



贺泽霖,贾也纯,薛林,等.作物种子处理技术的研究现状与展望[J].黑龙江农业科学,2021(9):116-122.

# 作物种子处理技术的研究现状与展望

贺泽霖,贾也纯,薛林,倪洪涛

(黑龙江大学 现代农业与生态环境学院,黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要:**种子处理是种业现代化水平的重要标志。为提高种子发芽率,增加出苗整齐度,提高作物产量和品质,从而促进我国农业生产标准化,本研究归纳了种子处理的优缺点,总结了种子处理的方法,分析了我国与国外的种子处理差距,建议今后应该加强替代化学方法处理种子的技术研究;大力发展专用型种子处理技术;进一步研究自然条件下种子侵染程度与病害发展之间的关系;提高农民对种子处理的认识。

**关键词:**种子处理技术;发芽率;种子活力

种子处理是指在播种前使用生物、物理、化学方法来抑制致病菌、害虫对种子、幼苗或植株的伤害。种子处理范围包括基本的包衣和丸粒的加工<sup>[1]</sup>。种子处理防治病虫害始于古埃及和罗马时期,中国最早在汉代开始应用<sup>[2]</sup>。1740—1808年砒霜的引入和禁用及1915—1982年汞的引入和禁用是现代种子处理技术中的重要事件。20世纪60年代出现第一个内吸性杀菌剂,70年代,第一个可以防治气传病原菌的内吸性杀菌剂出现;90年代,新型现代杀菌剂和杀虫剂的系列产品诞生<sup>[3]</sup>。种子处理既环保又经济实用,是实现种子商品化的主要技术手段,种子处理技术的普及与应用反映了种业的现代化水平,具有重要的经济意义<sup>[4]</sup>。在美国、中国和印度等国家,吡虫啉和噻虫嗪等类杀虫剂广泛用于玉米和小麦等作物;随着人们对可持续农业认识的不断提高,对种子处理的需求也有所增加,随着中国现代化农业的快速发展,种子处理越发受到农民的青睐<sup>[5]</sup>。目前,世界种子处理技术发展很快,种子处理技术一直在不断地完善,本研究通过查阅大量文献归纳了种子处理的优缺点,总结了种子处理的方法,并为提高种子处理质量,确保作物高产、优质及农业可持续发展提供了可行性建议。

## 1 种子处理的优缺点

### 1.1 种子处理的优点

种传病害及种苗早期病虫害对作物生产造成

了严重危害。轮作、混作、调整播期、休耕制、夏季绿肥堆肥等传统的防治植物病原菌的方法已逐渐被淘汰<sup>[6]</sup>。土壤/叶面应用的化学防治具有成本高、选择性强、影响目标生物、增强害虫抗性、害虫复活、增加食物和饲料的污染、危害健康、对人畜有毒性和环境污染等局限性<sup>[7]</sup>。抗病虫植物基因工程育种尽管取得了巨大的进步,但其发展速度非常缓慢,且成本高<sup>[6]</sup>。与传统植保技术相比,种子处理可降低成本、减少应用次数和节省时间;与常规的喷雾、喷粉和土壤处理以及现代抗病虫植物基因工程技术相比,种子处理技术最经济、最有效<sup>[8]</sup>。种子的生理活力是提高种子发芽率、增加出苗整齐度,促进作物茁壮成长的最基本条件,种子处理在提升种子活力、防治病虫害、提高作物产量等方面发挥至关重要的作用<sup>[9-10]</sup>。

种子处理的优点主要表现在以下4个方面:

(1)种子处理能有效防治作物苗期病虫害。

种子是土壤微生物(真菌、细菌、病毒等)和土壤昆虫的食物来源,通常种子或植株发病主要表现在种子在发芽前腐烂,幼苗近地面茎组织立枯病、软腐病及水浸渍,在苗叶片尖端开始变灰色,并迅速扩展到全叶,24~48 h使幼苗彻底崩溃;根部腐烂脱皮等<sup>[11]</sup>。种子处理能够防治由土壤和种子传播的病原菌引起的病害,防治作物苗期病虫害<sup>[12]</sup>。

(2)种子处理能保护环境,降低成本。种子处理可以减少化学物质对环境的副作用,使更多的化学药品得到替代。此外,经处理过的种子各方面的品质特性都能得到相对地提高,种子所需药品的初始接种量就会相应减少,随着效果的增强以及化学药品应用率的降低,不存在活性成分在

