



干旱胁迫下不同工艺腐植酸对小麦种子萌发及生长的影响

张子怡 王学虎 范莹 沈志峰

河北萌帮生物科技有限公司 邢台 054000

摘要:本试验设置5个处理(T1:清水;T2:20%PEG溶液;T3:20%PEG+上清腐植酸溶液;T4:20%PEG+原褐煤腐植酸溶液;T5:20%PEG+发酵褐煤腐植酸溶液),探究了3种不同工艺腐植酸(上清腐植酸、原褐煤腐植酸和发酵褐煤腐植酸)对干旱胁迫下小麦种子萌发及生长的影响。结果表明,20%PEG胁迫下,与T2处理相比,T5处理对小麦各项指标的促进效果最显著,小麦发芽势提高18.34%、发芽率提高17.50%、发芽指数提高43.37%、活力指数显著提升233.94%、根长增加139.94%、株高增加192.16%、可溶性糖含量提高54.90%、可溶性蛋白含量提高106.96%,抗氧化酶(POD、SOD、CAT)活性分别增强46.54%、34.37%和115.34%,MDA含量降低46.25%。综上,干旱胁迫下,发酵褐煤腐植酸较上清褐煤腐植酸和原褐煤腐植酸,在促进小麦种子萌发、幼苗生长、抗氧化能力等方面作用显著,为旱作农业腐植酸的精准应用提供参考。

关键词:腐植酸;干旱胁迫;小麦种子;萌发特性;幼苗生长

中图分类号:TQ314.1, S512.1 文章编号:1671-9212(2025)06-0087-07

文献标识码:A DOI:10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.010

Effects of Different Processed Humic Acids on the Germination and Growth of

Wheat Seed under Drought Stress

Zhang Ziyi, Wang Xuehu, Yuan Ying, Shen Zhifeng

Hebei Monband Biotechnology Co. Ltd., Xingtai, 054000

Abstract: In order to explore the effects of three different types of humic acid, namely, supernatant humic acid, raw lignite humic acid and fermented lignite humic acid, on the germination and growth of wheat seed under drought stress, five experiment treatments were set up as follows, T1: water; T2: 20% PEG solution; T3: 20% PEG + supernatant humic acid solution; T4: 20% PEG + raw lignite humic acid solution; T5: 20% PEG + fermented lignite humic acid solution. The results showed that, under 20% PEG stress, the treatment T5 had the most significant promoting effect on all indicators, compared to the treatment T2. The germination potential of wheat, the germination rate, the germination index were increased by 18.34%, 17.50% and 43.37%, respectively, and the vigor index was increased significantly by 233.94%. In addition, the root length, the plant height, the content of soluble sugar, the content of soluble protein were increased by 139.94%, 192.16%, 54.90% and 106.96%, respectively. The activities of antioxidant enzymes (POD, SOD, CAT) were increased by 46.54%, 34.37% and 115.34% respectively, and the MDA content was decreased by 46.25%. In conclusion, under drought stress, fermented lignite humic acid had a more significant effect than supernatant humic acid and raw lignite humic acid in promoting wheat seed germination, seedling growth and antioxidant capacity, which provided a reference for the precise

[基金项目]石家庄市厅市会商专项资金项目(项目编号225490590595A)。

[收稿日期]2025-07-26

[作者简介]张子怡,女,1997年生,农艺师,主要从事新型肥料研发与应用,E-mail:2630598794@qq.com。



application of humic acid in dryland agriculture.

Key words: humic acid; drought stress; wheat seed; germination characteristics; seedling growth

干旱胁迫能导致小麦千粒重下降,进而造成产量损失^[1]。我国干旱与半干旱地区耕地占总耕地面积的35%^[2],华北、西北等小麦主产区常受季节性干旱影响。中度干旱胁迫可导致小麦减产20%~40%,严重干旱时减产幅度甚至超过50%^[3]。因此,科学应用外源物质增强小麦抗旱性,对保障粮食安全、减少农业经济损失具有重要现实意义。

