

DOI: 10.11686/cyxb2024292

http://cyxb.magtech.com.cn

宁小静, 任秋洁, 王丽娟, 等. 不同丸化种衣剂配方对酿酒高粱出苗及生长的影响. 草业学报, 2025, 34(6): 70—84.

NING Xiao-jing, REN Qiu-jie, WANG Li-juan, et al. Effects of different pelleted seed coating formulations on seed germination and seedling growth of three brewing sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(6): 70—84.

不同丸化种衣剂配方对酿酒高粱出苗及生长的影响

宁小静¹, 任秋洁¹, 王丽娟¹, 贾小琳¹, 石孝均^{1,2,3}, 王洁^{1,2,3*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 国家农业科学北碚观测实验站, 重庆 400716; 3. 合川土壤质量与生态环境重庆市野外科学观测研究站, 重庆 401557)

摘要:为筛选西南地区典型酿酒高粱品种最适丸化种衣剂配方,降低直播高粱病虫害和干旱胁迫,实现精量化播种与高质成苗,以金糯梁9号、泸糯8号、红缨子为试验材料,采用不同助剂(阿拉伯胶和硅藻土、丸粒化粉和硅藻土)、生物活性物质(杀菌剂戊唑醇、杀虫剂溴氰虫酰胺、植物生长调节剂芸苔素内酯)和功能材料(海藻酸、保水剂高吸水性树脂)对种子进行丸粒化处理,通过室内发芽试验和穴盘播种试验,探究不同配方对酿酒高粱种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明,使用硅藻土为填充剂,15%的阿拉伯胶溶液为粘结剂在丸化粒径为5 mm时对3个品种高粱种子的发芽情况影响较小,丸化种子崩解时间短,有较高的单籽率和有籽率,质量最佳;种衣剂中生物活性物质选择杀菌剂:杀虫剂:植物生长调节剂=1:1:1的配方,能显著提高高粱的发芽率、幼苗株高和根长,金糯梁9号、泸糯8号、红缨子的发芽率分别提高了4.6%、3.1%、6.3%,株高分别提高了11.0%、19.0%、38.1%,根长分别提高了18.9%、50.7%、100.5%;种衣剂中功能材料选择添加适宜浓度的海藻酸,能有效促进高粱生长,其中,金糯梁9号使用浓度为0.1%的海藻酸效果较好,发芽率提高了9.6%,株高和根长分别提高了32.5%、130.9%;泸糯8号和红缨子使用浓度为0.3%的海藻酸效果较好,发芽率分别提高了11.8%、19.7%,株高分别提高了37.6%、63.9%,根长分别提高了113.2%、156.3%。综上所述,丸化高粱种子最佳粒径为5 mm,种衣剂配方为:硅藻土37.5%、阿拉伯胶9.42%、海藻酸13.27%、杀菌剂13.27%、杀虫剂13.27%、植物生长调节剂13.27%,金糯梁9号最适海藻酸浓度为0.1%,泸糯8号和红缨子最适海藻酸浓度均为0.3%。研究结果可为实现西南地区酿酒高粱丸粒化播种提供理论依据和技术支持。

关键词:丸化种衣剂;酿酒高粱;种子萌发;苗期长势

Effects of different pelleted seed coating formulations on seed germination and seedling growth of three brewing sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars

NING Xiao-jing¹, REN Qiu-jie¹, WANG Li-juan¹, JIA Xiao-lin¹, SHI Xiao-jun^{1,2,3}, WANG Jie^{1,2,3*}

1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. National Agricultural Science Beibei Observatory and Experiment Station, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Field Scientific Observatory of Soil Quality and Ecological Environment, Chongqing 401557, China

Abstract: Pelletized seed coatings reduce the incidence of pests and diseases, protect seeds against drought stress during direct seeding, and improve the precision of sowing, ensuring healthy seedlings. The aim of this study was to identify the most suitable formulation of pelletized seed coating for three typical varieties of brewing sorghum

收稿日期:2024-07-23;改回日期:2024-09-20

基金项目:国家重点研发计划课题(2023YFD1902805),重庆市大学生创新创业训练计划资助项目(S202410635248)和中国国家留学基金委项目(No. 202206995018)资助。

作者简介:宁小静(2001—),女,山东临沂人,在读硕士。E-mail: ningxiaojing8992@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: mutouyu@swu.edu.cn

(*Sorghum bicolor*) cultivars: Jinnuoliang No. 9, Lunuo No. 8, and Hongyingzi. Different additives including fillers and pelleting aids (gum arabic and diatomite), bioactive substances (the fungicide tebuconazole, the insecticide cyantraniliprole, and the plant growth regulator brassinolide) and functional materials (alginic acid, a super absorbent polymer water retention agent) were combined to create seed coatings. Then, the effects of seed coatings with different formulations on the seed germination and seedling growth of the three sorghum cultivars were investigated in an indoor germination test and a hole tray sowing test. The results showed that a combination of diatomite as the filler and a 15% solution of gum arabic as the bonding agent had a minimal impact on seed germination across the three sorghum varieties when pellets were 5 mm in size. The seed coating agent disintegrated rapidly and there was a high proportion of single-seeded pellets, which contributed to its superior result. The seed coating containing fungicide:insecticide:plant growth regulator at a 1:1:1 ratio as the bioactive ingredients significantly improved the seed germination rate and the seedling plant height and root length. Specifically, the application of this seed coating ingredient to seeds of Jinnuoliang No. 9, Lunuo No. 8, and Hongyingzi increased the germination rate by 4.6%, 3.1%, and 6.3%, respectively, increased the seedling height by 11.0%, 19.0%, and 38.1%, respectively, and significantly increased the root length by 18.9%, 50.7%, and 100.5%, respectively. Including an appropriate concentration of alginic acid in the seed coating also effectively promoted sorghum seedling growth. Specifically, alginic acid at a concentration 0.1% in the seed coating significantly improved Jinnuoliang No. 9's seed germination rate by 9.6%, plant height by 32.5%, and root length by 130.9%. Alginic acid at a concentration of 0.3% in the seed coating agent achieved the best results for Lunuo No. 8 and Hongyingzi, significantly increasing their germination rate by 11.8% and 19.7%, plant height by 37.6% and 63.9%, and root length by 113.2% and 156.3%, respectively. The optimal pellet size for sorghum seeds was 5 mm, and the best seed coating formulation was 37.5% diatomite, 9.42% gum arabic, 13.27% alginic acid, 13.27% fungicide, 13.27% insecticide, and 13.27% plant growth regulator. The most effective alginic acid concentration was 0.1% for Jinnuoliang No. 9, and 0.3% for Lunuo No. 8 and Hongyingzi. The results of this research provide scientific data to underpin the development of practical guidelines and technical support for pellet-seeding of brewing sorghum in Southwest China.

Key words: pelletized seed coating agent; brewing sorghum; seed germination; seedling growth

高粱(*Sorghum bicolor*)为禾本科高粱属植物,是世界五大谷类作物之一,具有抗旱、抗涝、耐盐碱、耐高温等特点,适应性广,被广泛种植于养分贫瘠、干旱缺水的地区。高粱作为C₄作物,光合效率高,可以获得较高的生物学产量和经济产量,其茎秆和籽粒也具有较高的利用价值,被广泛应用于酿造业、饲料加工业和生物质能源等领域^[1]。近年来,随着高粱酿酒业的迅速发展,高粱种植面积不断扩大,酒用高粱产量与品质需求也在增加。影响高粱产量、品质的因素较多,其中,精量化播种、育苗是实现合理密度,最终影响单位面积产量的关键。然而,高粱属中小粒种,外形不规则,较难实现精量化播种,在直播过程中易出现重播现象,导致较高程度种子浪费。播种后,蝼蛄、蛴螬等地下害虫在土层中活动频繁,咬食种子的胚、胚芽及幼苗根系,大大降低种子出苗率^[2],导致高粱单位面积产量进一步降低。此外,高粱在生长期,特别是芽苗期如遇干旱,会造成种子萌发受阻、芽苗发育困难,是制约高粱成苗的主要逆境因子^[3]。为满足高粱种子精量播种的需求,减轻地下害虫和干旱对高粱生长的危害,保证种子正常发芽出苗,对高粱种子进行丸粒化包衣是十分必要的^[4-5]。

种子丸粒化包衣是通过机械将丸粒化材料附着在种子表面,使外形不规则、重量较轻的种子包裹一层具有一定强度的壳衣,从而形成表面光滑、大小均匀、适合于机械化播种的种子^[6]。常见的丸粒化助剂主要分为填充剂和粘结剂,常用的有硅藻土、活性炭、阿拉伯胶、羧甲基纤维素钠等,起到增加种子质量和粒径,改变种子形状的作用,使种子完全符合播种机的要求。适宜的助剂还需使丸化种子有较高的单籽率和有籽率,并保证其崩解时间短,播种后遇水能迅速崩解,使种子内外空气流通,为种子萌发提供必要的氧气^[7],从而保证丸化种子的出苗率。

