents, 20% diquat aqueous solution, 68% glyphosate ammonium salt soluble granule, and 40% ethephon aqueous solution, on maturity, seed traits, yield, and mechanized harvest loss rate of flax were compared. Results showed that chemical ripening techniques significantly improved the adaptability of flax to mechanized harvesting. Treatments with diquat and glyphosate ammonium salt reduced plant water content by 41.15% and 37.36% compared with the control of water spray, and capsule water content decreased by 55.75% and 42.18%, respectively, while yield increased by 3.20% and 5.60% compared with the control. Both treatments extended the suitable mechanized harvesting window without compromising seed vigor (germination rate > 99%). Therefore, diquat and glyphosate ammonium salt can be considered suitable ripening agents for mechanized flax harvesting. This study provides a scientific basis for ripening technology in flax mechanization and offers a new perspective for upgrading oil crop harvesting technology in China.

Key words: *Linum usitatissimum* L.; Chemical ripening agent; Maturity uniformity; Yield

胡麻(*Linum usitatissimum* L.)是我国西北地区重要的油料作物, 籽粒富含亚麻酸, 具有较高的营养和经济价值。但在实现高效规模化机械收获中, 由于田间胡麻植株成熟度不一致, 收获时籽粒含水量普遍偏高, 导致机械作业过程中籽粒脱

落损失率显著增加, 产量品质难以保障, 严重制约产业的健康可持续发展^[1]。化学催熟作为协调成熟、提升机械化收获效率的有效手段, 已在诸多经济作物如芝麻、棉花和大豆等多种经济作物成功应用^[2-3], 技术效益获得认可。

收稿日期: 2025-04-22; 修订日期: 2025-08-03

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(GARS-14-2-23); 甘肃省农业农村厅科技支撑项目(KJZC-2025-5)。

作者简介: 李进京(1985—), 男, 甘肃华池人, 助理研究员, 主要从事农作物病虫害防治研究工作。Email: 348256330@qq.com。

通信作者: 陈 军(1984—), 男, 甘肃榆中人, 主要从事作物栽培及生理生化研究工作。Email: chenjun004@126.com。

相对于胡麻作物,国内目前尚未有任何专用型胡麻化学催熟剂获得农药登记批准,相关的基础理论与技术仍相对滞后^[4]。有研究发现,部分非选择性除草剂(如敌草快、草甘膦等)在低剂量下具有一定的促进作物脱水和加速成熟的作用^[5]。为解决胡麻催熟问题提供了潜在途径,但这些潜在药剂对胡麻催熟效率的具体影响、对最终产量构成的系统性评估等问题,亟须通过深入、系统的科学研究来阐明。

基于上述背景,为解决胡麻产业发展的现实瓶颈,聚焦于解决胡麻机械化收获难题,我们选取陇亚 13 号为试验材料,系统性研究敌草快、草甘膦胺盐以及乙烯利三种类型催熟剂在胡麻生产上的应用效果。评估其对植株成熟一致性(成熟度)、最终产量构成,以及关键的机械化收获损失率等核心指标的影响,以期科学筛选出最适合胡麻机械化生产实际需求的、具有应用可行性的高效催熟方案。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2019—2020 年在甘肃省武威市黄羊镇试验场(37° 23′ ~ 38° 12′ N, 101° 59′ ~ 103° 23′ E)进行,试验区属温带大陆性干旱气候区,年均降水量 100 mm,年平均气温 7.8 ℃,蒸发量 2 020 mm,无霜期 150 d。试验地土壤为灰钙土,耕层土壤(0 ~ 20 cm)含有机质 20.1 g/kg、碱解氮 90.2 mg/kg、有效磷 15.7 mg/kg、速效钾 233 mg/kg、全氮 0.87 g/kg、全磷 0.91 g/kg、全钾 23.5 g/kg, pH 8.44。

1.2 试验材料

供试胡麻品种为陇亚 13 号,由甘肃省农业科学院作物研究所提供。催熟剂来源见表 1。

1.3 试验设计

试验采用大区组设计,设置 4 个处理(表 1),T₁ 为触杀型除草剂;T₂ 为接触型除草剂,有效成分含量 68%,草甘膦胺盐含量 74.7%;T₃ 为

生长调节剂;T₄ (CK),喷等量清水。试验面积 100 m² (5 m × 20 m),重复 3 次。喷药时间为 8 月 9 日,此时胡麻蒴果 90% 已黄,茎秆黄绿色。其他田间管理一致,试验期间灌溉 2 次。

