DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0091

葎草酵素引发对黄瓜种子萌发的影响

王世康,岳婷茹,郑德令,罗万聪,王吉庆,肖怀娟,李　猛

(河南农业大学园艺学院　郑州　450046)

摘　要:为了探究提高黄瓜老化种子活力的新途径,以清水引发(CK1)和未引发处理(CK2)的黄瓜种子为对照,以不同浓度葎草酵素为引发剂,通过对黄瓜种子进行引发处理,并利用隶属函数分析进行评价,系统探究其对种子萌发特性的影响。结果表明,不同稀释倍数的葎草酵素对黄瓜种子的发芽率、发芽势、胚根长度、发芽指数和活力指数均有不同程度的提升。其中,400 倍稀释液的效果最为显著,发芽率、发芽势较 CK1 分别显著提高 25.83 和 18.33 百分点,较 CK2 分别显著提高 31.66 和 28.33 百分点,胚根长度、发芽指数、活力指数等均显著提升,平均隶属度达 0.999 0。本研究结果不仅验证了葎草酵素作为植物引发剂的巨大潜力,也为基于农用酵素技术改善种子萌发性能提供了新的思路。

关键词:黄瓜;葎草酵素;种子引发;种子活力

中图分类号:S642.2　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1673-2871(2026)10-133-06

Effects of *Humulus scandens* Jiaosu priming on seed germination of cucumber

Wang Shikang, Yue Tingru, Zheng Deling, Luo Wancong, Wang Jiqing, Xiao Huaijuan, Li Meng

(*College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, Henan, China*)

Abstract: To explore a novel approach for enhancing the vigor of aged cucumber seeds, *Humulus scandens*-derived agricultural Jiaosu (AJ) was employed as a seed priming agent at various dilution ratios, with water-primed (CK1) and non-primed (CK2) seeds serving as controls, the comprehensive evaluation was conducted by the subordinate function method. The effects on seed germination characteristics were systematically investigated. The results showed that all tested dilution ratios of AJ improved germination percentage, germination energy, radicle length, germination index, and vigor index to varying degrees. Among them, the 400-fold dilution (AJ400) exhibited the most pronounced effect. Compared with CK1, AJ400 significantly increased germination percentage and germination energy by 25.83 and 18.33 percentage points, respectively; relative to CK2, the increases were 31.66 and 28.33 percentage points, respectively. Moreover, radicle length, germination index, and vigor index were all significantly enhanced, with an average membership value reaching 0.999 0. These findings not only confirm the substantial potential of *H. scandens*-derived AJ as a plant priming agent, but also provide new insights into improving seed germination performance through agricultural Jiaosu-based technology.

Key words: Cucumber; *Humulus scandens* Jiaosu; Seed priming; Seed vigor

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是葫芦科黄瓜属一年生攀缘草本植物。近年来黄瓜在中国的种植面积一直稳定在 127 万 hm^2 以上,产量高达 7 283.30 万 t,产值和效益仅次于番茄[1-3]。黄瓜栽培方式多样,在我国南北方一年四季均可种植,其种子年需求量极为可观。然而,黄瓜种子劣变问题比较突出,随着贮藏时间的延长,种子活力逐渐下降,发芽率降低,萌发速度减缓且出现出苗不整齐现象。由老化种子萌发长出的幼苗,生长势较弱且抗逆能力差,严重影响黄瓜的产量与品质[4-5]。因此,如何高效利用黄瓜老化种子,提升种子活力,成为黄瓜产业可持续发展中的难题。而种子引发技术作为一种可以有效改善种子萌发特性、提升种子活力、增强种子抗逆潜能的播前处理技术,为解决黄瓜种子老化问题提供了一种新途径。

葎草(*Humulus scandens*)具有较强的化感潜

收稿日期:2026-01-28;**修回日期:**2026-05-12

基金项目:河南省科技攻关项目(262102110197,252102110174);河南省重点研发专项(241100110200,2511111111100);河南省现代农业产业技术体系(HARS-22-07-G4)