此外,在丸粒化助剂中添加适宜浓度的杀菌剂、杀虫剂等生物活性物质和保水剂、促根剂等功能材料,可以增强种子对不良环境的抵抗能力,提高幼苗质量^[8]。前人对油菜(*Brassica napus*)、甜菜(*Beta vulgaris*)、棉花(*Gossypium hirsutum*)等^[9-11]种子进行丸粒化包衣研究表明,对种子进行合理的丸粒化处理能减少播种种子用量,显著提高田间出苗率和秧苗素质,并对苗期病虫害防治有良好效果。对高粱丸粒化包衣配方的研究因实际播种区域土壤状况、气候条件、品种类型等不同差异较大。樊娟^[4]针对高粱生长期间的养分需求及主要病虫害,研制出生物型和化学型两种药肥复合型丸化种衣剂,并通过田间验证结果表明丸化种衣剂能有效提高高粱农艺性状,对高粱叶斑病的防效为40.04%~47.94%,对苗期蚜虫和蛴螬的防效分别为47.37%~57.14%和43.13%~44.61%,能使黔高8号高粱显著增产。武宇昕^[12]研制出以0.5%的水杨酸和0.5%的海藻酸钠为有效成分的耐盐型丸化种衣剂,在较高盐碱胁迫条件下能使高粱幼苗地上部超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性分别提高28.5%、23.6%、10.9%,可溶性糖和可溶性蛋白含量分别提高43.2%、18.2%,并使丙二醛和过氧化氢含量分别降低30.65%、24.5%,增强幼苗对盐胁迫的抵抗能力,幼苗的株高、根长、地上部鲜/干重、根部鲜/干重均高于未包衣处理。

目前,关于高粱种衣剂的研究主要为单一品种单一功能的悬浮型种衣剂,对西南地区不同品种酿酒高粱丸粒化包衣的研究较少,因此探究丸化种衣剂中不同助剂的使用与活性成分的添加效果,确定典型酿酒高粱品种适用的丸化种衣剂配方,明确其对高粱种子萌发及幼苗生长的影响,对酿酒高粱高产优质栽培以及酿酒品质具有重要意义,且亟待开展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

主要试验材料为:“金糯梁9号”高粱,产自泸州泰丰种业有限公司;“泸糯8号”高粱,产自河北梁仓农业科技有限公司;“红缨子”高粱,产自仁怀市聚农科技开发有限公司。

主要试剂为:阿拉伯胶树胶粉,采购自成都科隆化学品有限公司;丸粒化粉,采购自潍坊种丸农业科技有限公司;硅藻土,采购自灵寿县强东矿产品加工厂(0.04 mm);杀菌剂戊唑醇、杀虫剂溴氰虫酰胺、植物生长调节剂芸苔素内酯,采购自兰陵县马建华农资经营部;保水剂(高吸水性树脂, super absorbent polymer, SAP),采购自徐州复苏新材料科技有限公司;海藻酸,采购自史丹利农业集团股份有限公司。

主要仪器设备为广州市大祥机械电子设备有限公司生产的BY-300A桌上型糖衣机。

1.2 试验设计

1.2.1 助剂的筛选 本试验于2023年4月开始,采用两种不同的助剂组合,组合一以不同浓度的阿拉伯胶溶液为粘结剂,硅藻土为填充剂;组合二为不同比例的丸粒化粉和硅藻土,具体处理见表1。每个处理20 g种子,通过控制助剂用量使丸化种子粒径分别达到4、5、6 mm,将不同处理的丸化种子在培养箱内进行室内发芽试验,以未包衣裸种为对照,每个处理4次重复,每次重复100粒种子。同时对上述处理的丸化种子进行包衣质量检验,以筛选出最佳的助剂配方及丸化高粱的最佳粒径。

表1 丸化种衣剂助剂处理

Table 1 Auxiliary treatment of pelletizing seed coating agent

处理 Treatment	助剂配方(体积比) Additive formulation (volume ratio)
A ₁	15%阿拉伯胶:硅藻土=5:11。15% concentration gum arabic: diatomite=5:11.
A ₂	20%阿拉伯胶:硅藻土=5:11。20% concentration gum arabic: diatomite=5:11.
A ₃	25%阿拉伯胶:硅藻土=5:11。25% concentration gum arabic: diatomite=5:11.
W ₁	丸粒化粉:硅藻土=2:8。Pellet powder: diatomite=2:8.
W ₂	丸粒化粉:硅藻土=3:7。Pellet powder: diatomite=3:7.
W ₃	丸粒化粉:硅藻土=4:6。Pellet powder: diatomite=4:6.

1.2.2 生物活性物质及功能材料的添加和筛选 本试验于 2023 年 7 月开始,生物活性物质的筛选共设 4 个处理,使用前期试验筛选出的最佳助剂配方及粒径,杀菌剂使用 $0.9 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 戊唑醇,杀虫剂使用 $1.3 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 溴氰虫酰胺,植物生长调节剂使用 $0.04 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 芸苔素内酯,以未包衣裸种为对照,具体处理见表 2。各处理中所使用的药剂按相应比例充分混合均匀后配制成阿拉伯胶溶液使用。将不同处理的丸化种子在培养箱内进行室内发芽试验,每个处理 4 次重复,每次重复 100 粒种子,以筛选出最佳生物活性物质配方。

在筛选出的最佳助剂和生物活性物质的基础上,额外添加不同浓度的海藻酸和不同用量的 SAP(高吸水性树脂),海藻酸与前期试验中筛选出的各药剂等比例充分混合均匀后使用,SAP 添加量为硅藻土质量的不同占比,与硅藻土充分混合均匀后使用。设置裸种对照处理,标记为 CK_1 ,不额外添加功能材料对照处理,标记为 CK_2 ,具体处理见表 3。在培养箱进行室内发芽试验,每个处理 4 次重复,每次重复 100 粒种子,筛选出最佳功能材料配方。

表 2 添加生物活性物质处理

Table 2 Treatment with the addition of bioactive substance

处理 Treatment	生物活性物质 Bioactive substance
CK	裸种 Bare species
M_1	添加杀菌剂 Add bactericide
M_2	添加杀菌剂:杀虫剂=1:1。 Add bactericide:insecticide=1:1.
M_3	添加杀菌剂:杀虫剂:植物生长调节剂=1:1:1。 Add bactericide:insecticide:plant growth regulator=1:1:1.

表 3 添加功能材料处理

Table 3 Treatment with the addition of functional materials

处理 Treatment	功能材料 Functional materials
CK_1	裸种 Bare species
CK_2	不添加功能材料 No functional materials are added
MH_1	添加 0.1% 浓度海藻酸 Add 0.1% concentration alginic acid
MH_2	添加 0.3% 浓度海藻酸 Add 0.3% concentration alginic acid
MH_3	添加 0.5% 浓度海藻酸 Add 0.5% concentration alginic acid
MS_1	添加质量占比 0.5% 的 SAP。 Add super absorbent polymer (SAP) with a mass ratio of 0.5%.
MS_2	添加质量占比 1% 的 SAP。 Add super absorbent polymer (SAP) with a mass ratio of 1%.
MS_3	添加质量占比 2% 的 SAP。 Add super absorbent polymer (SAP) with a mass ratio of 2%.

1.2.3 穴盘播种试验 本试验于 2023 年 9 月开始,将添加不同生物活性物质和功能材料的丸化高粱种子进行穴盘播种育苗试验,每个处理 100 孔,每孔 2 粒种子,同时设未包衣裸种作为对照。

1.2.4 丸化高粱种子的制备 1) 将各药剂按相应浓度配成溶液后,按比例混合均匀制成对应浓度的阿拉伯胶溶液。

2) 将挑选好的颗粒饱满的高粱种子放入包衣机中,启动包衣机空转 2 min。

3) 向种子喷入少量的混有药剂的阿拉伯胶溶液,待种子表面全部湿润后均匀抖动着加入少量填充剂,待种子表面覆盖一层粉末后继续转动 2 min,以增加强度,再继续喷入混有药剂的阿拉伯胶溶液,加入少量填充剂,不断重复至达到要求的粒径,继续转动 10 min。

4) 取出种子,经筛子筛选出符合要求粒径的种子。

5) 将筛选出的符合粒径要求的丸粒化种子重新放入包衣机中,少量多次的喷入红色染料作为警戒色,使丸化种子表面均匀染上颜色后继续转动 5 min。

6) 丸粒化结束后,将其晾晒在阴凉通风处,晾干备用。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 丸化种子质量检验 崩解时间^[13]:每个处理分别随机选取5粒种子放入盛有大量清水的烧杯中,从种子接触水的一刻开始计时,待观察到种衣剂膨胀变得非常疏松,一触即碎时记录种子崩解所用时间。

单籽率及有籽率^[14]:每个处理随机选取100粒种子,破坏其丸化包衣层,观察种子有无、是否单粒,记录单籽率和有籽率,每个处理重复3次,取平均值。

千粒重^[15]:每个处理随机挑选100粒种子进行称重,称量结果×10倍得千粒重,每个处理重复3次,取平均值。

1.3.2 室内发芽试验 参照国家标准《农作物种子检验规程》^[16](GB/T 3543.1~7-1995)的方法进行室内发芽试验。每个处理分别随机选取100粒丸化种子放在装有2层润湿滤纸的培养皿上,加水至种子湿润后放于温度25℃,湿度80%的人工气候箱(RXZ-500B,宁波东南仪器有限公司)内进行培养,同时放置未包衣裸种作为对照,每个处理4次重复。每隔2d向培养皿中补充3mL水,以种子露白为发芽标准,每天观察记录丸化种子的发芽情况,培养7d后统计发芽率。

$$\text{发芽率(germination rate, \%)} = \frac{\text{第7天正常发芽种子数}}{\text{供试种子总数}} \times 100$$