收稿日期:2021-05-20

基金项目:国家糖料现代农业产业技术体系岗位专项基金“甜菜高品质品种改良”(CARS-170111)。

第一作者:贺泽霖(1996—),女,在读硕士,从事资源利用与植物保护研究。E-mail:1051490285@qq.com。

通信作者:倪洪涛(1966—),女,硕士,副教授,从事作物遗传育种与分子育种研究。E-mail:1303589054@qq.com。

陆地表面的漂移问题,从而降低了病害的防控成本。

(3)种子处理可以打破种子的休眠状态,促进发芽。贮藏期间的种子活力降低,通过种子处理可使种子活力得到一定程度的恢复<sup>[13]</sup>。

(4)种子处理可激活植物种子内源物质,增强作物抗逆性,提高作物产量<sup>[14]</sup>。

## 1.2 种子处理的缺点

种子处理有诸多的优势,也存在一定的缺点:(1)农药粉尘飘移及加工后的废弃物污染环境、直接伤害蜜蜂等有益生物,对人类也会有一定影响;(2)降解慢的农药会残留于植物、土壤、水体中,将会对生物体产生危害;(3)部分农药及配料对种子产生的不良影响尚未认识清楚;(4)种子处理不当可能造成种子机械或其他损伤。

## 2 种子处理方法

随着新技术的不断出现,种子处理的方法有很多种。不管何种方法都需要满足以下条件:(1)作用效果持续有效;(2)对使用者安全;(3)对植物无毒害;(4)对野生植物或动物安全;(5)对所使用的其他组分无拮抗作用;(6)有害物质不会残留在植物和土壤中;(7)无论化学物质还是生物制剂,在种子表面长期吸附<sup>[14]</sup>。

### 2.1 物理方法

随着环保意识的增加,应用热力、冷冻、电磁波、超声波、辐射、激光等物理方法处理农作物种子已被越来越多地应用于农业生产中<sup>[15-17]</sup>。

2.1.1 晒种 在播种前 7 d,选择晴朗天气让种子在阳光下暴晒 1~2 d,从而激发种子内部的酶活性,并适度增强种子表皮的透气性,促进种子呼吸,提高种子发芽势,同时可在一定程度杀灭表皮病菌,成本低且相对有效<sup>[18]</sup>。

2.1.2 机械磨损法 将种子种皮进行适度的磨损,促进空气和水份进入种子,以促进种子发芽。

2.1.3 热处理法 有效杀菌的温度与种子可能受伤害的温度存在一定的差距,热处理是利用这种温度差选择性杀菌而不损伤种子的方法<sup>[4]</sup>。热处理法分为热水处理,干热处理和热气处理。19 世纪 90 年代,在种子杀菌剂发明和使用前,热处理法是杀灭种子深层寄生菌和寄生虫的唯一有效方法<sup>[19]</sup>。

(1)热水(油)处理。热水处理是通过使用足以杀死微生物但不足以杀死种子的温度来控制种

子病害,包括温汤浸种和热水烫种两种方法。此法虽然古老,但与化学处理相比,仍然是一种更为环保的有效清除病原体的标准方法。但是热水处理容易导致种子生活力丧失<sup>[20]</sup>。常用于番茄、茄子、甜椒、黄瓜等种皮较厚的蔬菜种子处理。在热水处理之前,先将种子放多孔袋置于温水浴,在 20 ℃ 水中浸泡 10 min。处理时间必须精确且小心地完成。比推荐的温度或低或热几度都可能无法控制疾病或杀死种子。处理后,将种子袋置于冷水中后停止加热,一旦种子已冷却,撒在薄纸巾上干燥<sup>[2]</sup>。此外,还可以用热的菜籽油处理大豆种子,可以抑制 *Phomopsis longicolla* 病菌的侵染,但通常会降低发芽率<sup>[21]</sup>。

(2)干热处理。高温处理干种子,对多种种传病毒、细菌和真菌都有防治效果。韩国、日本和其他一些国家已将干热处理广泛应用于蔬菜种子处理。干热处理期 65 ℃,4~7 d 或高达 70 ℃ 减少 4 d,能根除羽扇豆种子的炭疽感染<sup>[22]</sup>。辣椒种子在 70 ℃ 下处理后,平均发芽率可以达到 89.76%<sup>[23]</sup>。孟淑春等<sup>[24]</sup>将 10 kg 笋玉米、豇豆等 4 种蔬菜种子以 50 ℃ 加热超干燥。结果表明,适度超干后种子活力与对照相似甚至高于对照。

(3)热气处理。热水处理法处理成本高但精度低,往往导致处理效果不完全和发芽率降低。因此,在 19 世纪 60 年代谷物的种子处理就不再采用热水处理方式,而采用廉价高效的化学品处理种子。19 世纪末,人们发现各种热水和热湿气处理可净化种子传播的病原体。热、湿润、通风或“气蒸”处理能够避免热水处理方法的不足,并且能够实现大规模种子消毒。气热处理种子使小麦复合侵染的壳针孢(*Septoria nodorum*)、镰刀菌(*Fusarium* spp.)和腥黑穗病(*Tilletia caries*),大麦复合侵染的大麦网斑内脐蠕孢(*Drechslera teres*)和蠕孢菌(*Bipolaris sorokiniana*),麦长管蚜(*Sitobion avenae*)和燕麦散黑粉菌(*Ustilago avenae*)复合侵染燕麦得到成功控制<sup>[25]</sup>。商业应用中气蒸法已应用在处理半边莲种子对链格孢菌侵染、处理甘蔗宿根矮化病及其他漂移传播(sett-borne)侵染。