腐植酸具有改良土壤结构、促进植物生长及增强作物抗逆性等多种功能^[4, 5]。在干旱胁迫下,腐植酸可通过促进根系发育与水分吸收,提高植物抗氧化防御系统活性,从而提高植物抗旱能力^[6]。研究表明,在干旱胁迫下,冲施腐植酸可使小麦根系长度增加15%~20%,叶片水分利用效率提高10%~15%^[7]。此外,腐植酸还能促进小麦体内可溶性蛋白和可溶性糖的积累,增强细胞的渗透调节能力,缓解干旱对植株的伤害^[8]。华北地区大田试验结果表明,在干旱季节施用腐植酸的小麦的产量较未施用组高出25%以上^[9]。但目前关于腐植酸的研究多集中于单一来源或单一工艺产品,对不同加工工艺的腐植酸作用效果及影响机制研究较少。本试验以小麦种子为试验材料,系统对比3种不同工艺(上清、原、发酵)褐煤腐植酸的抗旱效应,揭示加工工艺对其功能活性的影响规律;并通过测定小麦萌发期和幼苗期的关键生理指标,深入探讨不同工艺腐植酸的抗旱机制,为其在旱作农业中精准应用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试腐植酸均100 g/L,均以新疆褐煤为原料,分为3种工艺类型:(1)上清褐煤腐植酸,分子量8000~20000 D。经发酵、研磨、离心过滤去除不溶物获得。发酵经短短芽孢菌株(*Brevibacillus brevis*)与贪噬菌株(*Variovorax paradoxus*)按比例1~2:1~2配制,两种菌株均由实验室自行

从土壤中筛选获取。(2)发酵褐煤腐植酸,分子量20000~50000 D。经发酵、研磨、悬浮处理获得,发酵工艺同上。(3)原褐煤腐植酸,分子量20000~50000 D。未经任何处理直接研磨后进行悬浮处理获得。

供试作物:小麦,品种为“济麦22”。

供试试剂:聚乙二醇-6000(PEG)。

1.2 试验方法

以PEG模拟天然干旱胁迫条件,设置5个处理,T1:清水;T2:20%PEG溶液;T3:20%PEG+上清腐植酸溶液;T4:20%PEG+原褐煤腐植酸溶液;T5:20%PEG+发酵褐煤腐植酸溶液,以上培养液中腐植酸含量均为0.1 g/L,每个处理3次重复。每个培养皿中均置双层滤纸,加入对应的培养液充分浸湿,每个处理均匀放置30粒饱满、无破损的小麦种子,置于智能培养箱(温度25 °C、日光照12 h、相对湿度60%)中培养,连续观测7天。

1.3 测定项目与方法

自培养第2天起,每天统计小麦种子发芽数,以胚根长度达到种子原始长度两倍作为发芽判定标准^[10],连续观测7天完成数据采集,计算小麦发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数,同步测量幼苗根长与叶片长度,并依据公式计算发芽相关参数^[11]。

发芽势(%)=第3天种子发芽数/供试种子总数×100

发芽率(%)=第7天种子发芽数/供试种子总数×100

$$\text{发芽指数}(G_i)=\sum G_i/D_i$$

$$\text{活力指数}(V_i)=G_i \times S$$

式中, G_i 为第*t*天的种子发芽数, D_i 为对应种子的发芽数; S 为平均根长。

培养至第7天时,随机选取5株生长一致的幼苗,分别取根部和叶片组织用于生理指标检测:可溶性糖含量采用苯酚法测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250比色法测定,丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、



超氧化物歧化酶（SOD）活性以及脯氨酸含量则使用 Solarbio 公司提供的专用试剂盒进行定量分析，均采用分光光度计法测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2020 进行数据统计，采用 IBM SPSS Statistics 20.0 进行差异显著性和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦种子萌发的影响

由表 1 可以看出，与 T1 处理相比，T2 处理

对小麦种子萌发指标表现出显著抑制作用。与 T2 处理相比，T3、T4、T5 处理的发芽势分别显著提升 8.33%、9.81%、18.34%；发芽率分别显著提高 8.50%、13.74%、17.50%；T4、T5 处理的发芽指数分别显著增加 27.93%、43.37%，而 T3 处理差异不显著；T3、T4、T5 处理活力指数分别显著提高 88.90%、55.90%、233.94%。T3、T4 和 T5 处理之间相比，T5 处理除了与 T4 处理的发芽率和发芽指数差异不显著外，与其他处理各指标差异均达显著水平。可见，发酵褐煤腐植酸（T5 处理）对干旱胁迫下小麦种子萌发的缓解效果最为突出，可基本恢复至正常水分条件下的萌发水平。