1.4 调查指标

采用烘干称重法测定含水量^[6],喷施后 7 d 每处理选取代表株 10 株,称量鲜重 W_1 ,80 ℃ 烘干测定干重 W_2 ,计算含水量。

$$\text{含水量} = [(W_1 - W_2) / (W_1 - W_0)] \times 100\%$$

式中, W_0 为称量器皿的重量, W_1 为称量器皿 + 鲜重的重量, W_2 为称量器皿 + 干重的重量。

取不同处理籽粒 500 粒,3 次重复,测定千粒重;各处理选取代表性胡麻 50 粒,滤纸萌发,检测发芽率和发芽势;各取 50 粒调查籽粒破损率。

发芽率 = (7 d 内正常发芽的种子数 / 供试种子总数) × 100%

发芽势 = (前 3 d 内正常发芽种子数 / 供试种子总数) × 100%

利用近红外光谱分析仪 DA7200 型对胡麻含油率和 α -亚麻酸(ALA)含量^[7]。

1.5 数据分析

采用 Excel 2016 软件整理数据及作图,采用 SPSS 20.0 软件进行相关性(Pearson 分析法)和差异显著性检验($\alpha=0.05$, Duncan 法)。

2 结果与分析

2.1 全株、蒴果干鲜重及含水量

由表 2 可看出,不同催熟药剂处理对胡麻全株、蒴果干鲜重及含水量等关键指标产生了显著影响($P<0.05$)。处理 T₄(CK)的全株鲜重、全株干重显著高于处理 T₁、T₃,其中全株干重分别提高 5.23%、7.99%;蒴果干重较处理 T₁、T₂ 提高 8.58%、6.87%。处理 T₄(CK)的全株含水量(13.25%)与蒴果含水量(8.70%)均显著高于所有其他处理;处理 T₁ 全株含水量和蒴果含水量均最低,较 T₄ (CK)分

表 1 药剂来源与施用量

处理	药剂名称	剂型	药剂施用量 /hm ²	药剂来源
T ₁	20%敌草快	水剂	3 510 g+450 L水	山东科信生物化学公司生产
T ₂	68%草甘膦胺盐	可溶粒剂	2 505 g+450 L水	美国孟山都公司生产
T ₃	40%乙烯利	水剂	1 995 mL+450 L水	万邦益农生物科技公司生产
T ₄ (CK)	清水		450 L水	

表 2 不同药剂处理对胡麻全株、蒴果干鲜重及含水量的影响

处理	全株鲜重 /g	蒴果鲜重 /g	全株干重 /g	蒴果干重 /g	全株含水量 /%	蒴果含水量 /%
T ₁	18.28±0.06 b	9.09±0.08 b	16.83±0.12 b	8.74±0.08 b	7.93±0.96 b	3.85±0.03 c
T ₂	19.44±0.12 a	9.35±0.12 b	17.83±0.09 a	8.88±0.09 b	8.30±1.03 b	5.03±0.16 bc
T ₃	17.86±0.01 b	9.73±0.01 ab	16.40±0.16 b	9.15±0.09 ab	8.18±0.75 b	5.97±0.13 b
T ₄ (CK)	19.65±0.14 a	10.39±0.14 a	17.71±0.10 a	9.49±0.07 a	13.25±0.47 a	8.70±0.14 a

别降低 40.15%、125.97%。不同催熟药剂喷施均不同程度提高了胡麻的成熟度，提高了胡麻的成熟一致性。其内在生理机制可能在于外源催熟药剂通过加速植株脱水过程，有效缩短了生育后期脱水阶段，这与张旭等^[8]关于植物乙烯响应机制的报道相吻合。

2.2 萌发特性和籽粒性状

由表 3 可看出，不同催熟剂处理对胡麻种子萌发特性产生差异化影响，其中发芽势有显著差异 ($P<0.05$)，而发芽率则未达显著水平 ($P>0.05$)。3 种药剂处理后的籽粒发芽率均高于T₄(CK)，其中处理 T₁、T₂ 均达 99.3%，表明催熟作业在提高作物产量的同时，并未因药剂残留引发种子生理性伤害，可明确得出化学催熟技术具有显著的全生产链安全性，未对种子活力产生负面影响。

表 3 不同药剂处理对胡麻种子发芽势、发芽率的影响

处理	发芽籽粒数/粒		发芽势 /%	发芽率 /%
	3 d	5 d		
T ₁	48.33	49.67	96.7±0.67 a	99.3±0.33 a
T ₂	48.00	49.67	96.0±0.57 a	99.3±0.33 a
T ₃	46.67	49.00	93.3±0.33 ab	98.0±0.57 a
T ₄ (CK)	46.00	48.67	92.0±0.58 b	97.3±0.33 a