作者简介:王世康,男,在读本科生,研究方向为设施蔬菜栽培生理。E-mail:2486581553@qq.com

通信作者:肖怀娟,女,副教授,研究方向为设施蔬菜栽培生理和分子生物学。E-mail:xhj234@126.com

李　猛,男,讲师,研究方向为设施栽培与生理。E-mail:limengscience@163.com

势，其不同器官（茎、叶、根、苞片等）的水浸液或有机提取物对多种受体植物种子萌发与幼苗生长表现出“低浓度促进、高浓度抑制”的剂量效应，化感活性强弱依次为苞片＞叶片≈茎＞种子，或根提取物最强[6]。已鉴定出的化感物质主要包括脂肪酸（如棕榈酸、亚油酸甲酯）、萜类、酚类及酯类化合物等[6]。与此同时，农用酵素（如苹果渣酵素、环保酵素）稀释液被证实可显著提升小麦、松柳等作物的发芽率与幼苗品质[7]。然而，现有研究主要集中于葎草浸提液的化感效应，尚未涉及发酵处理（即酵素化）后其生物活性对种子萌发效果相关方面的研究。因此，探究葎草酵素对种子萌发的作用，可拓展葎草资源化利用的新途径。

农用植物酵素通常以植物源材料为底物，经微生物发酵制成，富含有机酸、可溶性糖、氨基酸、矿质元素、植物激素及多种活性次生代谢产物[8]。已有研究证实，将发酵后的苹果渣制成的酵素肥料稀释 1000 倍后，可以明显提升小麦种子的发芽率[9]；适宜浓度的氨基酸溶液与申嗪霉素的组合可以显著提高番茄和黄瓜种子的萌发活力和发芽指数，并有效促进根部和下胚轴的生长[10]；使用 0.2%的蒲公英酵素溶液进行喷施处理，能够显著加速大白菜种子的萌发过程，增强其种子活力[11]，以上研究证明了农用酵素在种子萌发调控中的可行性。鉴于此，笔者以葎草酵素为种子引发剂，以津研 4 号的老化种子为试验材料，进行种子引发试验，以期为农用酵素在种子萌发调控中的应用提供实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2024 年 10－12 月在河南农业大学园艺学院进行。以黄瓜品种津研 4 号存储超过 5 a（年）的老化种子为试验材料，该品种由天津科润黄瓜研究所育成。

1.2 葎草酵素制备方法

试验所用葎草取自河南农业大学科教园区，红糖购自于当地农贸市场，试验所用发酵罐为密封塑料罐，其规格为：22 cm×22 cm×32 cm（10 L）。按照葎草茎叶、红糖、蒸馏水质量比为 5∶1∶20 进行配制，将新鲜的植株材料切成 1~2 cm 的小段，在 25 ℃条件下遮光进行自然发酵，采用好氧发酵（6~8 周）和厌氧发酵（2~4 周）相结合的方法制备。制备完成后，将酵素液经 3 层纱布过滤，滤液即为农用酵素，用于后续试验，其总氮、总磷、总钾、钙、镁、铁、锌含量（ρ，后同）分别为 830.0、458.8、766.6、597.8、103.7、2.7、7.0 mg·L^{-1}，pH 为 3.89，EC 值为 6.84 mS·cm^{-1}。

1.3 种子引发试验

将制备好的葎草酵素液用蒸馏水分别稀释 50 倍（T50）、100 倍（T100）、200 倍（T200）、300 倍（T300）、400 倍（T400）和 500 倍（T500）后引发黄瓜老化种子，以清水处理的黄瓜老化种子（CK1）和未经过任何处理的黄瓜老化种子（CK2）作为对照。种子质量与引发溶液体积比约为 1∶5（m/V），将种子浸入对应浓度的葎草酵素或清水中，在恒温培养箱中黑暗条件下 25 ℃引发 12 h。引发结束后，用去离子水反复清洗种子表面残留的酵素液，用吸水纸吸干表面水分后，放入恒温 25 ℃的鼓风干燥箱中回干，回干至原来的水分含量约为 15.7%时备用。

1.4 种子萌发试验

在直径 9 cm 的培养皿中，铺设 2 层滤纸作为种子发芽基床。选取引发后饱满均一的种子，每处理各取 50 粒，均匀分布在培养皿内，避免种子重叠，并设置 3 组重复，采用随机区组设计。将培养皿置于（25±1）℃的恒温培养箱中进行黑暗处理，其间及时补充蒸馏水以保持滤纸湿润。每隔 24 h 记录种子的发芽数量，以胚根突破种皮 2 mm 视为萌发。使用游标卡尺在种子萌发后的第 7 天测量胚根长度。