表 1 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦种子萌发的影响

Tab.1 Effects of different processed humic acids on seed germination of wheat under drought stress

| 处理 | 发芽势 (%) | 发芽率 (%) | 发芽指数 | 活力指数 |
|----|---------------|----------------|----------------|----------------|
| T1 | 82.52 ± 1.63a | 93.15 ± 1.58a | 12.2 ± 0.71ab | 155.81 ± 3.61a |
| T2 | 69.41 ± 1.82c | 79.78 ± 2.12c | 9.13 ± 0.83c | 33.24 ± 1.94d |
| T3 | 75.19 ± 1.17b | 86.56 ± 0.87b | 10.3 ± 0.72bc | 62.79 ± 1.56c |
| T4 | 76.22 ± 1.68b | 90.74 ± 1.75ab | 11.68 ± 0.89ab | 51.82 ± 1.00c |
| T5 | 82.14 ± 1.16a | 93.74 ± 0.81a | 13.09 ± 0.58a | 111.00 ± 3.79b |

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦根长和株高的影响

由图 1 可以看出，与 T1 处理相比，T2 处理显著抑制了小麦根系与地上部生长，根长和株高分别减少 70.90% 和 84.94%。与 T2 处理相比，T3、T5 处理的根长分别显著增加 57.79% 和 139.94%，株高分别显著增加 141.83% 和 192.16%；T4 处理的根长和株高差异均不显著。T3、T4 和 T5 处理之间相比，T5 处理除了与 T3 处理的株高差异不显著外，与其他处理各指标差异均达显著水平。可见，发酵褐煤腐植酸（T5 处理）对干旱胁迫下小麦根系生长与株高的缓解效果最为突出，原褐煤腐植酸（T4 处理）对幼苗生长无明显调控作用。

2.3 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦 POD、SOD、CAT 活性和 MDA 含量的影响

由图 2 可以看出，与 T1 处理相比，T2 处理小麦叶片的 POD、CAT 活性和 MDA 含量显著提升。

与 T2 处理相比，T3、T4、T5 处理的 POD 活性分别显著提升 20.05%、14.85%、46.54%，CAT 活性分别显著提高 28.31%、68.19%、115.34%，MDA 含量分别显著降低 37.84%、31.12%、46.25%，SOD 活性各处理间差异均不显著。T3、T4 和 T5 处理之间相比，T5 处理的 POD 和 CAT 活性提升效果最显著；T5 处理的 MDA 含量较 T4 处理显著降低，与 T3 处理差异不显著，T3、T4 处理间 MDA 差异不显著。可见，发酵褐煤腐植酸（T5 处理）可显著提升 POD、SOD、CAT 活性，降低 MDA 含量，从而有效缓解干旱胁迫引发的氧化损伤。

2.4 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦可溶性物质的影响

由图 3 可以看出，与 T1 处理相比，T2 处理显著促进了小麦叶片可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸的积累。进一步分析不同工艺腐植酸（T3、T4、T5 处理）对 PEG 胁迫（T2 处理）的缓解效

应发现：与 T2 处理相比，T3、T4、T5 处理的可溶性蛋白含量分别显著增加 38.92%、42.41%、106.96%；T4、T5 处理的可溶性糖含量分别显著提高 30.07%、54.90%，而 T3 处理差异不显著；T3、T4、T5 处理的脯氨酸含量分别显著提高 8.99%、18.26%、41.16%。T3、T4 和 T5 处理之间相比，T5 处理的可溶性蛋白和可溶性糖含量均显著高于其他两组；T5 处理的脯氨酸含量较 T3 处理显著提高，与 T4 处理差异不显著。可见，发酵褐煤腐植酸（T5 处理）对干旱胁迫下小麦叶片可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸合成的促进效果最显著。

2.5 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦各项指标相关性分析

由表 2 可以看出，干旱胁迫下小麦种子发芽势与发芽率、发芽指数、活力指数呈显著正相关，与 MDA 呈显著负相关；发芽率与发芽指数呈极显著正相关，与 MDA 呈显著负相关；活力指数与根长呈极显著正相关，与株高呈显著正相关；根长与株高呈显著正相关；POD 与 SOD、CAT、可溶性糖呈显著正相关，与可溶性蛋白、脯氨酸呈极显著正相关；SOD 与可溶性蛋白、脯氨酸呈显著正相