1.3.3 穴盘试验 穴盘试验于播种7d记录各处理种子出苗数量,统计出苗率;种子出苗后25d收获采样,分别测量幼苗的株高、根长、地上部/地下部生物量,以评价植株长势。植物样品的采集采用定点定株调查方法,采用五点取样,每点连续标记5株植株进行调查。

1.4 数据统计与分析

通过Microsoft office Excel 2021进行数据整理及绘图,利用SPSS 26.0进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 助剂的筛选

2.1.1 不同助剂处理的丸化高粱种子质量检验 不同助剂处理对3个品种丸化高粱种子崩解时间的影响均是A组(阿拉伯胶)显著低于W组(丸粒化粉),且粒径之间差异不显著(图1)。A组处理的丸化种子崩解时间为13~49s,W组处理的崩解时间为278~489s,A组助剂处理下丸化效果显著优于W组。同一助剂组合处理下丸化高粱种子崩解时间受粒径和品种协同影响,金糯梁9号和红缨子在6和5mm粒径下,A组3个处理之间差异均不显著,而在4mm粒径时,A₁处理的崩解时间均显著低于A₃处理;泸糯8号在6和5mm粒径下,A₁、A₂处理的崩解时间均显著低于A₃处理,4mm粒径下A₁处理的崩解时间显著低于A₂、A₃处理。

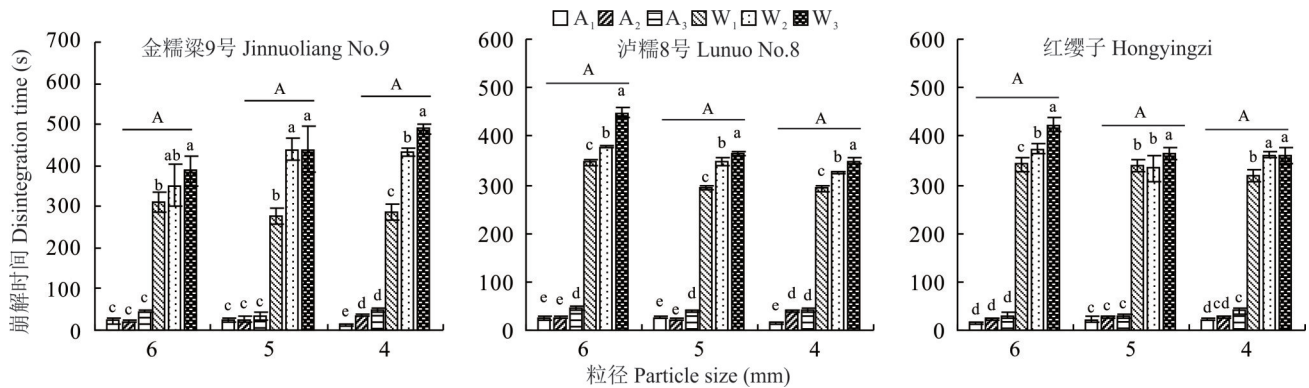


图1 不同助剂处理对丸化高粱种子崩解时间的影响

Fig. 1 Effect of different auxiliary treatments on disintegration time of pelleted sorghum seeds

A₁为15%阿拉伯胶:硅藻土=5:11;A₂为20%阿拉伯胶:硅藻土=5:11;A₃为25%阿拉伯胶:硅藻土=5:11;W₁为丸粒化粉:硅藻土=2:8;W₂为丸粒化粉:硅藻土=3:7;W₃为丸粒化粉:硅藻土=4:6;不同小写字母表示相同粒径下不同助剂处理在P<0.05水平差异显著,不同大写字母表示不同粒径处理在P<0.05水平差异显著,下同。A₁ is 15% concentration gum arabic: diatomite=5:11; A₂ is 20% concentration gum arabic: diatomite=5:11; A₃ is 25% concentration gum arabic: diatomite=5:11; W₁ is pellet powder: diatomite=2:8; W₂ is pellet powder: diatomite=3:7; W₃ is pellet powder: diatomite=4:6; Different lowercase letters indicate that there is significant differences in P<0.05 level among different auxiliary treatments under the same particle size. Different capital letters indicated that different particle sizes had significant differences at P<0.05 level. The same below.

不同助剂处理的3个品种丸化高粱种子千粒重均较裸种显著增加(图2),且不同粒径之间千粒重差异显著,均为6 mm>5 mm>4 mm。相同粒径下丸化高粱种子千粒重受不同助剂及浓度影响较大。不同助剂处理的金糯梁9号在6 mm粒径下,千粒重在A₁处理时最大,与W₂、W₃处理之间差异显著,且较CK显著提高244.26%;在5 mm粒径下,千粒重在A₁、W₁处理时相同且最大,与W₂处理之间差异显著,且较CK显著提高136.72%;在4 mm粒径下,千粒重在W₂处理时最大,与A₂处理之间差异显著,且较CK显著提高60.94%。不同助剂处理的泸糯8号在6 mm粒径下,千粒重在W₁处理时最大,与其余处理之间均存在显著差异,且较CK显著提高241.80%;在5、4 mm粒径下,千粒重均在A₃处理时最大,与其余处理之间均存在显著差异,且较CK分别显著提高185.11%、125.69%。不同助剂处理的红缨子在不同粒径下,千粒重在A₂处理时最大,与A₁、W₂、W₃处理之间差异显著,且较CK显著提高257.60%;在5 mm粒径下,千粒重在A₃处理时最大,与其余处理之间均存在显著差异,且较CK显著提高220.19%;在4 mm粒径下,千粒重在W₁处理时最大,仅与A₃处理之间差异不显著,且较CK显著提高127.09%。

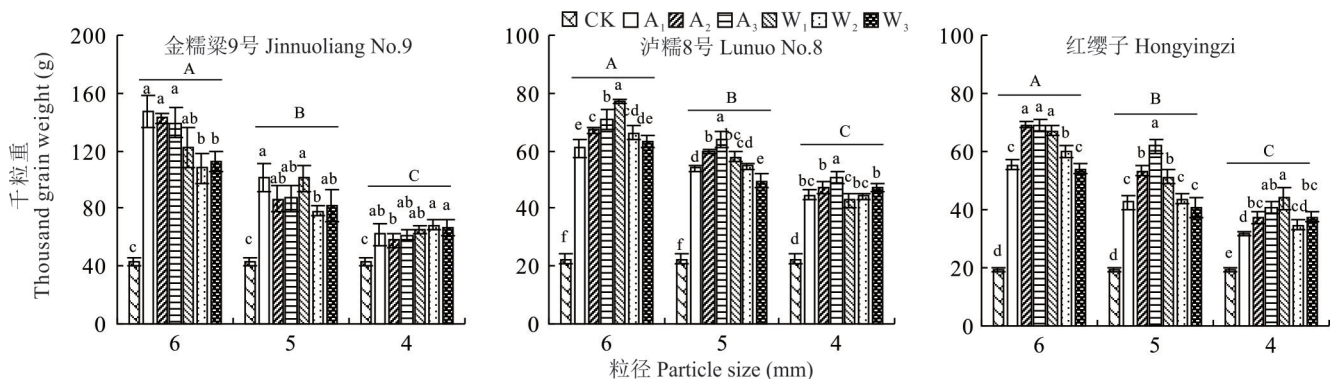


图2 不同助剂处理对丸化高粱种子千粒重的影响

Fig. 2 Effects of different auxiliary treatments on thousand-grain weight of pelleted sorghum seeds

CK为裸种,下同。CK is bare species, the same below.

不同处理之间高粱丸化种子的单籽率和有籽率整体差异并不显著,不同助剂及粒径处理的丸化种子单籽率均在95%以上,有籽率均在94%以上。单籽率随阿拉伯胶浓度或丸粒化粉占比的增加呈降低的趋势,有籽率随阿拉伯胶浓度的增加呈升高的趋势,随丸粒化粉占比的增加呈降低的趋势(表4)。同一助剂处理下丸化种子的单籽率、有籽率受粒径影响较大,单籽率随粒径的增加而降低,有籽率随粒径的增加而升高(表5)。泸糯8号和红缨子在不同粒径之间的单籽率表现为4 mm显著高于5、6 mm,金糯梁9号表现为4、5 mm显著高于6 mm,且金糯梁9号和泸糯8号在4 mm粒径下的单籽率极显著高于6 mm;金糯梁9号和泸糯8号在不同粒径之间的有籽率表现为5、6 mm极显著高于4 mm,红缨子表现为6 mm显著高于4 mm。

2.1.2 不同助剂处理对丸化高粱种子萌发的影响 丸粒化处理的高粱种子发芽情况与CK相比均有所降低(图3)。金糯梁9号除A₁处理及5 mm粒径中W₁处理外,其余处理的发芽率均较CK显著降低,A₁处理中,不同粒径之间发芽率差异并不显著,5 mm粒径时最高,达到96.3%,比其余粒径处理下发芽率平均高2.6%,且较W₁处理高2.8%;泸糯8号在A₁处理,粒径为5和4 mm时的发芽率与CK之间无显著差异,其余处理均较CK显著降低,其中粒径为5 mm时发芽率最高,较4 mm时增加1.9%;红缨子在各粒径中均是A₁处理的发芽率最优,其中粒径为5 mm时的发芽率与CK差异不显著,较其余粒径平均增加5.4%,其余处理均较CK显著降低。