2.1.4 低温和冷冻处理法 将种子清洗干净后浸种至规定时间,沥干水分后置于低温环境下,需发芽时取出进行催芽,种子经过低温处理后,能够打破休眠,促进发芽<sup>[2]</sup>。

2.1.5 磁化处理 种子磁化处理包括磁场处理和磁化水浸种处理两种方式。农作物种子的内源物质可通过电磁场处理技术进行激活,处理后的种子,可溶性蛋白质、淀粉、核酸等种子内部的生理活性物质会发生显著变化,致使种子加快速度萌发<sup>[26]</sup>。目前,许多研究表明,磁场处理种子可以明显提高种子发芽势和发芽率<sup>[27-28]</sup>。张玲慧等<sup>[29]</sup>研究表明,采用 20.9 和 42.5 mT 两个不同磁处理紫苏种子,发现种子活力及种子内过氧化物酶、硝酸还原酶的活性差异显著。电磁场处理对作物的产量也会产生影响。

2.1.6 超声波处理 超声波处理是利用超声波所产生的猛烈振动,使种子生理活性和物理性能发生变化,加速植物细胞内部物质的氧化、还原、分解和合成,从而达到比常规作物种子发芽率高、生长速度快、作物产量高的效果<sup>[1]</sup>。目前,超声波处理种子的研究有限,赵艳等<sup>[30]</sup>研究表明,利用 40 kHz、1 000 W 的超声波处理黔油 18 油菜种子 20 min,种子的萌发率和幼苗生长最佳。

2.1.7 辐射处理 不同类型的电磁辐射(如  $\gamma$  射线、高能电子、微波和紫外辐射)已被用来作为种子微生物感染的处理剂<sup>[31]</sup>。 $\gamma$  射线用于各种植物产品的微生物灭活与害虫控制。 $\gamma$  射线在非有害的剂量水平(0.10~0.50 kGy)照射降低了 4 个水稻品种种子的微生物侵染程度,种子经 0.10 kGy 的照射发芽率最高,同时其根的生长需由低剂量的  $\gamma$  射线刺激<sup>[32]</sup>。甜叶菊经  $\gamma$  射线急性辐照 LD<sub>50</sub> 是 29 Gy,慢性辐照 LD<sub>50</sub> 是 45 Gy<sup>[33]</sup>。

2.1.8 激光处理 利用激光处理可提高种子的发芽率、可溶性糖、可溶性蛋白质和游离氨基酸的含量<sup>[34]</sup>。由于激光束窄、而种子整个表面应均匀地暴露才有良好的效果,所以激光处理虽已被证实有效,但其实用性仍是有限的。有许多工作仍需要提供控制种子病菌的潜在科学证据,特别是真菌<sup>[2]</sup>。此外,与单因素处理相比,将激光处理和  $\gamma$  射线处理相结合,使作物种子光合强度得到提高的同时幼苗也会生长更好。低强度的激光照射可以控制玉米种子病害传播。

2.1.9 等离子体处理 等离子体处理种子是通过激活种子内源物质,从而提高种子发芽率、作物抗逆性和产量的新兴种子处理技术<sup>[9]</sup>。该处理技术比生物制剂和化学制剂成本低,并且对环境无

污染,增产、增收效果明显,还能促进果实提早成熟<sup>[20,35]</sup>。

2.1.10 高压静电场处理 电场处理种子是指通过模拟大自然的电场效应,增加种皮透性,提高 CAT、SOD 等多种酶的活性,打破种子休眠,加速种子萌发<sup>[36-37]</sup>。用高压电场处理种子取得了较好应用效果。吴旭红等<sup>[38]</sup>对南瓜种子进行不同电场强度处理试验,种子发芽率提高了 3.2%~9.7%,电解质外渗率、呼吸强度均有不同程度的改善,提高种子对营养物质的吸收和转化利用,可溶性蛋白的含量明显提高。

2.1.11 纳米处理 纳米材料是一种由基本颗粒组成的粉状或团块状天然或人工材料,其尺寸小于 100 nm<sup>[39]</sup>。利用浸泡过纳米涂片的水进行浸种发现,纳米涂片增强水的活性,提高水的能量,增加水的溶解力、提高水的细胞生物通透性,促进了种子代谢,从而促进种子萌发<sup>[40-41]</sup>。谢寅峰等<sup>[42]</sup>研究表明,纳米材料渗透到种子中,增加了种子对水分和其他物质的摄入,从而促进了种子的发芽率。用不同浓度的纳米 TiO<sub>2</sub> 溶液浸泡种子,李艳娟等<sup>[43]</sup>研究表明,随着溶液浓度增加,对杉木种子活力的促进作用均呈现先增强后减弱的趋势,最适浓度为 100 mg·L<sup>-1</sup>。