1.5 发芽指标计算

分别测定发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等指标。

发芽率/%=（前 7 d 发芽种子数/供试种子数）×100；（1）

发芽势/%=（前 3 d 发芽种子数/供试种子数）×100；（2）

发芽指数（GI）=∑（日发芽数/发芽天数）[12]；（3）

活力指数（VI）＝生长势（S）×发芽指数（GI）[13]。（4）

1.6 综合评价

使用隶属函数法，对不同处理下的黄瓜种子活力进行综合评价，采用 5 项指标的平均隶属度（average membership function value，AMF）作为综合评价指标。参照王红飞等[14]的方法计算 5 项指标的隶属度。

1.7 数据分析

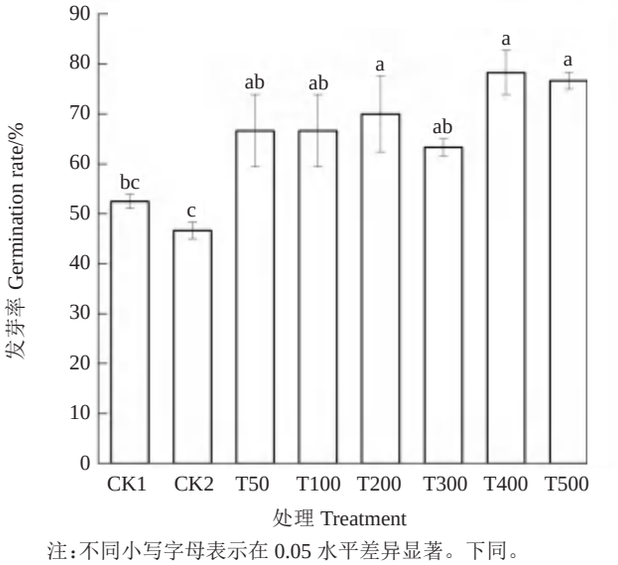
使用 Excel 2019 软件对数据进行初步整理，使用 SPSS20.0（IBM Corp. USA）进行单因素方差分析，采

用 Duncan’s 方法进行多重比较；使用 origin 8.0 绘图。

2　结果与分析

2.1　不同浓度葎草酵素引发对种子发芽率的影响

由图 1 可知，未引发处理（CK2）的发芽率最低，仅为 46.67%，与清水引发（CK1）无显著差异，引发效果不理想。50 倍、100 倍和 300 倍葎草酵素稀释液引发与清水引发对照无显著差异，但均显著高于未引发处理。稀释 400 倍和 500 倍的葎草酵素处理后发芽率显著升高，较 CK1 分别显著提高了 25.83 和 24.17 百分点，较 CK2 分别显著提高了 31.66 和 30.00 百分点。以上数据表明，将葎草酵素稀释 400 倍和 500 倍可以有效促进黄瓜种子萌发，提高其发芽率。



注：不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1　不同浓度葎草酵素引发对种子发芽率的影响

Fig. 1　Effects of *Humulus scandens* Jiaosu priming at different concentrations on seed germination rate

2.2　不同浓度葎草酵素引发对种子发芽势的影响

由图 2 可知，各个葎草酵素稀释液处理的发芽势排序为：400 倍>500 倍>200 倍>100 倍>300 倍>50 倍。其中，400 倍处理组的发芽势最高，较 CK1 和 CK2 分别显著提高了 18.33 和 28.33 百分点，表明葎草酵素 400 倍液可以显著提高黄瓜种子的发芽势，加速种子萌发。

