

恒定转速下不同粉液比处理对结球白菜 丸化种子质量指标的影响

李向春 胡兴照 吴育石 刘 山 周春婕 彭科琴 杨成楼
罗昌敬 王江龙 Bilquees Bozdar 曹国璠 李振华

(贵州大学农学院/水稻产业研究院/贵州省粮油作物分子育种重点实验室/贵州省高等学校功能农业重点实验室, 550025, 贵州贵阳)

摘 要 以“黔白2号”结球白菜 (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) 种子为试验材料, 探讨了恒定转速下不同粉液比处理对结球白菜丸化种子质量指标的影响。结果表明, 随着粉液比的增加, 丸化种子的千粒重、抗压强度和裂解时间逐步上升, 破碎率持续下降。随着粉液比的变化, 丸化结球白菜种子的发芽指标呈现出先增后减的正态分布特点。其中在粉液比为 300:95 时, 种子表现出最高的单籽率和最低的多籽率, 结球白菜丸化种子具有最高的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数, 幼苗生长指标也展现出正态分布趋势。300:95 粉液比丸化处理的结球白菜丸化种子在发芽第 7 天时, 幼苗的根长、芽长、干重和鲜重均达到最高值。

关键词 结球白菜; 种子; 恒定转速; 粉液比; 丸化种子质量; 发芽势

结球白菜因其产量高、耐储存和耐运输等特性, 是北方地区秋季和春季的主要露地蔬菜, 其种植面积和产销量在国内蔬菜中均名列前茅^[1]。种子丸粒化是以种子为核心, 通过包衣设备将种衣剂、填充剂与其他生物活性物质均匀裹覆于种子表面的种子加工技术。应用此技术能显著增强幼苗抗性, 促进种子发芽, 提高植株成活率^[2-3]。结球白菜种子小, 直播时易出现漏播和重播的问题。为节约种子用量、满足生产全程机械化作业的要求, 结球白菜种子的丸粒化加工显得尤为重要^[4]。利用种皮渗透和细胞信号刺激等机制对白菜丸化种子进行田间机械化直播, 可有效促进作物发育和增强种子活力^[5]。粉液比是种子丸粒化加工过程中一个关键的工艺参数, 指的是固相组分(填充剂、固体生物活性成分和固体肥料)与液相组分(粘合剂、生物活性成分和液体肥料)在丸粒化配方中所占的比例, 对丸粒化种子的发芽品质和丸粒外壳的物理特性有至关重要的影响^[6]。

粉液比可影响丸粒化种子的多个特性, 包括千粒重、种子均一度、粒径和物理性质等。合适的粉液比可确保丸化材料在种子表面均匀且适量地包

裹, 使千粒重处于适宜范围, 既不会因为过轻而影响种子活力和营养储备, 也不会因为过重而阻碍种子的正常呼吸与萌发^[7]。粉液比还影响丸化种子的粒长、粒宽、长宽比、周长和面积等指标, 通过研究这些指标能深入了解丸化工艺的均匀性与一致性^[8]。粒径的大小影响种子的播种精度和在土壤中的分布状况。而抗压强度、裂解时间、破碎率、单籽率和多籽率更是衡量丸化种子物理质量和稳定性的核心指标, 适宜的粉液比能构建结构稳固、性能优良的丸化层, 增强种子在储存、运输和播种过程中的抗损伤能力, 确保种子在土壤中能按预期裂解并萌发生长^[9]。

发芽指标是评估种子活力和幼苗生长状况的关键参数, 包括发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等, 反映了种子在不同阶段的萌发能力和生长活力。粉液比可通过影响丸化种子的营养成分、水分保持能力和透气性等因素, 影响了种子的萌发特性^[10]。鲜重、干重、根长和芽长能够直观地展现幼苗的健壮度, 合适的粉液比能够为种子萌发提供良好的微环境, 促进养分的有效供给和吸收, 从而促进幼苗茁壮生长^[11]。