2.1.12 催芽处理 播前需对种子进行前期处理,促进种子吸收水分,保证种子发芽率<sup>[44]</sup>。目前常用催芽方法分为 3 种:水浸催芽、层积沙藏催芽以及层积催芽法<sup>[44]</sup>。

(1)水浸催芽法。使用充分水分,刺激种子解除休眠,操作简便且成本较低。根据不同种子特性制定不同处理温度和水量,每 12~24 h 换水 1 次,浸泡至无色,至胚芽超出 1/3 时可进行备播。

(2)层积沙藏催芽法。在种子的底部和上方各铺一层沙,过冬后,待到种仁萌动后再进行种植。

(3)层积催芽法。将种子与湿润物如河沙、泥炭、锯末等混合或分层放置,以增强氧化酶、水解酶的活性,使胚的敏感性降低,对于解决由于内源抑制物、未完成成熟过程而导致种子休眠问题极为有效<sup>[44]</sup>。

## 2.2 化学方法处理

化学方法处理种子主要是利用化学试剂、杀菌剂、杀虫剂或植物生长调节物质控制种子生长

发育,由于其具有时间短、见效快的优点,目前在国内外应用最为普遍。但一些化学处理种子方法可能对种子产生伤害,对于植物、土壤、水体可能会产生不良影响<sup>[9]</sup>。

**2.2.1 浸种处理** 浸种处理是将种子放在一定浓度药液中浸泡一段时间后取出、晾干再进行播种,从而消灭种子表面和内部所带病原菌或害虫的处理方法<sup>[4]</sup>。现在浸种处理技术已成功应用于番茄<sup>[45]</sup>、甜椒<sup>[46]</sup>和小麦<sup>[47]</sup>等。

(1)杀菌剂浸种或拌种。常规杀菌剂浸种或拌种是一种非选择性的处理方法,用于控制种传真菌。但杀菌剂拌种对细菌没有效果,浸种 24 h 后需干燥 6~12 h。

(2)抗生素浸种。抗生素浸种可控制种子带菌,抗生素仅应用于种子表面并没有充分渗透,可有效消除位于种皮组织内的细菌。值得注意的是链霉素浸泡的种子会产生药害,通常会导致子叶漂白和幼苗萎缩。

(3)无机化学药品浸种。种子播种前可利用无机化学药品浸种,可浸泡在含有氯化钙、硫酸锌、硫酸钴、氯化钴、硫酸钾、硫酸氢钾、硫酸铜、钼酸钠、硼酸、硫酸锰等矿物质的水中。谭玲玲等<sup>[48]</sup>用不同质量浓度、不同浸种时间的  $\text{KNO}_3$  处理桔梗种子发现,采用  $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$   $\text{KNO}_3$  对桔梗种子浸种处理 12 h 可以促进桔梗种子萌发和幼苗生长。

(4)生长调节剂浸种。用抗坏血酸、激动素、苄基腺嘌呤、赤霉素、矮壮素等生长调节剂浸泡种子。单独或组合使用可提高发芽率、幼苗活力和作物产量,提高对水和盐胁迫的抗性<sup>[49-50]</sup>。邹峻竹等<sup>[51]</sup>研究表明赤霉素浸种可以有效增强野牛草种子发芽力,并且随着赤霉素浓度的增加,其作用效果呈增强趋势。

**2.2.2 熏种法** 熏种法是将少量且浓度高的药液喷于种子上,充分混匀后用麻袋等包裹、覆盖 1~2 d,用药液挥发出的气体杀灭种子上的病原微生物的方法<sup>[37]</sup>。

### 2.3 种子包衣及丸粒化

种子包衣是将种子与特制的种衣药剂按一定比例混合均匀,在种子表面涂上一层均匀的药膜,形成的包衣种子基本保持原来种子的形状<sup>[52]</sup>。种衣剂中含有杀虫剂、杀菌剂、微量元素和植物生长试剂(如细胞分裂素、乙烯利等),能综合防治苗

期病虫害,并补充营养,达到苗全、苗壮的目的<sup>[53]</sup>。较高的安全性使包衣技术在农业上的应用较为广泛,特别适用于玉米、棉花、大豆等大中粒种子<sup>[52]</sup>。早在 20 世纪 80 年代,发达国家就基本实现种子包衣,促进了种子包衣的迅速商业化<sup>[54]</sup>。含水量低的多数豆类和棉花种子播种在寒冷、潮湿的土壤因快速吸水导致种子受到吸胀冷害,若在  $55^\circ\text{C}$  时将种子进行包衣,丙酮和羊毛脂作为包衣成分,则种子吸水降低,出苗效果比非包衣种子好<sup>[55]</sup>。在缺氧或接近缺氧的土壤条件下,将过氧化物作为包衣成分可为种子提供氧气,在水稻种子表面涂氧化钙并在淹水条件下进行播种效果较好<sup>[2]</sup>。种子丸粒化可以实现机械化精量播种,常做成在大小和形状上没有明显差异的球形单粒种子,此方法主要适用小粒作物的种子<sup>[56]</sup>。丸化种子的优势在于可保护种子不受土壤过量水分的浸泡伤害,也有助于在水分稀少时使土壤水分增加。