2.2 不同生物活性物质及功能材料的筛选

种衣剂中添加生物活性物质会显著影响酿酒高粱种子的萌发,同种生物活性物质处理的种子发芽率亦受到品种的影响(图4)。金糯梁9号和泸糯8号在M₁处理时发芽率较CK有所降低,其余处理的发芽率均较CK提升,仅M₃处理与CK之间差异显著,分别较CK显著增加了4.6%、3.1%;红缨子中所有处理均较CK提升,其中M₂、M₃处理增加显著,以M₃处理的发芽率最高,较CK增加了6.3%。

表4 不同助剂处理对丸化高粱种子有籽率、单籽率的影响

Table 4 Effects of different auxiliary treatments on seed content and single seed percentage of pelleted sorghum seeds (%)

品种 Variety	处理 Treatment	单籽率 Single seed rate			有籽率 Containing seed rate		
		6 mm	5 mm	4 mm	6 mm	5 mm	4 mm
金糯梁9号 Jinnuoliang No. 9	A ₁	99.00±1.00a	99.67±0.58a	100.00±0.00a	99.67±0.58a	99.00±1.00a	97.67±0.58ab
	A ₂	98.33±0.58ab	98.67±1.53a	99.67±0.58a	100.00±0.00a	99.33±1.16a	98.33±1.53ab
	A ₃	96.33±1.15b	99.00±1.00a	99.33±1.16a	99.67±0.58a	100.00±0.00a	99.33±1.15a
	W ₁	97.67±0.58ab	99.67±0.58a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	99.33±1.16a	97.67±0.58ab
	W ₂	97.67±1.16ab	99.33±0.58a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	99.00±1.00a	96.67±1.53b
	W ₃	97.67±1.52ab	99.33±0.58a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	98.67±1.16a	94.33±1.16c
泸糯8号 Lunuo No. 8	A ₁	98.33±0.58ab	98.67±1.15ab	99.33±1.15a	99.67±0.58a	99.00±1.00a	96.33±1.15ab
	A ₂	98.00±1.00ab	97.00±1.00bc	100.00±0.00a	100.00±0.00a	99.67±0.58a	98.00±1.00ab
	A ₃	96.67±1.53b	96.00±1.00c	98.67±1.53a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	99.00±1.00a
	W ₁	99.67±0.58a	99.00±1.00a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	99.33±0.58a	99.00±1.73a
	W ₂	98.33±1.53ab	97.67±0.58abc	100.00±0.00a	100.00±0.00a	98.67±0.58a	97.33±1.53ab
	W ₃	97.67±1.15ab	99.00±1.00a	100.00±0.00a	99.33±1.15a	99.33±1.15a	96.00±2.00b
红缨子 Hongyingzi	A ₁	99.00±1.00ab	99.00±1.00a	100.00±0.00a	98.67±0.58b	99.33±1.15a	97.67±1.15b
	A ₂	98.00±1.73ab	98.33±1.53a	100.00±0.00a	99.67±0.58ab	100.00±0.00a	98.67±1.53ab
	A ₃	97.67±0.58ab	95.33±0.58b	99.33±0.58b	99.33±1.15ab	100.00±0.00a	98.00±1.00ab
	W ₁	99.33±0.58a	99.67±0.58a	100.00±0.00a	100.00±0.00a	99.00±1.00a	100.00±0.00a
	W ₂	97.00±1.00b	98.33±0.58a	99.67±0.58ab	100.00±0.00a	98.67±1.53ab	98.33±1.15ab
	W ₃	97.67±1.15ab	99.00±1.00a	100.00±0.00a	99.33±0.58ab	97.00±1.00b	96.67±1.53b

注：不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著，下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference in $P < 0.05$ level, the same below.

表5 不同粒径处理对丸化高粱种子有籽率、单籽率的影响

Table 5 Effects of different particle size treatments on seed content and single seed percentage of pelleted sorghum seeds

品种 Variety	粒径 Particle size (mm)	单籽率均值	5%显著水平	1%极显著水平	有籽率均值	5%显著水平	1%极显著水平
		Average single seed rate (%)	5% significant level	1% extremely significant level	Average contain- ing seed rate (%)	5% significant level	1% extremely significant level
金糯梁9号 Jinnuoliang No. 9	6	97.78	b	B	99.89	a	A
	5	99.28	a	A	99.22	a	A
泸糯8号 Lunuo No. 8	4	99.83	a	A	97.33	b	B
	6	98.11	b	B	99.83	a	A
红缨子 Hongyingzi	5	97.89	b	B	99.33	a	A
	4	99.67	a	A	97.61	b	B
金糯梁9号 Jinnuoliang No. 9	6	98.10	b	A	99.50	a	A
	5	98.28	b	A	99.00	ab	A
	4	99.83	a	A	98.22	b	A

种衣剂中添加功能材料有利于提高高粱种子的发芽率,且添加海藻酸处理的种子发芽情况整体优于添加SAP的处理(图5)。添加相同功能材料处理的高粱种子发芽率受浓度和品种的共同影响,金糯梁9号的发芽率随海藻酸浓度的增加呈逐渐降低的趋势,而泸糯8号和红缨子的发芽率随海藻酸浓度的增加呈先增加后降低的趋势;3个品种高粱的发芽率均随SAP用量的增加呈逐渐上升的趋势。不同品种高粱在添加功能材料处理中发芽

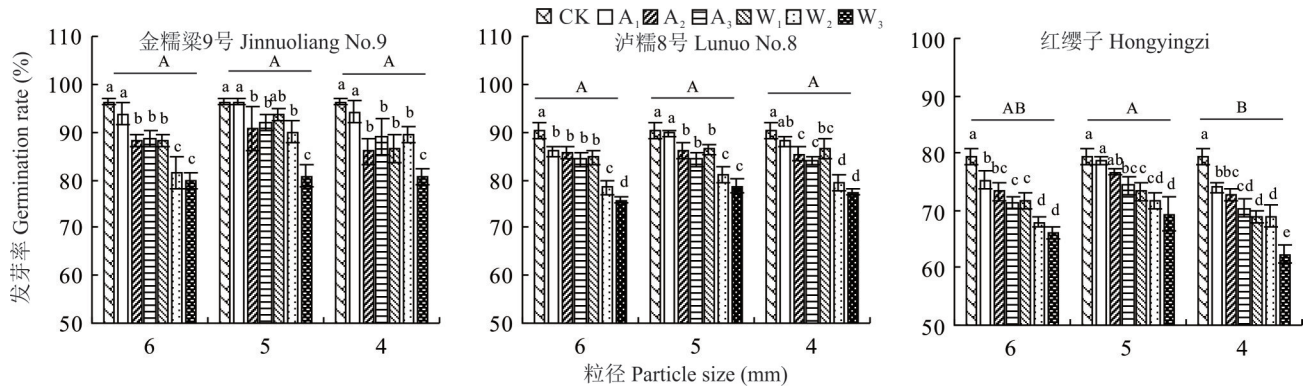


图 3 不同助剂处理对丸化高粱种子发芽率的影响

Fig. 3 Effects of different auxiliaries on germination rate of pelleted sorghum seeds

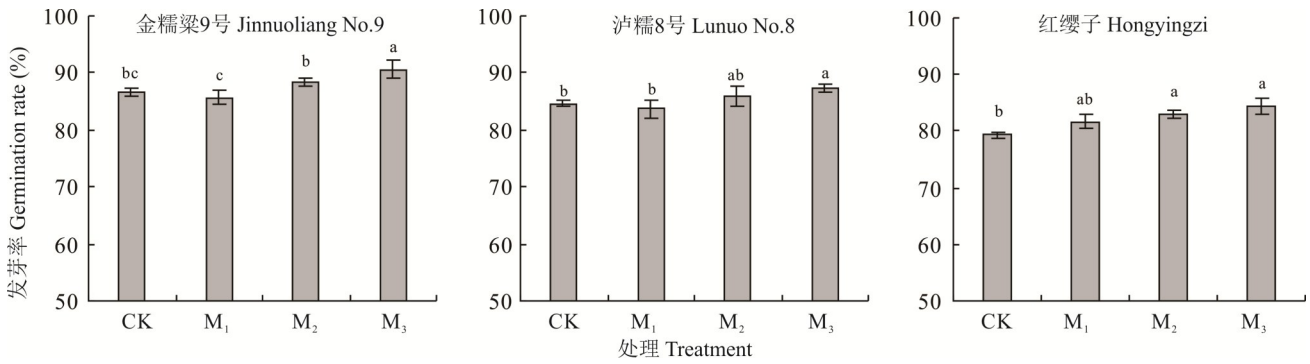


图 4 不同生物活性物质处理对丸化高粱种子发芽率的影响

Fig. 4 Effects of different bioactive substances on germination rate of pelleted sorghum seeds

CK 为裸种, M₁ 为添加杀菌剂, M₂ 为添加杀菌剂: 杀虫剂=1:1, M₃ 为添加杀菌剂: 杀虫剂: 植物生长调节剂=1:1:1, 下同。CK is bare species, M₁ is added bactericide, M₂ is added bactericide: insecticide=1:1, M₃ is added bactericide: insecticide: plant growth regulator=1:1:1, the same below.