作者简介: 李向春, 主要从事种子包衣丸粒化技术研究, E-mail: 1909353212@qq.com

李振华为通信作者, 主要从事种子丸粒化理论、技术与工程化研究, E-mail: zhli3@gzu.edu.cn

基金项目: 贵州省重大科技成果转化项目(黔科合中引地[2024]027); 贵州省优秀青年科技人才计划项目(黔科合平台人才 YQK[2023]004); 2025 年科技成果转化联合基金项目(黔科合成果 LH[2025]重点 007); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2024]一般 094); 从江梯田湿地生态系统贵州省野外科学观测研究站项目(黔科合平台 YWZ[2024]004); 贵州省喀斯特山地水稻作物学科技创新人才团队建设(黔科合平台人才-BQW[2024]001); 贵州省粮油作物优质高效增产全省重点实验室(黔科合平台 ZSYS[2025]037)

收稿日期: 2025-05-09; **修回日期:** 2025-06-07; **网络出版日期:** 2025-07-30

目前,有关粉液比对结球白菜丸化种子萌发特性的研究报道尚不多见,本研究在恒定转速下对不同粉液比丸化种子的物理性质进行了评估,分析了各指标的变化规律和结球白菜丸化种子的发芽指标,以期为结球白菜种子的丸粒化加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

结球白菜品种选用贵州省农业科学院培育的黔白 2 号,白菜种子原初粒径 1.6~1.8 mm,丸粒化加工至 2.5~3.0 mm。丸化填充剂粉体的主要成分是滑石粉、蛭石以及特质黏土,其中滑石粉具有良好的润滑性和抗黏附性,能有效避免材料之间的过度黏连^[12];蛭石有着优异的吸水性和透气性,可调节湿度与气体交换;特质黏土则依据其特殊的矿物组成,为整体体系提供稳定性^[13]。黏合剂为羧甲基纤维素钠,其具有良好的黏合能力,确保填充剂在不同条件下都能维持稳定的结构形态^[14]。

试验所用设备包括 WS-2024 智能自动化丸化机(潍坊种丸农业科技有限公司)、TPKZ-3-L 智能考种分析系统(浙江托普云农科技股份有限公司)、KQ-3 颗粒强度测定仪(云南省化工研究院)、FYS-10 标准人工气候室(南京恒裕仪器设备有限公司)、CJY-300E 片剂脆碎度测试仪(上海黄海药检仪器有限公司)和 SR-MS-2H 磁力搅拌器(常州苏瑞仪器有限公司)。

1.2 试验方法

使用 0.5% 无水硫酸铜对结球白菜种子消毒,之后用蒸馏水冲洗 3 次,使用 DGT-G250S 电热恒温吹风烘干机使种子在 30 °C 的热风条件下烘干 4 h,使其种子表面充分回干。随后使用 WS-2024 智能自动化丸化机对消毒后的结球白菜种子进行丸化处理,每次丸化加工使用 80 g 结球白菜种子,达到预设粒径后取出种子完成分筛、烘干和密封保存,每个处理重复 4 次,并进行相应指标的测定。

通过固定 WS-2024 智能自动化丸化机 30 Hz 转速,设置了 6 个不同梯度的粉液比,即填充剂粉体使用量(g):黏合剂使用量(g),分别为 270:80 (T1)、280:85 (T2)、290:90 (T3)、300:95 (T4)、310:100 (T5) 和 320:105 (T6),每个处理重复 3 次。以未丸化的结球白菜裸种作空白对照(CK),即仅完成消毒、冲洗、烘干处理,不

进行丸化加工;并测定表征、发芽和幼苗指标,不测定其他的种子质量指标,每个处理重复 3 次。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 抗压强度 从每份处理样品中随机取 20 粒丸化种子,使用 KQ-3 颗粒强度测定仪,通过按压检测逐个测定丸化种子被压碎时的压力,统计压力值即为抗压强度。

1.3.2 裂解时间 在边长为 12 cm 发芽盒内平放 2 层滤纸,向其注入 30 mL 自来水。将 100 粒丸化种子放入装有润湿滤纸的培养皿上,记录丸化种子的裂解时间,每个处理重复 3 次。