关；CAT 与可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸呈极显著正相关；可溶性糖与可溶性蛋白呈显著正相关，与脯氨酸呈极显著正相关；可溶性蛋白与脯氨酸呈极显著正相关。其中，小麦发芽率与发芽指数 ($r=0.973$)、株高与根长 ($r=0.955$) 呈极显著正相关关系。

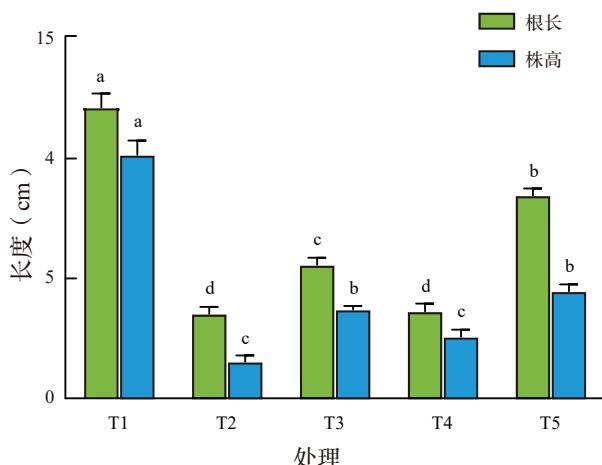


图 1 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下对小麦根长和株高的影响

Fig.1 Effects of different processed humic acids on root length and plant height of wheat under drought stress

注：图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，下同。

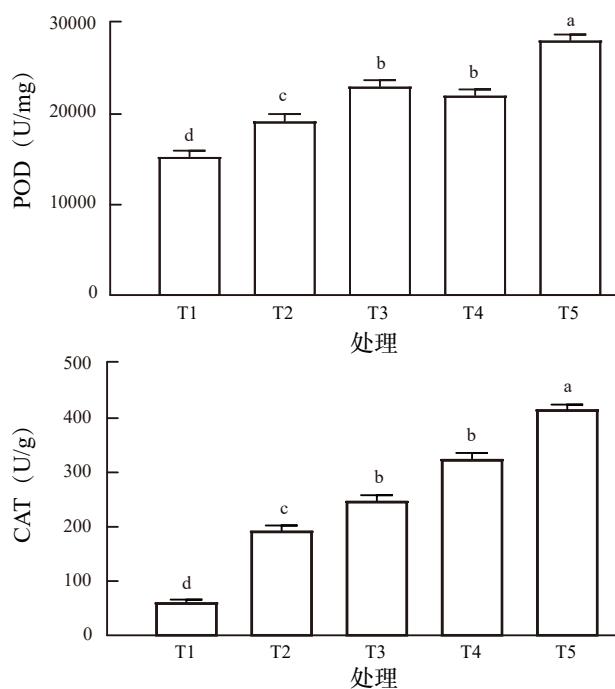


图 2 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦 POD、SOD、CAT 活性和 MDA 含量的影响

Fig.2 Effects of different processed humic acids on POD, SOD, CAT activities and MDA content of wheat under drought stress