2.3　不同浓度葎草酵素引发对种子胚根长度的影响

不同浓度葎草酵素对黄瓜种子胚根生长产生了影响，由图 3 可知，清水引发和 200 倍稀释液的

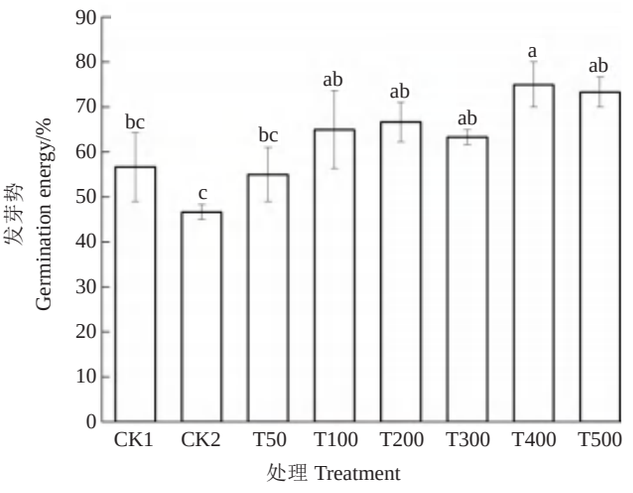


图 2　不同浓度葎草酵素引发对种子发芽势的影响

Fig. 2　Effects of *Humulus scandens* Jiaosu priming at different concentrations on seed germination energy

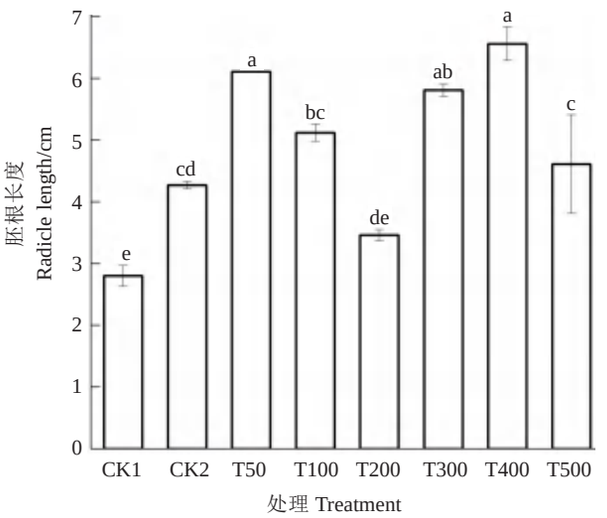


图 3　不同浓度葎草酵素引发对种子胚根长度的影响

Fig. 3　Effects of *Humulus scandens* Jiaosu priming at different concentrations on the radicle length of seed

胚根长度较短，其他处理胚根长度从大到小依次为：400 倍>50 倍>300 倍>100 倍>500 倍。其中 400 倍稀释处理组的胚根长度最大，较 CK1 和 CK2 分别显著提高了 134.29%和 53.63%。以上结果表明，除 200 倍稀释浓度外，其他不同浓度的葎草酵素引发均可有效促进黄瓜老化种子的胚根伸长，其中 400 倍液处理的促进效果最佳。

2.4　不同浓度葎草酵素引发对黄瓜种子发芽指数的影响

为了探究不同浓度葎草酵素对黄瓜种子发芽进度的影响，计算了其发芽指数。由图 4 可知，未引发的种子（CK2）发芽指数最低，引发之后，种子的发芽指数均显著提高，其中清水引发处理（CK1）较

未引发处理显著提高了192.80%，而50倍、100倍和300倍稀释处理与清水对照（CK1）无显著差异，而200倍、400倍和500倍处理组的发芽指数较CK1分别显著提高了31.12%、36.99%和36.99%，较CK2分别显著提高了283.95%、301.15%和301.15%。以上结果表明，不同浓度的葎草酵素均可提升黄瓜种子发芽指数，使出苗更为均匀，其中以稀释200倍、400倍和500倍处理的促进效果最佳。

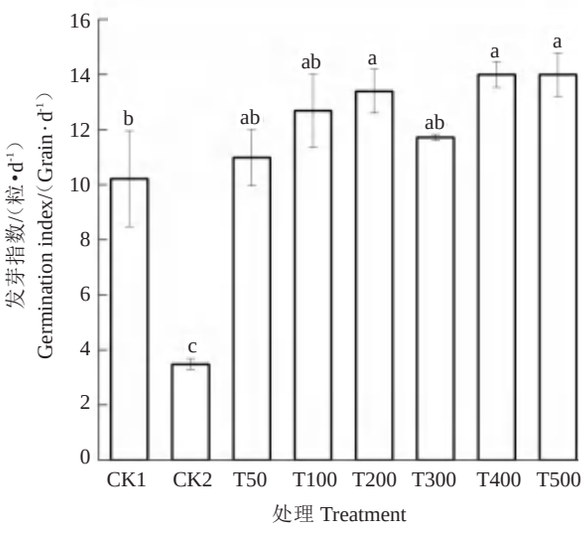


图4　不同浓度葎草酵素引发对种子发芽指数的影响

Fig. 4　Effects of *Humulus scandens* Jiaosu priming at different concentrations on seed germination index