1.3.3 破碎率 从每份处理样品中随机取 100 粒丸化种子,称重记录初始重量(M0),将丸化种子放入 CJY-300E 片剂脆度测试仪中,设置参数 50 转/min、4 min,取出仓内丸化种子(M1)与残骸(M2),分别称重,计算破碎率,同时记录完好的丸化种子数(C),每个处理重复 3 次。破碎率(%)=M2/M0×100;完整率(%)=C/100×100。

1.3.4 丸化表征 采用考种仪测定丸化种子表征指标(包括千粒重、粒长、粒宽、长宽比、周长和面积),将丸化种子充分混匀,随机取出若干粒放在考种仪上,通过拍摄图片成像、仪器称重和软件分析,得到数值,每个处理重复 3 次,取其平均值,即为丸化种子表征指标。

1.3.5 发芽指标 选取 1% 浓度的琼脂制作发芽床。将种子点播于发芽床上,在温度 25 °C,湿度 75%,12 h 光周期的人工气候箱中交替萌发,每个处理重复 4 次,每次重复 100 粒。种子发芽标准为观察到的胚根长与种子长近似相等。记录 1~7 d 的发芽数,种子发芽后第 7 天在每个重复中随机选取 5 粒种子测量芽长、根长及干鲜重。统计计算得到发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数。

发芽率(%)=(统计发芽数/供试种子总数)×100;发芽势(%)=(第 3 天的发芽种子数/供试种子总数)×100;发芽指数=∑(t 天的发芽数/相应的发芽天数);活力指数=根长(芽长)×发芽指数。

1.3.6 有籽率、单籽率和多籽率 从每份处理样品中随机取 100 粒丸化种子,将其均匀地平铺在培养皿内的白色湿润滤纸上,5 min 后用不锈钢镊子拨开外部填充剂,每个处理重复测定 4 次,计算丸化种子的有籽率、单籽率和多籽率。指标每 2 个重复之间最大允许误差值均为 2%,误差超出范围则重新进行检验。

1.4 数据处理

采用 Origin 2024 绘图，使用 Excel 2022 制表，使用 DPS V9.01 进行数据分析，采用最小显著差异法（Duncan 新复极法）进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同粉液比处理后的丸化种子物理特性指标

从表 1 可见，不同粉液比显著影响了结球白菜

丸粒化种子的千粒重。随着粉液比增加，千粒重持续上升。在 T1 处理下，千粒重为 12.42 g；而 T6 处理时，千粒重增加至 16.34 g，差异显著。这表明粉液比的增加会使更多物质包裹在种子表面，从而导致种子重量增加。对于粒长、粒宽、长宽比、周长及面积等与种子外形特性相关的指标，在不同处理下无显著差异，均表现出高度的稳定性。这表明在本研究涉及的数值区间内，粉液比对种子重量影

表 1 不同粉液比处理后丸粒化结球白菜种子的千粒重等表征参数比较
Table 1 Comparison of characteristic parameters such as 1000-grain weight of pelleted Chinese cabbage seeds after different powder-to-liquid ratio treatments

处理 Treatment	千粒重 1000-grain weight (g)	粒长 Grain length (mm)	粒宽 Grain width (mm)	长宽比 Length-width ratio	周长 Circumference (mm)	面积 Area (mm ²)
CK	2.60±0.04g	1.80±0.21b	1.70±0.15b	1.12±0.14a	5.69±0.54b	2.23±0.35b
T1	12.42±0.29f	2.77±0.24a	2.55±0.13a	1.07±0.04a	8.58±0.58a	5.11±0.59a
T2	13.02±0.07e	2.85±0.29a	2.59±0.18a	1.10±0.04a	8.78±0.73a	5.36±0.80a
T3	13.51±0.19d	2.89±0.32a	2.60±0.18a	1.11±0.05a	8.84±0.75a	5.44±0.83a
T4	14.35±0.28c	2.95±0.31a	2.62±0.13a	1.12±0.07a	9.04±0.86a	5.67±0.96a
T5	15.51±0.09b	2.96±0.38a	2.69±0.12a	1.10±0.10a	9.10±0.69a	5.80±0.79a
T6	16.34±0.39a	2.99±0.34a	2.72±0.18a	1.10±0.05a	9.20±0.79a	5.92±0.92a

不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著，下同。
Different lowercase letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level, the same below.