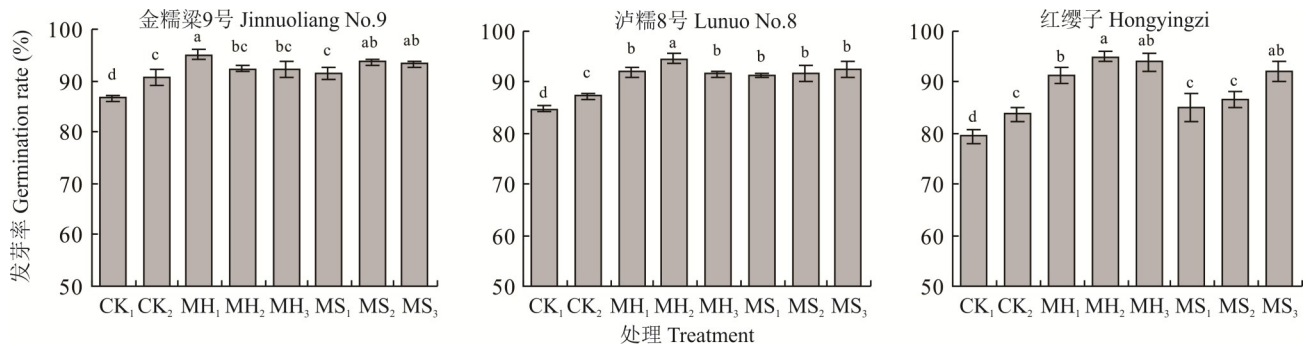


图 5 功能材料添加对丸化高粱种子发芽率的影响

Fig. 5 Effect of functional material addition on germination rate of pelleted sorghum seeds

CK₁ 为裸种, CK₂ 为未添加功能材料, MH₁ 为添加 0.1% 浓度海藻酸, MH₂ 为添加 0.3% 浓度海藻酸, MH₃ 为添加 0.5% 浓度海藻酸, MS₁ 为添加质量占比 0.5% 的 SAP, MS₂ 为添加质量占比 1% 的 SAP, MS₃ 为添加质量占比 2% 的 SAP, 下同。CK₁ is bare species, CK₂ is no functional material added, MH₁ is added 0.1% concentration alginic acid, MH₂ is added 0.3% concentration alginic acid, MH₃ is added 0.5% concentration alginic acid, MS₁ is added SAP with a mass ratio of 0.5%, MS₂ is added SAP with a mass ratio of 1%, and MS₃ is added SAP with a mass ratio of 2%, the same below.

率均较裸种 CK₁ 显著增加。其中, 金糯梁 9 号在 MH₁、MS₂、MS₃ 处理中的发芽率较 CK₁、CK₂ 均显著增加, 以 MH₁ 处理的发芽率最高, 较 CK₁、CK₂ 分别增加了 9.6% 和 4.8%; 泸糯 8 号所有处理的发芽率较 CK₁、CK₂ 均显著增加, 以 MH₂ 处理的发芽率最高, 较 CK₁、CK₂ 分别增加了 11.8% 和 8.4%; 红缨子在 MH₁、MH₂、MH₃、MS₃ 处理中的发芽率较 CK₁、CK₂ 均显著增加, 以 MH₂ 处理的发芽率最高, 较 CK₁、CK₂ 分别增加了 19.7% 和 13.5%。

2.3 不同生物活性物质及功能材料添加对高粱幼苗生长的影响

2.3.1 不同生物活性物质对高粱幼苗生长的影响

由表6可得,种衣剂中添加不同生物活性成分会影响高粱种子的出苗率。不同品种高粱在M₂、M₃处理的发芽率均较CK有所增加,其中,泸糯8号和红缨子的发芽率与CK之间差异显著,以M₃处理最高,较CK分别增加了2.5%和23.4%;金糯梁9号仅在M₃处理中发芽率较CK增加显著,增加了7.3%。

生物活性物质的添加对高粱幼苗株高、根长有明显影响(图6)。金糯梁9号和泸糯8号的株高均在M₃处理下与CK差异显著,分别显著增加了11.0%、19.0%。红缨子的株高在不同生物活性物质处理下均较CK增加显著,以M₃处理增加最多,显著增加了38.1%;3个品种高粱的根长均在M₃处理下较CK显著增加,其中,金糯梁9号增加了18.9%,泸糯8号增加了50.7%,红缨子增加了100.5%。

表6 不同生物活性物质对酿酒高粱种子出苗率的影响

Table 6 Effects of different bioactive substances on seedling emergence rate of brewing sorghum seed (%)

处理 Treatment	金糯梁9号 Jinnuoliang No. 9	泸糯8号 Lunuo No. 8	红缨子 Hongyingzi
CK	88.5±2.12bc	73.0±1.41b	68.5±2.12c
M ₁	87.0±2.83c	73.0±1.41b	67.5±0.71c
M ₂	93.0±1.41ab	88.0±0.00a	75.5±2.12b
M ₃	95.0±1.41a	91.0±1.41a	84.5±0.71a

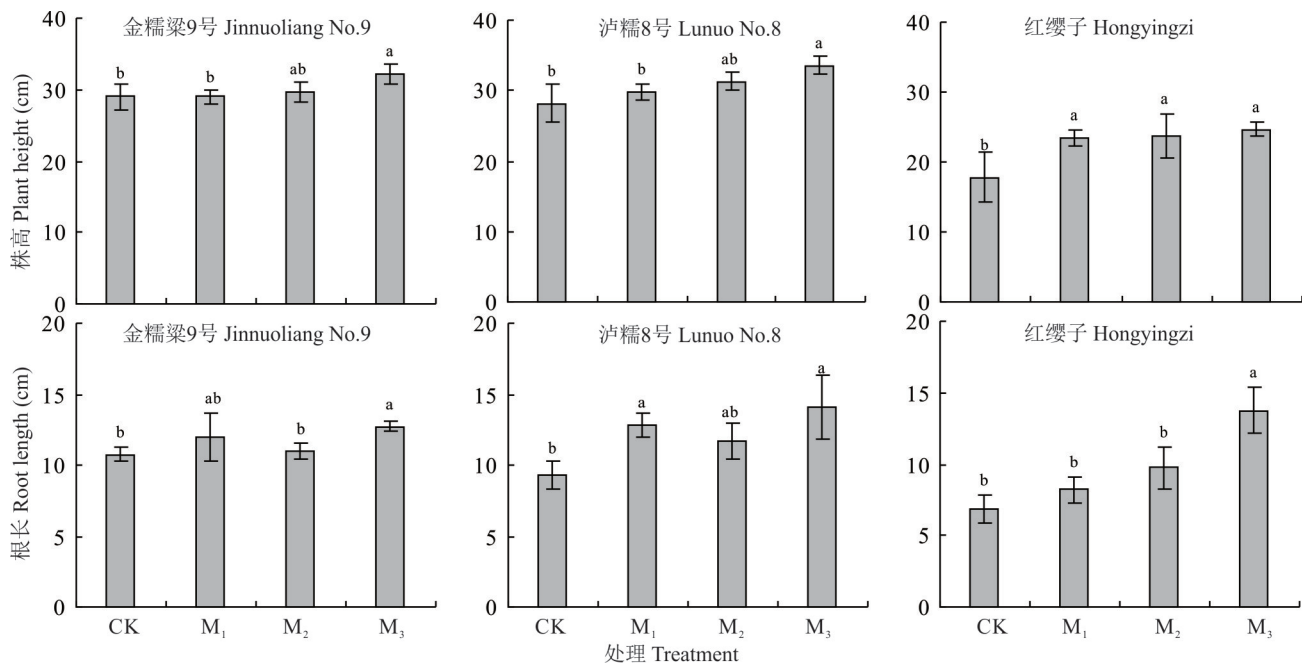


图6 生物活性物质添加对酿酒高粱幼苗株高和根长的影响

Fig. 6 Effect of bioactive substance addition on seedling plant height and root length of brewing sorghum

生物活性物质的添加对高粱幼苗地上部、地下部生物量影响显著(图7)。金糯梁9号和红缨子的地上部、地下部生物量均在M₃处理下较CK显著增加,其中,金糯梁9号分别增加了50.6%、39.3%,红缨子分别增加了49.1%、108.3%。泸糯8号的地上部生物量在M₂、M₃处理下均较CK显著增加,以M₃处理最大,较CK增加了46.9%,地下部生物量仅M₃处理下较CK增加显著,增加了75.1%。

2.3.2 不同功能材料添加对高粱幼苗生长的影响

由表7可得,种衣剂中功能材料的添加显著提高了酿酒高粱的出苗率。不同品种添加功能材料处理的出苗率均较CK₁显著增加,与CK₂相比,金糯梁9号在MH₁、MH₂处理的出苗率增加显著,以MH₁处理最优,较CK₁、CK₂分别增加了12.4%、4.7%;泸糯8号在MH₂处理的出苗率增加显著,较CK₁、CK₂分别增加了34.2%、7.7%;红缨子在MH₁、MH₂、MS₂、MS₃处理的出苗率增加显著,以MH₂处理最优,较CK₁、CK₂分别增加了40.1%、13.6%。