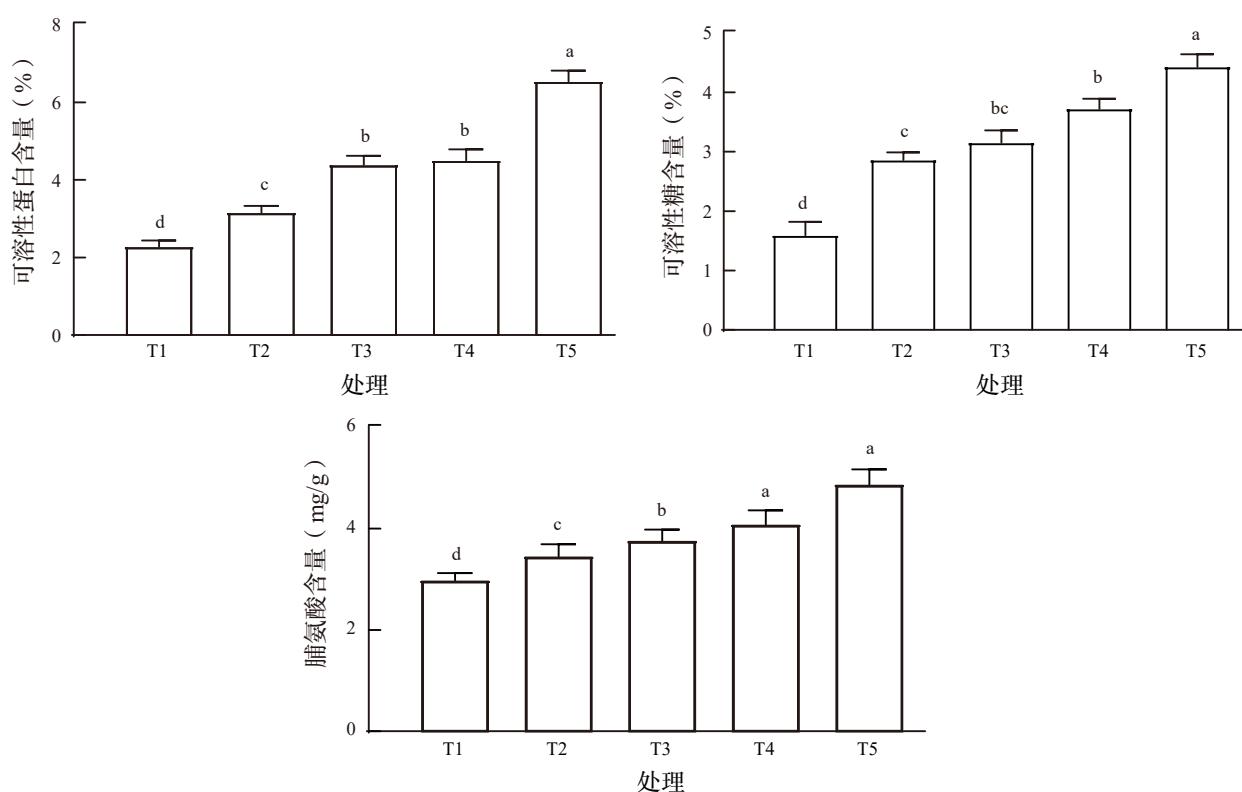


图 3 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦可溶性物质的影响

Fig.3 Effects of different processed humic acids on soluble substances of wheat under drought stress

表 2 不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦各项指标相关性分析

Tab.2 Correlation analysis of various indicators of wheat under drought stress by different processed humic acids

| 因素 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---|
| A | 1 | | | | | | | | | | | | |
| B | 0.958* | 1 | | | | | | | | | | | |
| C | 0.941* | 0.973** | 1 | | | | | | | | | | |
| D | 0.908* | 0.771 | 0.741 | 1 | | | | | | | | | |
| E | 0.850 | 0.682 | 0.649 | 0.990** | 1 | | | | | | | | |
| F | 0.773 | 0.634 | 0.546 | 0.947* | 0.955* | 1 | | | | | | | |
| G | 0.135 | 0.219 | 0.332 | -0.212 | -0.262 | -0.482 | 1 | | | | | | |
| H | 0.307 | 0.321 | 0.474 | 0.028 | -0.013 | -0.283 | 0.941* | 1 | | | | | |
| I | 0.065 | 0.214 | 0.334 | -0.320 | -0.398 | -0.581 | 0.956* | 0.870 | 1 | | | | |
| J | -0.941* | -0.910* | -0.822 | -0.856 | -0.811 | -0.794 | -0.061 | -0.153 | 0.040 | 1 | | | |
| K | -0.011 | 0.134 | 0.261 | -0.384 | -0.455 | -0.640 | 0.952* | 0.860 | 0.997** | 0.119 | 1 | | |
| L | 0.250 | 0.342 | 0.458 | -0.111 | -0.176 | -0.397 | 0.989** | 0.954* | 0.963** | -0.153 | 0.949* | 1 | |
| M | 0.225 | 0.336 | 0.468 | -0.143 | -0.218 | -0.434 | 0.968** | 0.940* | 0.980** | -0.093 | 0.968** | 0.989** | 1 |

注: (1) A—发芽势; B—发芽率; C—发芽指数; D—活力指数; E—根长; F—株高; G—POD; H—SOD; I—CAT; J—MDA; K—可溶性糖; L—可溶性蛋白; M—脯氨酸。