由表 4 可看出，不同催熟剂处理间籽粒千粒重无显著差异，其中处理 T₂ 千粒重最高，为 8.13 g，较 T₄(CK)提高 0.74%，处理 T₃ 最低，为 7.66 g，较 T₄(CK)降低 5.08%。籽粒破损率以处理 T₃、T₄(CK) 最高，均达 1.33%，约是处理 T₁、T₂ 的两倍。这

表 4 不同药剂处理对胡麻籽粒千粒重、破损率的影响

处理	千粒重 /g	破损率 /%
T ₁	8.11±0.19 a	0.67
T ₂	8.13±0.10 a	0.67
T ₃	7.66±0.05 a	1.33
T ₄ (CK)	8.07±0.04 a	1.33

一差异可能与处理工艺引发的胚乳结构改变相关。

2.3 产量及产量构成因素

由表 5、表 6 可看出，不同催熟药剂对胡麻产量构成各农艺性状指标未产生显著影响。不同处理平均折合产量存在显著差异 ($P<0.05$)。平均折合产量以处理 T₂ 最高，为 1 980 kg/hm²，较T₄(CK)增产 105 kg/hm²，增产率 5.60%；其次为处理 T₁，为 1 935 kg/hm²，较 T₄(CK)增产 60 kg/hm²，增产率 3.20%；处理 T₃ 则减产 17.60%。

表 6 不同药剂处理对胡麻产量的影响

处理	平均折合产量 /(kg/hm ²)	较CK增加 /(kg/hm ²)	较CK增加 /%
T ₁	1 935 ab	60	3.20
T ₂	1 980 a	105	5.60
T ₃	1 545 c	-330	-17.60
T ₄ (CK)	1 875 b		

2.4 品质

由表 7 可看出，不同处理胡麻籽粒含油率以处理 T₂ 最高，为 43.15%，显著高于其他处理 1.4%~2.3%。 α -亚麻酸含量以处理 T₁ 最高，为 43.40%，显著高于其他处理 1.6%~2.8%。

表 5 不同药剂处理对胡麻产量构成因素的影响

处理	株高 /cm	工艺长度 /cm	有效分茎数 /个	有效分枝数 /个	单株果数 /个	单株产量 /(g/株)
T ₁	68.87±1.02 a	57.03±2.39 a	0.10±0.02 a	4.33±0.44 a	7.60±0.45 a	0.34±0.19 a
T ₂	67.67±1.80 a	53.97±1.43 a	0.03±0.03 a	4.40±0.06 a	6.77±0.38 a	0.31±0.20 a
T ₃	70.00±1.81 a	54.57±2.14 a	0.07±0.01 a	4.70±0.25 a	8.50±0.78 a	0.21±0.05 a
T ₄ (CK)	64.41±0.55 a	52.00±2.40 a	0.02±0.01 a	3.91±0.30 a	6.20±0.10 a	0.24±0.13 a

表 7 不同药剂处理下胡麻含油率和 α -亚麻酸含量 %

处理	含油率	α -亚麻酸含量
T ₁	42.56±0.01 ab	43.40±0.10 a
T ₂	43.15±0.07 a	42.70±0.05 b
T ₃	42.25±0.05 b	42.40±0.01 bc
T ₄ (CK)	42.20±0.08 b	42.20±0.15 c

3 讨论与结论

通过田间试验验证,发现 20%敌草快(3 510 g/hm²)和草甘膦铵盐(2 505 g/hm²)表现出优良催熟效果,可作为适宜的药剂选择和喷施浓度;乙烯利施用存在减产风险,具有一定局限性。对比两年产量数据,推荐药剂处理在保障产量的同时实现显著的农艺改良效果,能够稳定产量;推荐药剂处理能够明显提升成熟一致性,机械收获适期缩短。基于综合效益评估,推荐甘肃旱区优先选用 20%敌草快水剂 3 510 g/hm²,其技术经济系数最优。田间生产化应用需注意:在青果率达 70%时施药;避免与铜制剂混用;施药后需间隔 10~14 d 收获。

胡麻作为重要的经济作物,其机械化收获效率与籽粒品质高度依赖植株成熟的一致性。然而,蒴果成熟不一致和籽粒含水量过高,成了制约收获效率提升、降低损失率、保障品质稳定的主要瓶颈^[9]。解决这一难题的核心在于实现植株各部位(尤其是蒴果)成熟度的显著降低和高度同步,即缩小收获窗口期。外源施用催熟药剂是促进这一脱水过程快速完成、从而提升机械化收获适配性的有效农艺措施。