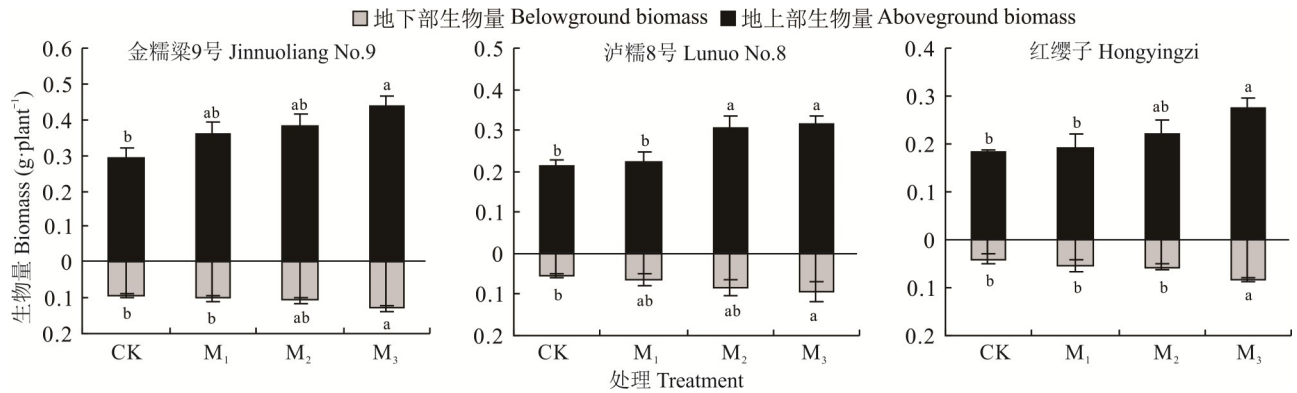


图 7 生物活性物质添加对酿酒高粱地上部、地下部生物量的影响

Fig. 7 Effects of addition of bioactive substances on aboveground and underground biomass of brewing sorghum

种衣剂中功能材料的添加能有效提高酿酒高粱的株高、根长,从整体来看,添加海藻酸处理的效果优于添加 SAP 处理(图 8)。在株高方面,3 个品种中所有添加功能材料处理均较 CK₁ 显著提升,与 CK₂ 相比,金糯梁 9 号在 MH₁、MH₂、MH₃、MS₃ 处理中增加显著,以 MH₁ 处理最优,较 CK₁、CK₂ 分别增加了 32.5%、19.3%;泸糯 8 号在 MH₁、MH₂ 处理中增加显著,以 MH₂ 处理最优,较 CK₁、CK₂ 分别增加了 37.6%、15.6%;红缨子在 MH₂、MH₃ 处理中增加显著,以 MH₂ 处理最优,较 CK₁、CK₂ 分别增加了 63.9%、18.7%。在根长方面,金糯梁 9 号在 MH₁、MH₂、MH₃ 处理均较 CK₁、CK₂ 显著提升,其中 MH₁ 处理下的根长与 CK₁、

表 7 不同功能材料对酿酒高粱种子出苗率的影响

Table 7 Effects of different functional materials on seed emergence rate of brewing sorghum (%)

处理 Treatment	金糯梁 9 号 Jinnuoliang No. 9	泸糯 8 号 Lunuo No. 8	红缨子 Hongyingzi
CK ₁	88.5±2.12d	73.0±1.41c	68.5±2.12d
CK ₂	95.0±1.41c	91.0±1.41b	84.5±0.71c
MH ₁	99.5±0.71a	95.5±2.12ab	93.0±2.83ab
MH ₂	98.5±0.71ab	98.0±1.41a	96.0±4.24a
MH ₃	95.0±0.00c	94.5±3.54ab	91.0±2.83abc
MS ₁	96.0±1.41bc	92.0±2.83b	88.5±3.54bc
MS ₂	96.5±0.71abc	94.0±1.41ab	91.5±2.12ab
MS ₃	98.0±1.41abc	95.0±1.41ab	94.0±2.83ab

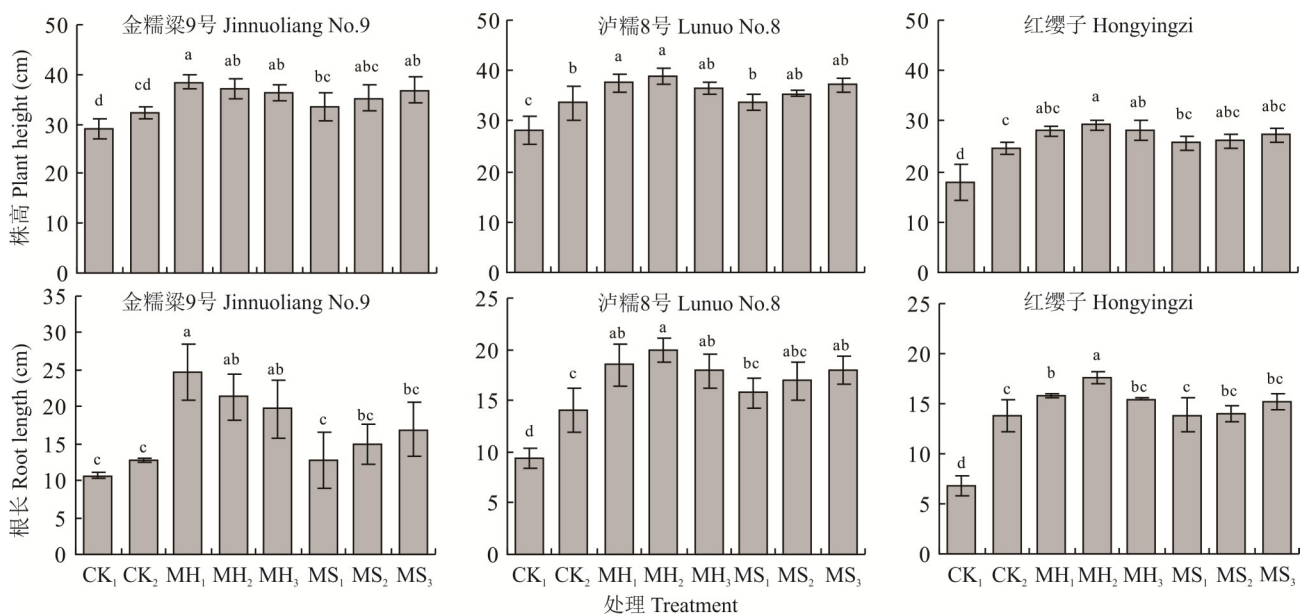


图 8 功能材料添加对酿酒高粱幼苗株高和根长的影响

Fig. 8 Effect of functional material addition on seedling plant height and root length of brewing sorghum

CK₂之间差异极显著,较CK₁、CK₂分别增加了130.9%、94.2%;泸糯8号和红缨子中所有处理均较CK₁显著提升,与CK₂相比,泸糯8号在MH₁、MH₂、MH₃、MS₃处理中增加显著,以MH₂处理最优,较CK₁、CK₂分别增加了113.2%、41.5%;红缨子在MH₁、MH₂处理中增加显著,其中MH₁处理与CK₂之间差异极显著,较CK₁、CK₂分别增加了156.3%、27.8%。

种衣剂中添加的功能材料会影响高粱地上部、地下部生物量(图9)。3个品种的地上部、地下部生物量均较CK₁出现显著提升,而与CK₂相比,金糯梁9号的地上部、地下部生物量均在MH₁、MH₂、MS₃处理下显著增加,以MH₁处理最高,其地上部生物量较CK₁、CK₂分别增加了88.5%、25.2%,地下部生物量较CK₁、CK₂分别增加了89.4%、35.9%;泸糯8号的地上部生物量在MH₁、MH₂处理下显著增加,以MH₂处理最高,较CK₁、CK₂分别增加了71.9%、17.0%,地下部生物量除MS₁、MS₂处理外,其余处理均显著增加,以MH₂处理最高,较CK₁、CK₂分别增加了181.4%、60.8%;红缨子的地上部生物量除MS₂、MS₃处理外,其余处理均显著增加,以MH₂处理最高,较CK₁、CK₂分别增加了78.2%、29.0%,地下部生物量在MH₁、MH₂处理下增加显著,以MH₂处理最高,较CK₁、CK₂分别增加了183.3%、36.0%。

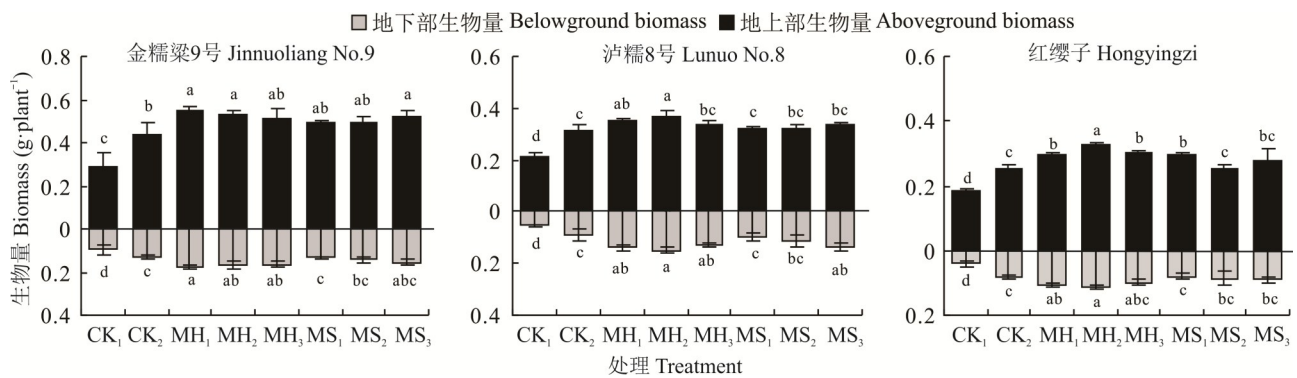


图9 功能材料添加对酿酒高粱地上部、地下部生物量的影响

Fig. 9 Effect of functional material addition on aboveground and underground biomass of brewing sorghum