2.5　不同浓度葎草酵素引发对黄瓜种子活力指数的影响

为了探究不同浓度葎草酵素处理对黄瓜种子活力的影响，计算了其活力指数。由图5可知，未引发处理（CK2）的种子活力指数最低，各引发处理组的活力指数均显著高于CK2。清水引发（CK1）较CK2显著提升了472.05%，50~300倍葎草酵素

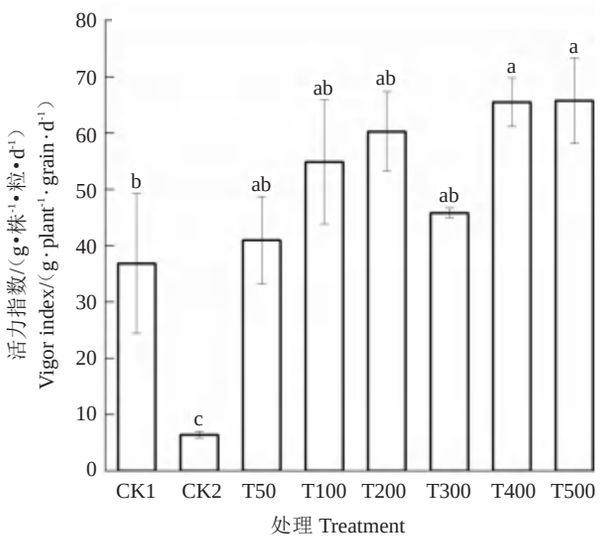


图5　不同浓度葎草酵素引发对种子活力指数的影响

Fig. 5　Effects of *Humulus scandens* Jiaosu priming at different concentrations on seed vigor index

稀释处理均与CK1无显著差异，而400倍和500倍稀释处理组的活力指数较高，其中400倍处理组较CK1和CK2分别显著提高了77.71%和916.61%，500倍处理组较CK1和CK2分别显著提高了78.47%和920.96%。以上结果表明，稀释不同倍数的葎草酵素均可显著提升种子的活力指数，其中稀释400倍和500倍葎草酵素的提升效果最好。

2.6　不同浓度葎草酵素引发对黄瓜种子发芽指标的综合评价

为了进一步评价不同浓度葎草酵素对黄瓜种子发芽的综合影响，采用隶属函数法对各发芽参数进行了综合分析。从表1可以看出，清水引发（CK1）与未引发（CK2）的平均隶属度较低，种子的萌发性能受到了明显抑制，而酵素处理的平均隶属度均明显升高。其中，稀释400倍的葎草酵素处理组在发芽率、发芽势、胚根长度、发芽指数及活力指

表1　黄瓜种子发芽参数的隶属函数值

Table 1　Membership function value of germination parameter of cucumber seeds

处理 Treatment	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination energy	胚根长度 Radicle length	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	平均隶属度 AMF
T50	0.631 7	0.353 0	0.880 3	0.713 6	0.582 7	0.632 2
T100	0.631 7	0.647 0	0.617 0	0.875 4	0.817 1	0.717 6
T200	0.736 9	0.706 0	0.175 5	0.942 9	0.907 6	0.693 8
T300	0.526 2	0.588 1	0.800 5	0.783 1	0.663 8	0.672 3
T400	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.995 3	0.999 0
T500	0.947 6	0.941 1	0.481 4	1.000 0	1.000 0	0.874 0
CK1	0.367 3	0.294 0	0.000 0	0.640 3	0.512 6	0.362 8
CK2	0.000 0	0.000 0	0.391 0	0.000 0	0.000 0	0.078 2

数等指标上均表现出较高的隶属函数值，其平均隶属度明显高于其他处理组，表明稀释 400 倍的葎草酵素提升老化黄瓜种子萌发潜能的效果最好。

3　讨论与结论

种子引发技术通过调控种子萌发前的生理代谢过程，能有效修复老化种子的细胞结构、激活萌发相关酶活性，进而改善种子萌发特性与抗逆能力，是解决黄瓜老化种子活力衰退问题的有效途径[15-16]。以往关于种子引发剂的研究多集中在化学激素、微生物菌剂或单一植物提取物。而农用酵素作为一种绿色环保的植物源营养液，因其富含多种生物活性成分，在农业生产中的应用潜力逐渐受到关注[17]。近年来，关于葎草的研究主要集中在畜牧业、饲料、工业应用和其药用价值等领域[18]。虽然葎草酵素的应用价值已被初步挖掘[19-20]，但将其应用于种子引发剂方面的研究尚未见报道。因此，本研究旨在探究葎草酵素作为种子引发剂的可行性，为其农业资源化利用提供理论依据。