响较大，而对种子外形的影响较小。

抗压强度和破碎率反映了丸化种子结构的稳定性，影响了其在长度运输过程中的种子完整程度。由表 2 可知，随着粉液比升高，抗压强度呈现出不断增加的趋势。在 T1 处理时，结球白菜丸粒化种子的抗压强度为 2.56 N，在 T3 处理时，其抗压强度为 2.76 N，差异显著。而在 T6 处理时，其抗压强度达到最大，为 3.95 N，显著高于其他组

合。这可能是由于高粉液比促使丸化材料更紧密、充分地包裹种子，构建起更为坚实的防护结构，极大提升了种子耐受外界压力的能力，能有效降低种子受损风险。破碎率随粉液比上升而表现出不断下降的趋势。在 T1 处理时，破碎率为 5.00%，在 T3 处理时，破碎率降至 1.33%，差异显著。在 T6 处理时，破碎率达到最低，显著低于 T1 和 T2 处理。这表明适宜的粉液比可以有效提升丸粒化种子的

表 2 不同粉液比处理后丸粒化结球白菜种子的抗压强度、破碎率、裂解时间、有籽率、单籽率和多籽率
Table 2 The compressive strength, breakage rate, cracking time, seed-containing rate, single-seed rate, and multi-seed rate of pelleted Chinese cabbage seeds after different powder-to-liquid ratio treatments

处理 Treatment	抗压强度 Compressive strength (N)	破碎率 Breakage rate (%)	裂解时间 Cracking time (s)	有籽率 Seed-containing rate (%)	单籽率 Single-seed rate (%)	多籽率 Multi-seed rate (%)
CK	—	—	—	—	—	—
T1	2.56±0.15e	5.00±2.00a	10.73±0.70e	99.87±0.11a	81.02±0.67d	18.85±0.74a
T2	2.67±0.15de	3.33±1.53ab	12.65±0.30d	99.94±0.06a	84.38±2.03c	15.56±2.37bc
T3	2.76±0.16cd	1.33±0.58bc	13.20±0.37d	99.97±0.05a	88.02±1.13b	11.95±1.31d
T4	2.89±0.22c	1.00±1.00c	14.07±0.33c	99.99±0.02a	90.76±1.30a	9.23±1.52e
T5	3.20±0.11b	0.67±0.58c	14.96±0.61b	99.98±0.04a	85.73±1.88c	14.25±2.20cd
T6	3.95±0.27a	0.33±0.58c	16.85±0.68a	99.96±0.04a	82.14±1.69d	17.81±1.96ab

“—” 表示无数据。
“—” indicates no data.

结构稳定性。

丸化种子遇水后需要在短时间内迅速破裂，形成通气孔道，确保种子和外部的空气交换，为萌发

提供必需的氧气。若此过程受阻，将妨碍种子萌发。由表 2 可知，丸粒化结球白菜种子裂解时间随粉液比的增大而增大。在 T1 处理时，丸粒化种子

的裂解时间为 10.73 s，而 T6 处理时，裂解时间达到最大值，为 16.85 s，显著高于其他组合。这是由于粉液比上升使得丸化层增厚、致密性增强，从而导致水分渗透、种子萌发突破丸化层所需时长相应增加。