3 讨论

3.1 丸化种衣剂中的助剂

助剂(填充剂、粘结剂等)是丸粒化包衣的最主要成分,占比可达50%~90%,可使种子质量增加3~50倍,且能显著影响丸粒化种子质量和发芽率^[17-20]。本试验通过对丸粒化包衣种子进行质量检验发现,与丸粒化粉和硅藻土助剂组合相比,阿拉伯胶和硅藻土助剂组合处理的丸粒化种子包衣效果更好,丸粒化种子崩解时间短,且具有较高的单籽率和有籽率。有研究表明,包衣材料中粘性材料质量占比越高,丸粒化种子的硬度越大,但同时也会导致丸粒化种子表面的凸起越显著,从而影响丸粒化种子的质量和品质^[21]。丸粒化粉作为一种粘性材料,遇水能够紧密粘接,牢牢包裹种子,用其对种子进行丸粒化处理后,丸粒化种子的硬度和表面光滑度呈负相关关系,且崩解时间过长,包衣效果不理想。而硅藻土作为一种多孔结构,其吸附能力强,吸药值为16%~18%,有利于药剂在载体上的均匀分布,3 min内崩解度可达100%,且破碎率小于3%,是比较理想的包衣材料^[22-23]。同时本试验通过室内发芽试验,筛选出丸粒化种衣剂的最佳助剂配方为15%的阿拉伯胶溶液加硅藻土,最佳粒径为5 mm,对种子的发芽情况影响最小。有研究表明,丸粒化处理会影响种子中气体和水分的进出,进而对种子发芽造成影响^[23]。在本试验中经过丸粒化处理的种子发芽情况均低于裸种CK,这与彭之东等^[24]、张民等^[25]对高粱进行丸粒化处理得出的发芽结果一致,可能是由于填充剂阻碍了种子的萌发,再加上粘结剂的包裹,影响了丸粒化种子的透气性,导致其发芽率降低。但良好的粘结剂或适宜的粘结剂浓度能在丸粒化过程中使丸粒化种子表面光滑,大小均匀^[23],在湿润种子的同时,保证有较高的单籽率和有籽率。阿拉伯胶溶液作为一种中性溶液,对种子发芽无胁迫作用,用作粘结剂的效果较好^[5]。本试验结果表明,阿拉伯胶浓度范围为15%~25%时,随浓度的增加,丸粒化种子的发芽率呈下

降的趋势,单籽率逐渐下降,而有籽率逐渐升高。这可能是由于随着阿拉伯胶溶液浓度的增加,其粘结力变强,使丸化材料遇水后仍能吸附在种子表面,影响种子与外界的气体交换,导致种子发芽率降低。这与李会周^[26]将垂穗披碱草(*Elymus nutans*)种子经阿拉伯胶丸化处理后的萌发结果不同,其发芽指标随阿拉伯胶浓度增加呈先升高后降低的趋势,主要是由于其试验设定的阿拉伯胶溶液浓度范围为5%~25%,但同样在15%浓度下丸化种子的发芽率达到最高,较其余浓度处理平均显著增加4.6%。且丸化种子的单籽率也呈现出与本试验相同的结果,均随粘结剂浓度的增加而降低,可能是由于粘结剂浓度的升高导致丸化材料之间的联结力增加。

3.2 丸化种衣剂中的生物活性物质及功能材料

丸化种衣剂中生物活性物质主要包括杀菌剂、杀虫剂、植物生长调节剂,主要作用是防治病虫害、促进作物生长发育。本试验发现,金糯梁9号和泸糯8号在仅添加杀菌剂时,发芽率较裸种均有所降低,这与王洋^[27]的研究结果一致:在4种荒漠植物丸化种衣剂中加入多菌灵后,种子的发芽指标较CK出现降低。王睿等^[28]通过对小麦(*Triticum aestivum*)种衣剂添加杀菌剂同样发现,戊唑醇杀菌剂对小麦萌发表现出一定的抑制作用,发芽率较裸种降低3.5%~4.3%。但在红缨子中,添加杀菌剂促进了丸化种子的萌发,这是由于不同品种的遗传背景不同,其对戊唑醇的反应程度也不相同。魏会廷^[29]等对小麦的研究有相似的结果,其通过使用戊唑醇对不同品种小麦进行不同药种比拌种后发现,与清水拌种处理相比,川麦42、川麦104、绵麦367、蜀麦969的发芽率分别平均增加1.0%、0.5%、0.5%、1.3%,而川育23、川农16的发芽率呈下降趋势,分别较清水拌种处理平均降低0.6%、2.0%。本试验中生物活性物质以添加杀菌剂:杀虫剂:植物生长调节剂=1:1:1的效果最好,能显著提高酿酒高粱的发芽率、株高、根长以及地上部/地下部生物量。这主要是由于添加的植物生长调节剂能够促进种子发芽并加速幼苗的生长发育^[5]。张秀立等^[30]的研究结果表明,在玉米(*Zea mays*)种衣剂中添加芸苔素内酯后,玉米的株高、茎粗较未添加的处理分别显著提升5.1%、7.5%,本试验结果与之相同;且每公顷产量在10950 kg以上,平均增产率为11%。另外,芸苔素内酯与杀虫剂的复合应用表现为增效作用,药剂复合应用处理下番茄(*Solanum lycopersicum*)结果期株高、茎粗分别较单施处理显著增加7.07%、22.97%^[31],本试验同样发现,芸苔素内酯与戊唑醇、溴氰虫酰胺复合应用后的效果优于单施戊唑醇或戊唑醇、溴氰虫酰胺混施。

在酿酒高粱生产过程中,西南地区直播高粱适宜播期在4月15日—5月2日^[32],但近年来,西南地区春旱现象发生频繁^[33],播种后如果遇到干旱会严重影响种子萌发,在种衣剂中添加抗旱性功能材料能提高种子抗逆性,保证作物在干旱逆境下的正常生长发育。本试验结果表明,海藻酸包衣处理相较于SAP包衣处理能显著提高高粱种子的发芽率,并促进幼苗的生长,提高幼苗株高和根长。这可能是由于海藻酸除可以快速吸收水分外,还可以促进作物根系的生长,增强对土壤中养分和水分的吸收利用,并能增强作物的抗旱能力,促进种子萌发,提高种子田间出苗率^[34-35]。Skrzypczak等^[36]研究表明,海藻酸复合包衣可以刺激黄瓜(*Cucumis sativus*)的早期生长,与未包衣种子相比,黄瓜鲜芽重量增加50%,根长增加4倍。吉状状等^[37]研究同样发现,以海藻酸为主要成分的种衣剂可以通过提高甜玉米萌发期间的抗氧化酶活性来提高玉米种子活力,促进种子萌发和苗期建成,进而提高产量。浙甜2088玉米经海藻酸包衣处理后的过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶和抗坏血酸过氧化物酶活性较未包衣处理分别提高了74.5%、137.3%、29.5%和42.0%,发芽率和活力指数分别提高了15.6%、53.9%,增产达7.3%。本试验中,金糯梁9号在海藻酸浓度为0.1%时效果最好,而泸糯8号和红缨子在浓度为0.3%时效果最好,这是由于高粱种子活力在不同品种间存在差异,在裸种状态下,金糯梁9号的发芽率为86.67%,泸糯8号的发芽率为84.67%,红缨子的发芽率为79.33%,种子活力与发芽率之间存在密切关系^[38],金糯梁9号种子活力要优于泸糯8号和红缨子,故其所需海藻酸浓度低于泸糯8号和红缨子。

4 结论

本研究通过对3个品种酿酒高粱丸化种衣剂配方进行筛选,结果表明,不同助剂处理的丸化种子发芽情况低于对照,其中,以硅藻土为填充剂,15%的阿拉伯胶溶液为粘结剂的助剂配方在粒径为5 mm时对种子的发芽情况影响较小,且丸化种子崩解时间短、有较高的单籽率和有籽率,质量最佳;种衣剂中生物活性物质以添加杀菌剂:杀虫剂:植物生长调节剂=1:1:1时效果最佳,能有效促进丸化种子的萌发和幼苗的生长,显著提高种子发芽

率、幼苗株高、根长及地上部/地下部生物量;种衣剂中功能材料以添加海藻酸效果最佳,可以促进种子萌发及幼苗生长。但不同品种高粱种子对海藻酸的响应程度不同,金糯梁9号以0.1%浓度的效果最佳,而泸糯8号和红缨子均以0.3%浓度的效果最佳。

参考文献 References:

- [1] Hattori T, Inanaga S, Araki H, *et al.* Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, 2005, 123(4): 459–466.
- [2] Cheng H J, Yan F Z, Ma S Y, *et al.* Causes and preventive measures affecting the decline of sorghum seed emergence rate. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2011(4): 112.
成慧娟, 严福忠, 马尚耀, 等. 影响高粱种子出苗率下降的原因及预防措施. *内蒙古农业科技*, 2011(4): 112.
- [3] Zou X, Zhou Y F, Li G, *et al.* Study on the regulatory effect of exogenous melatonin on the physiological metabolism of sorghum under drought stress. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2024, 44(4): 24–31.
邹询, 周宇飞, 李广, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下高粱生理代谢的调节效应研究. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2024, 44(4): 24–31.
- [4] Fan J. Preparation and biological effect evaluation of sorghum medicine fertilizer compound seed coating agent. Guiyang: Guizhou University, 2022.
樊娟. 高粱药肥复合种衣剂的研制及生物学效应评价. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [5] He Z X, Mao P S, Sun Y, *et al.* Review of grass seeds coating technology. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(2): 270–277.
何祖欣, 毛培胜, 孙彦, 等. 草类种子包衣技术现状综述. *草地学报*, 2016, 24(2): 270–277.
- [6] Zhou Y R. Study on pelleting technology and effect of flax seed. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.
周玉瑞. 胡麻种子丸粒化技术效果的研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2015.
- [7] Chen K, Han B H, Lu D P, *et al.* Effect of pelleting processing technology on the quality of cabbage seeds. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2019, 40(8): 82–88.
陈凯, 韩柏和, 陆岱鹏, 等. 甘蓝种子丸粒化包衣加工工艺及其对品质的影响. *中国农机化学报*, 2019, 40(8): 82–88.
- [8] Xiong T F, Lin Q S, Feng X. Effects of seed pelletized coating of plant growth regulators on seedling quality of choy sum. *Seed*, 2022, 41(6): 102–106.
熊腾飞, 林庆胜, 冯夏. 植物生长调节剂种子丸粒化包衣对菜心种苗质量的影响. *种子*, 2022, 41(6): 102–106.
- [9] Chen D X, Zhou L Y, Chen Q J, *et al.* Study on pelletizing and coating technology of rape seed. *Seed*, 2004(7): 85–86.
陈德星, 周立友, 陈其军, 等. 油菜种子丸粒化包衣技术研究. *种子*, 2004(7): 85–86.
- [10] Wang W C, Wang R H, Gao Y J, *et al.* Exploration on processing technology of sugar beet seed pelleting. *China Sugar*, 2016, 38(5): 46–48, 51.
王维成, 王荣华, 高有军, 等. 甜菜种子丸粒化加工技术初探. *中国糖料*, 2016, 38(5): 46–48, 51.
- [11] Zhang Y C, Zhou X F, Li Q Y, *et al.* Research on practical application technology of seed pelletizing. *China Cotton*, 2001(5): 15–17.
张彦才, 周晓芬, 李巧云, 等. 棉种丸粒化的实际应用技术研究. *中国棉花*, 2001(5): 15–17.
- [12] Wu Y X. Effects of seed pelleting on seed germination and seedling growth of sorghum under salt stress. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.
武宇昕. 盐胁迫下丸化对高粱种子萌发及幼苗生长的影响. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
- [13] Jiang L T. Study on drought-resistant coating agent of buffalograss seeds. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2020.
蒋丽婷. 野牛草种子抗旱包衣剂研究. 北京: 中国林业科学研究院, 2020.
- [14] Yang L F, Gao H D, Gu M Y, *et al.* Screening of pellet formulas for *Caragana korshinskii* Kom. seeds. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2019, 43(5): 9–15.
杨丽芳, 高捍东, 顾美影, 等. 柠条种子丸粒化配方的筛选. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(5): 9–15.
- [15] Tong L R, Ni S G, Zhou Y N, *et al.* Effects of different seed coating formulations on seed germination and seedling growth of *Lespedeza davurica*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(2): 124–134.
佟莉蓉, 倪顺刚, 周亚楠, 等. 不同种衣剂配方对达乌里胡枝子种子发芽和幼苗生长的影响. *草业学报*, 2021, 30(2): 124–134.
- [16] Zhi J Z, Bi X H, Du K M, *et al.* Rules for agricultural seed testing, GB/T 3543.1-3543.7-1995. Beijing: Standards Press of

- China, 1995: 8—12.
- 支巨振, 毕辛华, 杜克敏, 等. 农作物种子检验规程, GB/T 3543.1-3543.7-1995. 北京: 中国标准出版社, 1995: 8—12.
- [17] Xiong Y F, Wen Z Y, Jiang J A, *et al.* Advance of studies on seed coating agents for crops. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2004(2): 187—192.
- 熊远福, 文祝友, 江巨鳌, 等. 农作物种衣剂研究进展. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2004(2): 187—192.
- [18] Butler R. Coatings, films and treatments. *Seed World*, 1993(10): 18—24.
- [19] Taylor A G, Grabe D F, Paine D H. Moisture content and water activity determination of pelleted and film-coated seeds. *Seed Technology*, 1997(19): 24—32.
- [20] Shen J H. Study on the method of pelletizing and coating the seed for *Seriphidium borotalense*. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- 申稼豪. 博洛塔绢蒿种子丸粒化包衣方法研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [21] Huang C, Zhang H, Zhao Y, *et al.* Diatomite-supported Pd-M (M=Cu, Co, Ni) bimetal nanocatalysts for selective hydrogenation of long-chain aliphatic esters. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2012, 386(1): 60—65.
- [22] Wang Z M, Wu J K, Ma X F, *et al.* Study on pesticide carrier of diatomite granule. *Agrochemicals*, 1989(3): 9—10.
- 王泽民, 吴吉昆, 马小凡, 等. 硅藻土作粒剂农药载体的研究. *农药*, 1989(3): 9—10.
- [23] Li C Y, Zhang F, Liu C H, *et al.* Screening on coating materials of the forage seeds. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2013, 44(4): 94—100.
- 李成云, 张帆, 刘彩红, 等. 牧草种子包衣材料的筛选. *东北农业大学学报*, 2013, 44(4): 94—100.
- [24] Peng Z D, Bai W B, Zhao J W, *et al.* Research on sorghum seed pelleting prescription. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(12): 5—8.
- 彭之东, 白文斌, 赵建武, 等. 高粱种子丸粒化配方研究. *农学学报*, 2015, 5(12): 5—8.
- [25] Zhang M, Wu Y, Dong S, *et al.* Effects of seed coating and pelleting on the emergence of sorghum for wine. *Seed*, 2023, 42(4): 139—144.
- 张民, 伍雨, 董帅, 等. 种子包衣和丸粒化处理对酒用高粱出苗的影响. *种子*, 2023, 42(4): 139—144.
- [26] Li H Z. Study on the pelletized coating of *Elymus nutans* seeds. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- 李会周. 垂穗披碱草种子丸粒化包衣研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [27] Wang Y. Study on seed coating techniques of four typical desert plants. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- 王洋. 四种典型荒漠植物种子包衣技术研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [28] Wang R, Gao W, Wang K G. Effects of seed dressing with different pesticides on wheat growth and control efficiency of wheat diseases and insect pests. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2022, 50(3): 398—408.
- 王睿, 高伟, 王克功. 不同种衣剂对小麦生长及病虫害防治效果的影响. *山西农业科学*, 2022, 50(3): 398—408.
- [29] Wei H T, Li J, Tang Y L, *et al.* Effect of seed dressing of tebuconazole on seed germination of different wheat varieties. *Seed*, 2018, 37(8): 27—30.
- 魏会廷, 李俊, 汤永禄, 等. 戊唑醇拌种对不同小麦品种种子萌发的影响. *种子*, 2018, 37(8): 27—30.
- [30] Zhang X L, Zhang H, Liu Y, *et al.* Effects of seed dressing agent+brassinolide on growth and yield of maize at seedling stage. *Hebei Agriculture*, 2020(10): 41—42.
- 张秀立, 张徽, 刘媛, 等. 种衣剂+芸苔素内酯拌种对玉米苗期长势及产量的影响. *河北农业*, 2020(10): 41—42.
- [31] Wang R J. The study on the control effect of composite application of BR on root-knot nematode in tomato. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.
- 王瑞娇. 芸苔素内酯的复合应用对番茄根结线虫抑制效果的研究. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [32] Zhou Y, Huang J, Wu Y, *et al.* Effects of sowing date on the growth and yield of direct seeding sorghum of different varieties. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2019, 34(3): 384—392.
- 周瑜, 黄娟, 吴毓, 等. 播期对直播高粱生长发育及产量的影响. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2019, 34(3): 384—392.
- [33] Hu X P. Study on characteristics of the drought in nearly 50 years and causes of continuous drought during winter half year in southwest China. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.
- 胡学平. 近50年中国西南地区干旱变化特征及冬半年持续干旱成因研究. 兰州: 兰州大学, 2015.
- [34] Hernández-Herrera R M, Santacruz-Ruvalcaba F, Zanudo-Hernández J, *et al.* Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *Journal of Applied Phycology*, 2016, 28(4): 2549—2560.

- [35] Sarrocco S, Raeta R, Vannacci G. Seeds encapsulation in calcium alginate pellets. *Seed Science and Technology*, 2004, 32(3): 649–661.
- [36] Skrzypczak D, Jarzembowski Ł, Izydorczyk G, *et al.* Hydrogel alginate seed coating as an innovative method for delivering nutrients at the early stages of plant growth. *Polymers*, 2021, 13(23): 4233.
- [37] Ji Z Z, Tan Y, Huang Z J, *et al.* Effects of seed coating agent based on alginic acid on seed vigor, antioxidant enzyme system and yield of sweet corn. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2023, 37(11): 2297–2304.
吉状状, 谭韵, 黄众基, 等. 基于海藻酸的包衣剂对甜玉米种子活力、抗氧化酶系统和产量的影响. *核农学报*, 2023, 37(11): 2297–2304.
- [38] Li M X, Chen Y L, Wang X F, *et al.* Effect of 8 kinds of seed-coating agents on the germination and safety of *Euryale ferox*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2024, 52(1): 144–147.
李美霞, 陈亚丽, 王晓飞, 等. 8种种衣剂对芡实种子发芽及安全性的影响. *安徽农业科学*, 2024, 52(1): 144–147.