本试验中，不同浓度葎草酵素引发对黄瓜老化种子的发芽率、发芽势、胚根长度、发芽指数及活力指数均有显著影响，且呈现明显的提升作用。其中稀释 400 倍的葎草酵素处理组表现最优，其发芽率、发芽势较清水引发（CK1）分别显著提高了 25.83 和 18.33 百分点，较未作引发处理（CK2）分别显著提高了 31.66 和 28.33 百分点；胚根长度较 CK1、CK2 分别显著增加 134.29%和 53.63%；发芽指数和活力指数的提升更为显著，较 CK2 分别显著提高 301.15%、916.61%。经过隶属函数法综合评价，该处理组的平均隶属度值达到 0.999 0，明显优于其他处理组。这一结果与前人研究中植物酵素对小麦、大白菜种子萌发的促进效应相一致[7-9]。研究表明，葎草酵素富含天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸等 17 种氨基酸及生长素、赤霉素、细胞分裂素等植物激素，以及氮、磷、钾、钙、镁、铁、锌等矿质元素，具备作为生物刺激剂促生的潜力[21-22]。推测葎草酵素引发提升黄瓜种子萌发的作用机制可能为：一是葎草酵素中的植物激素（如赤霉素、生长素）可打破种子休眠，激活胚根分生组织活性，促进细胞分裂与伸长；二是丰富的氨基酸和矿质元素可为种子萌发提供直接营养，缓解老化种子的碳源与能量短缺问题；三是酵素中含有多种酶类，如抗氧化酶（SOD、CAT、POD）等成分可清除种子萌发过程中产生的活性氧，修复老化造成的细胞膜与 DNA 损伤，进而提升种子活力与抗逆性[8,23]。

在本研究中，过高或过低的葎草酵素浓度均未达到最佳引发效果。其中稀释 50 倍和 100 倍等较高浓度处理组的各项指标均低于 200~500 倍处理组，可能是由于高浓度酵素中某些成分（如有机酸、可溶性糖）浓度过高，导致种子细胞渗透压失衡，从而抑制水分吸收与代谢活动，使种子萌发受到抑制[24-25]；而稀释 300 倍的葎草酵素处理组的促进效应要低于 400 倍和 500 倍，这可能是该浓度下酵素中的植物激素、氨基酸等活性成分含量不足，无法充分激活种子胚部细胞分裂、修复老化损伤等关键过程，从而难以达到最佳的引发效果[19,26-28]。这一浓度依赖效应与刘珂[20]在水培生菜上的研究结果相似。

本研究虽然明确了不同浓度葎草酵素引发对黄瓜老化种子萌发的促进作用，但仍存在一定的局限性，未来可继续深入分析葎草酵素中发挥引发作用的核心成分、引发对种苗质量及田间种植效果的影响等，为其在农业生产中的规模化应用提供更全面的理论支持与技术指导。

综上所述，笔者探讨了不同稀释倍数的葎草酵素溶液对黄瓜老化种子萌发的影响，证明了葎草酵素在稀释 400 倍时对黄瓜老化种子萌发的促进效果最佳，可显著提升其发芽率、发芽势、胚根长度、发芽指数及活力指数。葎草酵素作为一种绿色低成本的引发剂，为解决黄瓜老化种子的活力衰退问题提供了一种新技术，也为葎草的资源化利用提供了新途径。