(2) * 和 ** 分别表示在 0.05 水平上显著相关和 0.01 水平上极显著相关。



3 讨论

逆境胁迫下，腐植酸通过改善土壤结构、调节植物生理代谢和激活抗逆信号通路，显著提升植物的抗逆性^[12, 13]。已有研究表明，腐植酸可调控种子萌发阶段的生理代谢活动，能够有效减轻干旱胁迫对小麦种子萌发过程产生的抑制效应^[14]，并且能够诱导植物根系分泌有机酸，促进侧根形成，从而提高水分和养分吸收面积^[15]。本试验中，不同工艺腐植酸处理均能缓解干旱胁迫对小麦的发芽指标、根长以及株高的抑制作用。

大量文献研究表明，在极端干旱条件下，植物渗透调节系统遭到破坏，玉米、苜蓿、小麦等作物的可溶性糖、可溶性蛋白及脯氨酸的含量显著上升^[16~18]，呼吸速率增加，代谢加快，大量活性氧物质产生，这些活性氧会对酶活性产生抑制，干扰DNA复制及蛋白质合成过程^[19]。腐植酸可以调节植物的细胞渗透势，维持着渗透压，以此减少植物在干旱胁迫中的损伤，并且增强植物体内抗氧化酶活性，通过协同作用清除过量的活性氧，进而将自由基水平维持在平衡状态^[4, 20, 21]。本试验中，3种工艺腐植酸处理均能缓解细胞的氧化损伤，提高小麦叶片中过氧化酶活性以及可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量。此结果与张小冰^[16]、孙海燕等^[22]结果一致。

不同工艺腐植酸对干旱胁迫下小麦各项生理指标的调控效果也有所不同。具体而言，发酵褐煤腐植酸处理（T5）的小麦在发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、株高、可溶性物质及POD活性等指标上，均显著优于上清褐煤腐植酸处理（T3）和原褐煤腐植酸处理（T4），MDA含量则低于T3、T4处理。已有研究表明^[23, 24]，褐煤中的腐植酸经微生物降解后，其理化性质会发生显著改变。与原煤及化学提取的腐植酸相比，微生物发酵腐植酸含氮及含氧官能团数量更丰富，分子量更小，絮凝极限大幅提升，且生物活性更强。因此，在小麦萌发期及幼苗生长发育过程中，发酵褐煤腐植酸可通过显著促进种子萌发、提升生物量积累、加速可溶性物质的合成，并有效增强叶片过氧

化酶活性，为小麦后期生殖生长的物质储备与生理代谢奠定基础。

4 结论

在施用等量腐植酸的条件下，3种不同工艺腐植酸（上清褐煤腐植酸、发酵褐煤腐植酸及原褐煤腐植酸）均能有效增强小麦的抗旱能力。其中，发酵褐煤腐植酸表现更为突出，对小麦种子萌发及幼苗生长的促进作用尤为显著。因此，发酵褐煤腐植酸在旱作农业中具有重要应用潜力。后续研究需进一步明确最佳施用浓度范围及分子量适配区间，以优化应用技术体系，推动其在农业生产中的规模化应用。

参考文献

- [1] 尤燕聪, 王宏凯, 艾明军, 等. PEG 模拟干旱胁迫对南疆小麦发芽和幼苗生长的影响 [J]. 江苏农业科学, 2023, 51 (21) : 98 ~ 105.
- [2] 江梦圆. 干旱胁迫对冬小麦生长的影响机理及模拟研究 [D]. 南京信息工程大学硕士学位论文, 2020.
- [3] 王雷, 郭岩, 杨淑华. 非生物胁迫与环境适应性育种的现状及对策 [J]. 中国科学 (生命科学), 2021, 51 (10) : 1424 ~ 1434.
- [4] 陈玉玲. 腐植酸对植物生理活动的影响 [J]. 植物学通报, 2000, 17 (1) : 11 ~ 16.
- [5] Zhang X Z, Schmidt R E. Hormone-containing products impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought[J]. Crop Science, 2000, 40(5): 1344 ~ 1349.
- [6] Roy D, Sayed M Z I, Mondal D, et al. Humic acid mediates drought tolerance in wheat through the modulation of morphophysiological traits, leading to improve the grain yield in wheat[J]. Phyton-international Journal of Experimental Botany, 2025, 94(3): 763 ~ 779.
- [7] Rathor P, Upadhyay P, Ullah A, et al. Humic acid improves wheat growth by modulating auxin and