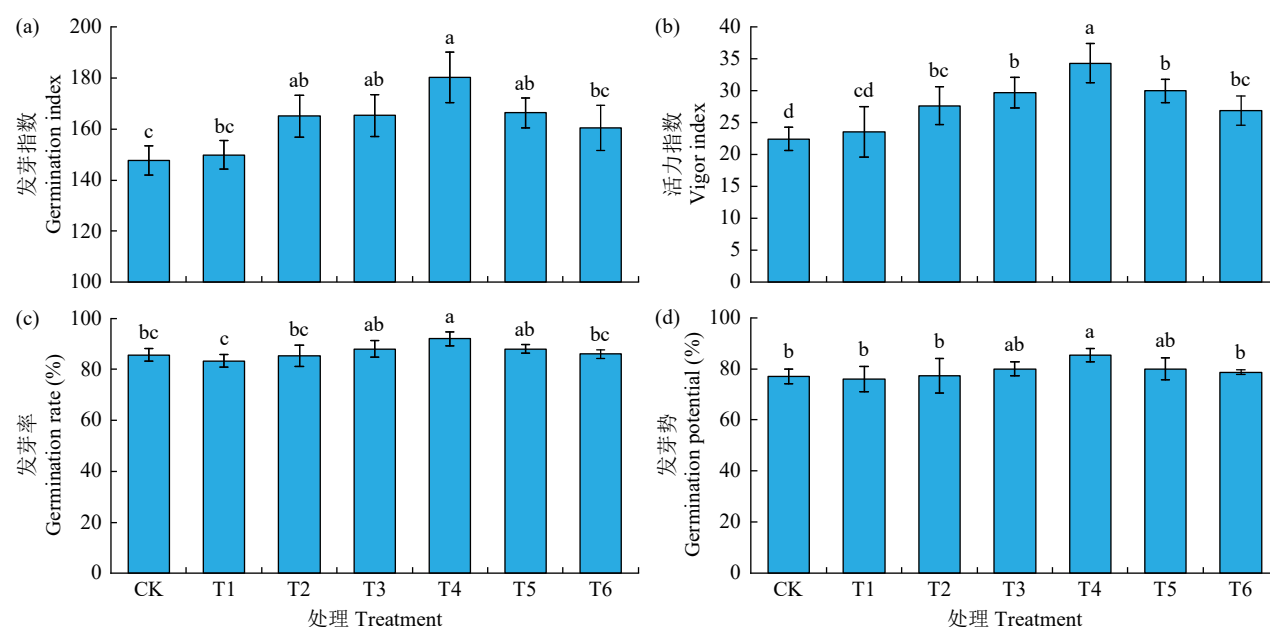
有籽率反映了丸粒化配方与种子结合的适应能力，适宜的组配可以使种子与粉体更好黏附。本试验所采用的粉液比均可以使丸粒化白菜种子的有籽率保持在较高水平，各配比之间无显著差异。在 T4 处理时，种子具有最高的单籽率，达到 90.76%，显著高于其他组配；而此时的多籽率也达到最低，为 9.23%，显著低于其他组配。

因此，精确控制粉液比对于提升结球白菜丸化种子质量极为关键。适宜的粉液比既能够增强丸化种子外壳的物理防护，确保种子均一性，还可以平衡裂解过程，对种子的储存运输和发芽进程造

成影响。

2.2 不同粉液比处理后的发芽指标

如图 1 所示，发芽率随粉液比变化呈现出先增后减的正态分布特征。T1 处理时，发芽率为 82.6%；而在 T4 处理时，发芽率达到最高值，为 92.0%，明显高于其他处理。这表明适宜的粉液比能够形成恰当厚度的丸化层，为种子萌发提供理想环境，既为种子提供充分保护，又确保其与外界的物质交换，从而满足对水分和氧气的需求。相反，粉液比过高会导致丸化层过厚，阻碍种子与外界水气进行交换，进而抑制种子萌发。发芽势与发芽率呈现出类似的趋势，在 T4 处理时，发芽势达到最大值，为 85.33%，明显高于其他处理。除 CK 处理外，发芽指数在 T1 处理时最低，明显低于其他处理，在 T4 处理时达到最大值，为 180.23。活力指数在 T4 处理时达到最高，为 34.29，显著高于其他处理



不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著，下同。

Different lowercase letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level, the same below.