### 2.4 种子引发

种子引发也被称为渗透调节物处理,处理方法主要有水引发、渗透引发和固体基质引发<sup>[18]</sup>。其原理是控制种子的吸水作用至一定水平,即允许种子处在细胞膜、细胞器、DNA 的修复,酶活化准备发芽的代谢作用进行,需要控制种子缓慢吸水使其停留在萌发吸胀的第二阶段,以防胚根的伸出<sup>[57]</sup>。固体基质引发(SMP)是种子引发的高级形式,即种子与固体材料和水按照已知比例混合。生物保护剂和化学杀虫剂可共用于 SMP,这些材料以悬浮液可先添加到种子中,然后加入固体颗粒和水。目前,种子引发技术在许多粮食作物、蔬菜作物、观赏作物和牧草植物中都得到了应用。大量的研究表明,种子引发在低温或高温下可加速种子发芽、提高出苗的一致性、增加产量和免除吸胀冷害的发生。杨小环等<sup>[58]</sup>通过研究发现引发处理可减轻盐胁迫对幼苗的伤害,促进幼苗生长,提高其耐盐性。常瑶等<sup>[59]</sup>研究表明,用聚乙二醇(PEG)引发处理种子,可促进种子萌发,显著增加幼苗的 SOD、POD、CAT 活性,增强幼苗的抗逆能力。丁燕等<sup>[60]</sup>模拟干旱胁迫处理,用不同浓度 PEG 处理 3 种黑豆种子,结果表明,随着处理浓度增加,种子活力下降。这与幸福梅等<sup>[61]</sup>研究 PEG 胁迫处理对巨柏种子萌发的结论一致。此外,幸福梅等<sup>[61]</sup>用赤霉素( $\text{GA}_3$ )处理巨

柏种子,由于赤霉素增加种皮的通透性,激活种子内部酶的活性,使种子发芽率和发芽势都不同程度提高。

## 2.5 生理处理

生理处理包括液体钻孔或凝胶播种,是将发芽的种子置于凝胶液中直到其胚根出现。将种子在粘稠的凝胶中混合,然后用适当的播种机播种。凝胶能保护播种的种子直到胚根出现时都不受损伤且保持种子的水分<sup>[2]</sup>。液体钻孔的优势:种子的处理方式类似于常规种子,种子加工过程可由种子公司完成。局限性:(1)在种植前需要在农场操作;(2)需要专门的种植设备或改良现有设备播种发芽种子;(3)种植者需花费额外费用且准备种子所需额外的时间、精力和设备。

## 2.6 生物学种子处理

生物学种子处理是运用可再生资源 and 含可自然萌发的相关活性成分,如可利用有益微生物来预防土传病原菌、缓解非生物胁迫、进而促进植物的生长。选择合适的應用方法是生物种子处理的一个重要标准。可将细菌和真菌的生物制剂薄膜包衣应用于种子,许多丸粒化的种子内部都含有真菌的生物制剂。也可以将含有真菌孢子的水性粘合剂喷在种子上,然后固体颗粒材料沉积成双层,缓慢释放生物保护剂。在生防微生物类群中,放线菌作为微生物代谢产物中具有生物活性物质的主要产生菌,具有很大开发应用前景<sup>[62]</sup>。豆科种子的固氮多用 *Rhizobium* spp. 进行处理,固氮螺菌属(*Azospirillum*)和其他固氮菌也正在用于此类研究<sup>[63-64]</sup>。一定程度上一些生防菌已实现了大规模生产、大田测试和注册的最后阶段,然而微生物制剂、质量控制、配送系统和注册成本会推迟生物引发的商业应用<sup>[65]</sup>。

## 3 种子处理技术展望

由于人们对减少农药用量的呼声不断增加,害虫综合管理方法逐渐受到人们的关注。种子处理产品因其良好的表现受到种植者广泛的青睐。预计种子处理市场将从2016年的61亿美元增长到2022年的113亿美元,在预测期内的复合年增长率(CAGR)为10.8%<sup>[66]</sup>。目前,良种对发达国家农业生产的贡献率约为60%,而我国为40%左右<sup>[67]</sup>。因此,在我国繁育良种和种子处理对提高作物产量和品质有很大的发展潜力<sup>[37]</sup>。研究新的种子处理技术是全球作物保护市场增长最快的

领域之一。今后,建议在加强物理技术及包衣设备研制的同时,加强以下几方面研究:

第一,加强替代化学方法处理种子的技术研究。考虑到农药对环境的影响,科学家们已开发出了干燥、热水和辐射等物理方法处理种子或使用天然作物保护剂/微生物菌剂可以替代化学方法处理种子。未来应该更侧重于用先进的物理方法(微波、超声,臭氧处理、纳米等)和生理处理(种子涂料、液体钻孔等)替代化学方法处理种子。同时,加强种子处理组合物的开发,作为传统的广泛喷雾农药的替换。

第二,大力发展专用型种子处理技术。针对不同作物、不同地区的不同病害使用杀菌剂处理种子或者使用带有推荐化学品的种子,大力发展专用型种子处理技术,并在进行种传病害的测试时,种子处理可仅针对于受感染的部分,减少处理所需要的化学药品数量。拜耳和先正达等生产商一直在区域水平上根据作物生长状况研发生物种子处理产品。如拜耳公司种子处理产品 VOTiVO 可有效减少线虫的影响。2014 年先正达开发一种防治大豆胞囊线虫的种子处理产品,该产品是一个细菌孢子,它会附着在线虫体内最终导致线虫死亡<sup>[68]</sup>。此外,大力发展利用高分子吸水剂包衣来提高种子抗旱、耐寒能力等技术。预计这类定制服务将在未来五年使得商业化种子市场得到大力发展<sup>[66]</sup>。

第三,进一步研究自然条件下种子侵染程度与疾病发展之间的关系。为了尽量减少疾病的风险阈值水平必须要考虑到种子播种的环境条件再进行开发。

第四,提高农民对种子处理的認識。欧美等农业发达国家种子处理意识强,种子全部进行相应处理,特别重视处理种子技术的开发创新及知识产权的保护,近年来有越来越多的新种子处理产品问世。如拜耳作物科学提供古斯塔夫种子处理机使农民能够进一步了解并受益于先进的种子处理技术。然而,印度、中国等国家平均80%的种子是未经处理的,许多农民不了解或无法采取这种优良的种子处理技术。种子处理水平也与美、日等发达国家相差甚远,严重影响作物产量的提高及农产品安全。未来实现农药零增长,应大力推广种子处理技术,将种子处理技术列入统防统治和绿色防控项目来实施。各地要通过加强宣