参考文献

[1] 张延军，吴志强，孙桂玲．黄瓜新品种德瑞特 917 的选育与管理[J]．中国果菜，2023，43（12）：43-47．

[2] 吕赢，王越，马艺荞，等．保护地黄瓜嫁接育苗技术[J]．长江蔬菜，2023（22）：14-16．

[3] 张圣平，董邵云，苗晗，等．“十四五”我国黄瓜遗传育种研究进展[J]．中国蔬菜，2026（4）：1-13．

[4] 蔡子文，赵朔阳．外源物质浸种对黄瓜陈种子萌发效应的影响[J]．甘肃农业科技，2022，53（8）：65-68．

[5] 王建华，高扬帆，吴艳兵，等．氯化钙和青霉素对黄瓜老化种子发芽及幼苗生长的影响[J]．河南科技学院学报（自然科学版），2008，36（2）：35-36．

[6] 刘欣，周科，熊磊，等．葎草挥发性物质化感作用及其化感物质的分析研究[J]．生物学杂志，2011，28（3）：34-38．

[7] 刘宇，陈娇月，赵飞，等．农用酵素对有机番茄高品质生产的作用[J]．中国农业大学学报，2024，29（6）：137-152．

[8] 李冰，朱秀敏，李代，等．农用植物酵素有效成分及作用机制[J]．中国农业科技导报，2024，26（7）：156-165．

[9] 马欣，郭俊花，许先猛．苹果渣发酵酵素菌肥对小麦种子萌发

及幼苗生长的影响[J].上海农业学报,2018,34(3):28-31.
[10] 李艳,王祺,任如佳,等.申嗪霉素与氨基酸浸种对黄瓜和番茄种子萌发的影响[J].中国蔬菜,2017(12):46-50.
[11] 李彤,苏芳莉,王晓涵,等.蒲公英酵素影响大白菜萌发机制研究[J].农业与技术,2020,40(14):1-4.
[12] 王红飞,李锡香,王海平,等.黄瓜低温耐受性鉴定方法的初步研究[J].中国蔬菜,2015(3):17-25.
[13] 王朔楠,孙静,郭嘉莹,等.种子发芽指标及其测算方法[J].麦类作物学报,2023,43(2):190-196.
[14] 王红飞,李锡香,董洪霞,等.黄瓜核心种质芽期低温耐受性鉴定评价[J].植物遗传资源学报,2016,17(1):6-12.
[15] 张海芳,王艳芳,李超,等.回干对茄子砧木托鲁巴姆种子药剂处理效果的影响[J].中国瓜菜,2018,31(1):28-31.
[16] 李振华,王建华.种子活力与萌发的生理与分子机制研究进展[J].中国农业科学,2015,48(4):646-660.
[17] 张越,赵宇宾,蔡亚凡,等.农用植物酵素的生态效应研究进展[J].中国农业大学学报,2020,25(3):25-35.
[18] 王悦尚,于美俊,陈宇,等.葎草的化学成分药理作用及其在动物生产中应用的研究进展[J].中国饲料,2024(1):4-11.
[19] 马彩霞.葎草酵素液在水培生菜上的应用效果研究[D].郑州:河南农业大学,2019.
[20] 刘珂.葎草酵素根施和叶面喷施对水培生菜生长及品质的影响[D].郑州:河南农业大学,2021.
[21] Li M, Yue T, Luo W, et al. A novel approach for utilizing wild plant resources in green agricultural production: A case study of preparing agricultural Jiaosu from *Humulus scandens*[J]. Bioresource Technology, 2025, 440: 133434.
[22] Yue T, Miao B, Luo W, et al. Effects of wild plant-derived agricultural Jiaosu on soil fertility and pakchoi growth[J]. Plant and Soil, 2025, 517(1): 1-14.
[23] 庞志申.野生葎草:可开发利用的饲料[J].农业新技术,2002(6):34.
[24] 刘春,王晨阳,李锦锦,等.外源生物活性物质浸种对甜瓜种子发芽及幼苗生长的影响[J].吉林农业科技学院学报,2025,34(6):1-4.
[25] 罗晓蔓,李敏,丁贵杰.三种有机酸对马尾松种子萌发及幼苗的化感作用[J].种子,2024,43(11):10-16.
[26] 卜瑞方.硅缓解黄瓜种子萌发和幼苗生长自毒作用的机理研究[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
[27] 焦芳菊,郝晓佳,王晶艺,等.外源褪黑素、吲哚丁酸钾、γ-氨基丁酸引发对老化玉米种子萌发及生理特性的影响[J].草地学报,2025,33(8):2494-2501.
[28] 白宏宇,杨培志,胡跃高,等.施用农用酵素对大豆种子萌发及幼苗生长发育的影响[J].中国农业大学学报,2026,31(1):11-20.