化学催熟的生物学机制主要涉及 2 个方面,一是特定药剂作用于胚乳,加速养分向籽粒的转化进程,并提升胚组织的关键生理活性;二是改善种皮的通透性,显著优化萌发期(如气体交换)的物质交换效率^[10]。以敌草快(Diquart)为例,该接触型除草剂通过诱导活性氧(ROS)爆发,破坏植株(主要为叶、茎组织)细胞膜结构的完整性,强力促进水分的快速散失^[11]。其潜在的增产机制可能与其引发的氧化应激反应有关,该反应调控了种皮木质素等疏水性物质的沉积,增强了透水性^[12],进而在加速脱水的同时,有助于维持较高的种子发芽率。而系统性除草剂草甘膦铵盐则通过抑制莽草酸途径中的关键酶[5-烯醇丙酮莽草酸-3-磷

酸(EPSP)合成酶],干扰苯丙氨酸代谢途径,间接影响脱落酸(ABA)等内源激素的水平与分布,从而调控光合产物向籽粒的定向、高效转运^[13];其增产机制可归因于优化了干物质的分配格局,一方面促进脂肪、蛋白质等胚乳储备物质的高效积累及向胚的转运,另一方面抑制了后期营养器官的无效生长消耗,减少资源浪费。

本研究结果表明,敌草快和草甘膦铵盐能有效降低植株含水量,分别较喷施清水降低 41.15%、37.36%,被证实可作为胡麻催熟有效的化学催熟剂,其根本生理机制在于显著加速了植株整体(包含蒴果)的脱水进程,从而高效缩短了生育后期关键的水分散失阶段,证实了其化学催熟能够有效提升胡麻机械化收获适配性。二者均可显著降低蒴果含水量,蒴果含水量较喷施清水分别降低 55.75%、42.18%,并提高成熟同步性,且关键的是能保持种子发芽率不下降(发芽率保持在 99.3%),这对后续种子利用至关重要。同时,二者的产量均较喷施清水提高 3.20%、5.60%。

因此,本研究不仅为胡麻生产实践中优化催熟技术以适配机械化收获提供了坚实的科学依据和可行的操作方案,也进一步明确了外源催熟在胡麻上的实践效果及其内在生理学基础,对指导胡麻高产高效生产具有重要的应用价值。然而,要构建一套高效、安全、可持续的胡麻催熟技术体系并将其真正应用于产业实践,仍面临挑战。未来的研究亟须整合生理学、分子生物学、智能农业技术及生态毒理学等多学科手段,进行更加系统深入的探究。

参考文献:

- [1] 陈 军,叶春雷,王 炜,等.植物生长调节剂在胡麻上的应用效果研究[J].寒旱农业科学,2024,3(2): 157-162.
- [2] 舒 凯,孟永杰,梅林森.化学催熟剂对套作大豆收获品质的影响研究[J].大豆科学,2015,34(2): 264-270.
- [3] 吕树立,丁 芳,郑东方.芝麻蒴果光合特性及产量与品质对不同化学催熟剂的响应[J].作物杂志,2025(1): 155-161.
- [4] 李林林,白玉超,刘楠楠,等.化学脱叶剂及催熟剂在农作物上的应用现状[J].中国农学通报,2018,34(12): 132-135.

- [5] WANG L, CHEN H, WU Q, et al. Low-dose herbicide-mediated crop dehydration: Physiological effects on soybean maturation[J]. *Agronomy Journal*, 2020, 112(5): 3427–3438.
- [6] 冯学金, 杨建春, 郭秀娟, 等. 敌草快对成熟期胡麻脱水 and 种子质量的影响[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(4): 25–29.
- [7] 党 照, 赵 利. 利用近红外分析技术测定胡麻种质资源品质[J]. *西北农业学报*, 2008, 17(2): 110–113.
- [8] 张 旭, 李 岩, 王 琦, 等. 乙烯介导的油料作物采后脱水调控: 生理与分子机制[J]. *农业科学学报*, 2021, 159(4): 412–425.
- [9] 周可金, 官春云, 肖文娜, 等. 催熟剂对油菜角果光合特性、品质及产量的影响[J]. *作物学报*, 2009, 35(7): 1369–1373.
- [10] ZHANG J, LIU X, ANG S. Ethylene signaling pathway mediates postharvest dehydration in oil crops: Transcriptional evidence from flax (*Linum usitatissimum*) [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 701285.
- [11] DUKE S O, PAN Z, BAJSA-HIRSCHER J, et al. Mechanisms of action of herbicides: Focus on oxidative stress and membrane disruption[J]. *Advances in Agronomy*, 2023, 178: 145–182.
- [12] LI X, ZHANG Y, CLARKE J. D, et al. Lignin modification in seed coats improves postharvest seed quality: A case study in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2021, 19(7): 1326–1338.
- [13] ZOBIOLE L H S, KREMER, R J, CONSTANTIN J. Glyphosate effects on plant mineral nutrition and rhizosphere-microbial interactions: Implications for crop productivity[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 643852.