传引导和培训,开展试验示范,加大政策扶持等措施来大力推进水稻种子处理技术<sup>[69]</sup>。

因此,今后我国需要有效的推广策略,使农民们清楚种子处理的作用及方法,通过有效的种子处理技术来提高作物产量,与此同时保障食品安全和环境安全。

## 参考文献:

- [1] SHARMA K K, SINGH U S, SHARMA P, et al. Seed treatments for sustainable agriculture-A review[J]. *Journal of Applied and Natural Science*, 2015, 7(1): 521-539.
- [2] 赵跟, 沈毅, 陈丽萍, 等. 蔬菜种子处理技术研究进展[J]. *农业科技通讯*, 2013(12): 244-246.
- [3] 毛连纲, 颜冬冬, 吴篆芳, 等. 种子处理技术研究进展[J]. *中国蔬菜*, 2013(10): 9-15.
- [4] 唐浩, 李军民. 世界种业的发展模式与借鉴[J]. *种业导刊*, 2010(11): 5-9.
- [5] 屈春勇. 蔬菜种子处理技术研究进展[J]. *河南农业*, 2019(5): 14-15.
- [6] PARVATHA R P. Recent advances in crop protection[M]. Springer Berlin, 2013.
- [7] RAHMAN M M E, ALI M E, ALI M S, et al. Hot water thermal treatment for controlling seed-borne mycoflora of maize[J]. *Crop Production*, 2008, 3(5): 5-9.
- [8] 马兴华. 蔬菜种子处理技术[J]. *上海蔬菜*, 1997(4): 18-19.
- [9] 刘山, 欧阳西荣, 聂荣邦. 物理方法在作物种子处理中的应用现状与发展趋势[J]. *作物研究*, 2007(b12): 520-524.
- [10] 孙崇勇. 试述园艺植物种子处理技术研究进展[J]. *现代园艺*, 2017(5): 32.
- [11] 赵玉梅. 如何种好菜用玉米[J]. *吉林农业月刊*, 2011(20): 87-87.
- [12] 罗兴忠, 黄必华, 李为民, 等. 玉米制种病虫害趋重的原因及防治对策[J]. *农学学报*, 2008(7): 52.
- [13] 刘景堂. 有效提高种子活力处理技术的研究[J]. *乡村科技*, 2014(6): 24-25.
- [14] 邹吉承, 赵海岩, 王辉, 等. 种子处理技术的应用与发展[J]. *种子*, 2004, 23(9): 49-54.
- [15] 刘山, 欧阳西荣, 聂荣邦. 物理方法在作物种子处理中的应用现状与发展趋势[J]. *作物研究*, 2007, 21(5): 520-524.
- [16] 张静, 胡立勇. 农作物种子处理方法研究进展[J]. *华中农业大学学报*, 2012(4): 258-264.
- [17] 王敏, 付蓉, 赵秋菊, 等. 种子物理处理技术研究进展[J]. *作物杂志*, 2008(6): 102-106.
- [18] 吴成超. 浅谈科学加工处理种子的技术办法[J]. *中国设备工程*, 2020(21): 24-25.
- [19] LEHMANN-DANZIGER H. Comparison of thermal and chemical treatment of cotton seed to control bacterial blight[J]. *Phytopathology*, 1994, 134: 103-109.
- [20] MANCINI V, ROMANAZZI G. Seed treatments to control seedborne fungal pathogens of vegetable crops[J]. *Pest Management Science*, 2014, 70(6): 860-868.
- [21] PYNDJI M M, SINCLAIR J B, SINGH T. Soybean seed thermotherapy with heated vegetable oils[J]. *Plant Disease*, 1987, 71(3): 213-216.
- [22] THOMAS G J, ADCOCK K G. Exposure to dry heat reduces anthracnose infection of lupin seed[J]. *Australasian Plant Pathology*, 2004, 33(4): 537-540.
- [23] 李颖, 翟英芬, 王得元, 等. 辣椒种子干热消毒处理对发芽率的影响[J]. *长江蔬菜*, 2007(3): 60.
- [24] 孟淑春, 张海英, 刘庞源. 大量资源种子加热超干燥的效应研究[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(9): 301-304.
- [25] FORSBERG G, ANDERSSON S, JOHNSON L. Evaluation of hot, humid air seed treatment in thin layers and fluidized beds for seed pathogen sanitation[J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2002, 109: 357-370.
- [26] 朱杰, 郭连红, 王国栋. 物理农业技术在现代农业基础科学与工程研究中的应用[J]. *大学物理*, 2008, 27(7): 45-49.
- [27] 殷涌光, 迟燕平, 李婷婷. 高压脉冲电场对辣椒陈种子萌发的影响[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(3): 82-85.
- [28] 崔路路, 于海霞, 李景富, 等. 磁场处理对结球甘蓝种子活力及萌发进程的影响[J]. *北方园艺*, 2014(2): 20-23.
- [29] 张玲慧, 史华平, 王计平. 磁场处理对紫苏种子萌发的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(30): 64-68.
- [30] 赵艳, 杨青松, 王莹, 等. 不同时间超声波处理对油菜种子萌发的影响[J]. *种子*, 2012, 31(10): 90-92.
- [31] ALADJADJIYAN A. Effect of microwave irradiation on seeds of lentils (*lens culinaris*, med.) [J]. *Romanian Journal of Biophysics*, 2010, 20(3): 213-221.
- [32] SINGH M T, SINGH M S. Effect of gamma irradiation on seed micoflora seed germination and seedling growth of rice[J]. *Oryza*, 2005, 42(2): 129-132.
- [33] 张正鹏. 甜叶菊物理诱变育种的发展[J]. *中国糖料*, 2017, 39(5): 61-64.
- [34] 陈怀军, 吴俊林. 激光处理植物种子产生的效应概述[J]. *现代生物医学进展*, 2008(3): 587-589.
- [35] 庄乃生. 等离子体种子处理技术在吉林省试验示范效果显著[J]. *农机科技推广*, 2006(2): 33-34.
- [36] 常瑶, 焦乐. 园艺植物种子处理技术研究进展[J]. *种子*, 2016, 35(1): 48-50.
- [37] 沈颖, 黄智文, 田永红. 蔬菜种子处理技术研究进展[J]. *中国种业*, 2016(2): 11-13.
- [38] 吴旭红, 孙为, 张红燕. 静电场对植物的生物学效应[J]. *黑龙江农业科学*, 2005(2): 44-45.
- [39] 周述波, 贺立静, 贺立红. 纳米材料处理水对糯玉米生长及其生理变化的影响[J]. *玉米科学*, 2010, 18(1): 87-89, 95.
- [40] 吴文林, 毛艳辉, 梁玉霞, 等. 纳米材料对辣椒种子萌发的作用参数[J]. *黑龙江农业科学*, 2012(2): 54-56.
- [41] 刘安勋, 曹玉江, 廖宗文, 等. 纳米产品对玉米生长发育的影响[J]. *纳米科技*, 2006(2): 21-25.
- [42] 谢寅峰, 姚晓华. 纳米 TiO<sub>2</sub> 对油松种子萌发及幼苗生长生理的影响[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(10): 2013-2018.
- [43] 李艳娟, 庄正, 刘青青, 等. 纳米 TiO<sub>2</sub> 对杉木种子萌发和幼苗生长及生理的影响[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(5): 1259-1264.
- [44] 王莺. 常见林木种子处理技术[J]. *现代农业科技*,