- cytokinin biosynthesis pathways[J]. Annals of Botany Plant Sciences, 2024, 16(2): 18.
- [8] Mackowiak C L, Grossl P R, Bugbee B G. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat[J]. Soil Science Society America Journal, 2001, 65(6): 1744 ~ 1750.
- [9] 张运红, 任子雯, 毛家伟, 等. 腐殖酸对小麦幼苗生长及抗旱性的影响 [J]. 浙江农业科学, 2025, 66 (4) : 885 ~ 892.
- [10] 段才绪, 何平, 谢英赞, 等. 盐胁迫对决明种子萌发和幼苗生理特性的影响 [J]. 西南师范大学学报, 2013, 38 (2) : 73 ~ 78.
- [11] 张艳, 彭燕, 何小双. 甜菜碱浸种对干旱胁迫下白三叶种子萌发特性的影响 [J]. 中国草地学报, 2014, 36 (4) : 31 ~ 37.
- [12] Aydin A, Kant C, Turan M. Humic acid application alleviate salinity stress of bean plants decreasing membrane leakage[J]. African Journal of Agricultural Research, 2012, 7(7): 1073 ~ 1086.
- [13] Peymaninia Y, Valizadeh M, Shabryari R, et al. Relationship among morpho-physiological traits in bread wheat against drought stress at presence of a leonardite derived humic fertilizer under greenhouse condition[J]. International Research Journal of Applied and Basic Science, 2012, 3(4): 822 ~ 830.
- [14] 乔治新. 干旱胁迫下小麦种子萌发特性评价与生理响应机制 [D]. 山东农业大学硕士学位论文, 2023.
- [15] 朱珊珊, 米俊珍, 赵宝平, 等. 腐植酸对干旱胁迫下燕麦叶片碳同化酶活性及产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2021, 41 (6) : 722 ~ 730.
- [16] 张小冰, 邢勇, 郭乐, 等. 腐植酸钾浸种对干旱胁迫下玉米幼苗保护酶活性及 MDA 含量的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (7) : 69 ~ 72.
- [17] Zhang C M, Shi S L, Liu Z, et al. Drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties is associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation[J]. Journal of Plant Physiology, 2019, 232: 226 ~ 240.
- [18] 张军, 陈新宏, 王新军, 等. PEG-6000 处理下陕西栽培小麦萌发期抗旱性评价 [J]. 种子, 2017, 36 (3) : 77 ~ 79.
- [19] Zhou Q, Li Y P, Wang X J, et al. Effects of different drought degrees on physiological characteristics and endogenous hormones of soybean[J]. Plants, 2022, 11(17): 2282.
- [20] 张帆, 李景富, 姜景彬, 等. 外源水杨酸诱导对番茄幼苗抗冷性的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45 (3) : 91 ~ 94.
- [21] Theocharis A, Clément C, Barka E A. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures[J]. Planta, 2012, 235(6): 1091 ~ 1105.
- [22] 孙海燕, 孔德庸, 胡慧影, 等. 腐植酸浸种对低温胁迫下玉米幼苗抗氧化系统的影响 [J]. 生态学报, 2021, 41 (13) : 5385 ~ 5397.
- [23] 袁红莉, 蔡亚歧, 周希贵, 等. 微生物降解褐煤产生的腐植酸化学特性研究 [J]. 环境化学, 2000, 19 (3) : 240 ~ 243.
- [24] 袁红莉, 王凤芹, 李宝珍. 微生物降解褐煤产生的腐殖酸的生物活性研究 [C]. 氮素循环与农业和环境学术讨论论文集, 2001.

3项肥料国家标准获批发布

2025年10月31日, 国家标准化管理委员会正式批准发布758项推荐性国家标准和6项推荐性国家标准修改单。其中, GB/T 6274—2025《肥料、土壤调理剂和有益物质 术语》、GB/T 32741—2025《肥料、土壤调理剂和有益物质 分类》、GB/T 46742—2025《肥料中正丁基硫代磷酰三胺和双氰胺的同时测定 高效液相色谱法》3项国家标准获批发布, 并将于2026年5月1日起实施。希望腐植酸肥料行业同仁参照执行。

(2025年11月6日中腐协秘书处供稿)