- 2020(11):145-146.
- [45] 张建委. 一种改善番茄品质的种子处理方法: CN109041634A[P]. 2018-12-21.
- [46] 李章军. 不同浸种条件对甜椒种子发芽的影响[J]. 今日农业, 2019(7):11-12.
- [47] 朱修伍. 一种提高小麦籽粒品质的种子处理方法: CN109168403A[P]. 2019-01-11.
- [48] 谭玲玲, 胡正海. 不同浸种处理对桔梗种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中草药, 2013(4):468-472.
- [49] MARIAPPAN N, SRIMATHI P, SUNDARAMOORTHY L, et al. Influence of seed fortification treatment with inorganic nutrients in *Jatropha curcas* (L.) [J]. Journal of Energy Bioscience, 2013, 4(1): 1-6.
- [50] KRISHNAVENI K, SEKAR I, ARULRAJAN P, et al. Influence of seed fortification treatment with inorganic nutrients and growth regulators on seed and seedling quality characteristics in bamboo (*Bambusa bambosa*) [J]. Indian Forester, 2010, 136(8):1006-1012.
- [51] 邹竣竹, 韩蕾, 李德颖, 等. 赤霉素和生长素浸种对野牛草种子萌发及幼苗生长生理的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(9):1838-1846.
- [52] 崔华威, 马文广. 种子包衣剂及包衣方法研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 34(1):48-52.
- [53] 杨慧民, 闫树成. 我国蔬菜种子包衣技术的研究现状及展望[J]. 河北农业科学, 2010, 14(12):29-31.
- [54] 中国农业信息网. 国内外种子加工技术发展比较分析[J]. 种业导刊, 2010(1):7-9.
- [55] WILLENBORG C J, GULDEN R H, JOHNSON E N, et al. Germination characteristics of polymer-coated canola (*Brassica napus* L.) seeds subjected to moisture stress at different temperatures [J]. Agronomy Journal, 2004, 96(3): 125-137.
- [56] 李明, 姚东伟, 陈利明. 我国种子丸粒化加工技术现状[J]. 上海农业学报, 2004, 20(3):73-77.
- [57] 马文广, 郑昀晔, 李永平. 种子引发与催芽包衣丸化技术在我国烟叶生产中的应用[J]. 浙江农业科学, 2011(1): 211-215.
- [58] 杨小环, 马金虎, 郭数进, 等. 种子引发对盐胁迫下高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1):103-109.
- [59] 常瑶, 李明姚, 东伟. PEG 引发对不结球白菜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2012, 31(9):21-25.
- [60] 丁燕, 呼凤兰, 薛珍珍. 聚乙二醇模拟干旱胁迫对黑豆种子萌发影响的研究[J]. 种子, 2017, 36(11):95-99.
- [61] 幸福梅, 任世强, 普布次仁. 不同处理方法对巨柏种子萌发的影响[J]. 种子, 2017, 36(11):1-3.
- [62] 王靖. 十字花科作物根肿病生防放线菌研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2011.
- [63] JENSEN B, KNUDSEN I M B, MADSEN M, et al. Biopriming of infected carrot seeds with an antagonist, *Clonostachys rosea*, selected for control of seed borne *Alternaria* spp [J]. Phytopathology, 2004, 94 (6): 551-560.
- [64] JENSEN B, JENSEN D F, NIELSEN G C, et al. Biological seed treatment to control seed borne diseases in wheat [J]. DJF Rapport, Markbrug, 2001(49):51-56.
- [65] MOEINZADEH A, SHARIF-ZADEH F, AHMADZADEH M, et al. Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth [J]. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(7):564-570.
- [66] 世界农化网. 2022 年种子处理市场将达 113 亿美元! 年增长率达 10.8% [EB/OL]. 2020-01-03. <https://new.qq.com/omn/20200103/20200103A0I9IE00.html>, 2020-01-03.
- [67] 张海军, 杨荣超, 郑禾, 等. 蔬菜种子加工处理技术研究 [J]. 种子, 2011, 30(6):50-55.
- [68] 余露. 先正达新型生物杀线虫剂将于 2014 年上市 [J]. 农药市场信息, 2013(14):52.
- [69] 郑庆伟. 湖南省召开水稻种子处理技术与应用经验交流会 [J]. 农药市场信息, 2016(17):60.

## Research Progress and Prospect in Treatment Technology of Crop Seeds

HE Ze-lin, JIA Ye-chun, XUE Lin, NI Hong-tao

(Academy of Modern Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Seed treatment is an important symbol of the modernization level of seed industry. In order to improve seed germination rate, increase neatness of seedling emergence, improve crop yield and quality, and thus promote standardization of agricultural production in China, this study summarized the advantages and disadvantages of seed treatment, and the methods of seed treatment, analyzed the gap between seed treatment in China and foreign countries, and suggested that future technological research on alternative chemical methods of seed treatment should be strengthened; vigorously develop specialized seed treatment technologies; further study the relationship between the degree of seed infestation and disease development under natural conditions; and improve farmers' awareness of seed treatment.

**Keywords:** seed treatment technology; germination rate; seed vigor