图 1 不同粉液比下丸粒化结球白菜种子的发芽指标

Fig.1 Germination indices of pelleted Chinese cabbage seeds under different powder-to-liquid ratios

($P < 0.05$)。

综合来看，在 T4 处理下，结球白菜丸化种子的发芽指标达到最优，适宜的粉液比显著促进了种子萌发和幼苗早期生长。适宜的粉液比不仅能够使种子保持较高的种子活力，还为培育健壮幼苗群体打下坚实基础。相反，粉液比超出适宜范围会导致丸化层对萌发初期的刺激和保护作用失衡，进而削弱了种子的生活力。

2.3 不同粉液比处理后的丸化种子幼苗生长指标

图 2 展示了不同粉液比对结球白菜丸化种子幼苗生长特性的影响。随着粉液比的增加，结球白菜幼苗的根长呈现先增后减的趋势，这表明适宜的粉液比能够为种子萌发后的根系生长创造良好条件，使得根系能够更充分地在培养基中伸展，汲取水分与养分。而当粉液比过高时，丸化层过厚阻碍了根系突破，限制了根系进一步发育，从而导致根长较

小。芽长也显示出相似的趋势，在 T4 处理时达到最大值，为 5.42 mm。说明在此粉液比区间内，适宜的丸化层环境为结球白菜幼苗的初期发育提供保障，超出适宜范围则抑制芽长增长。

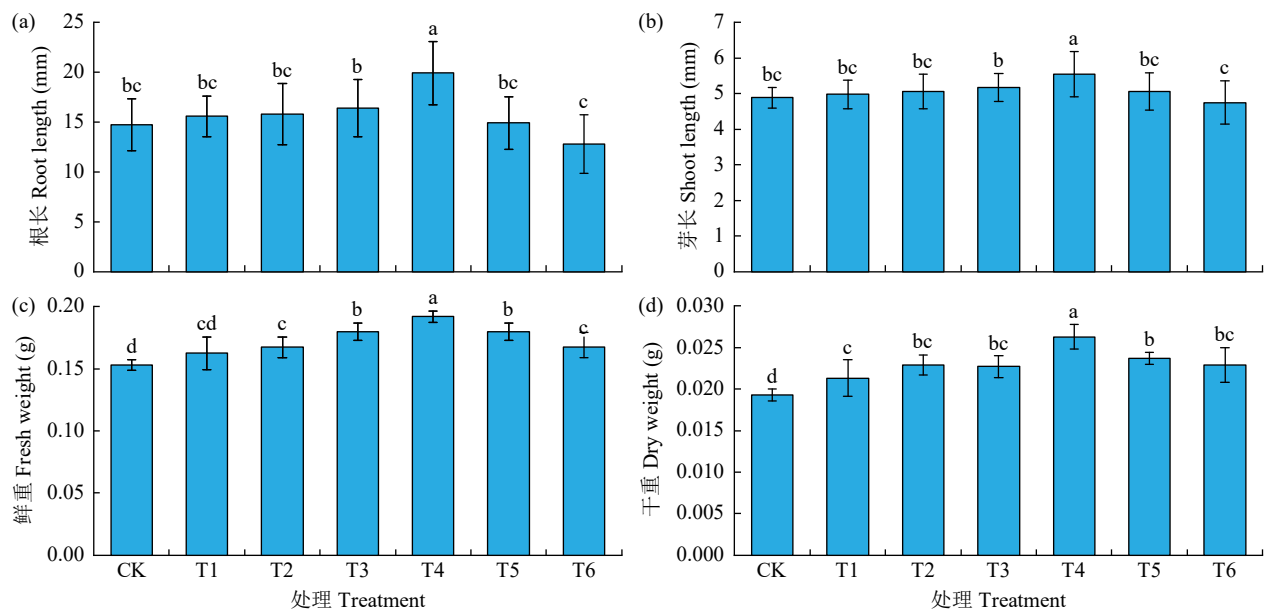


图 2 不同粉液比下丸化结球白菜种子发芽 7 d 后的幼苗品质

Fig.2 The seedling quality of pelleted Chinese cabbage seeds seven days after germination under different powder-to-liquid ratios

干重与鲜重的变化规律较为相似，在 T1 处理时，其干重为 0.0213 g，在 T4 处理时，干重达到最大值，为 0.0263 g。鲜重在 T4 处理时达到最大值（0.19 g）。这反映出在合适的粉液比下，种子萌发后幼苗能够高效积累物质，细胞充盈良好，生长旺盛；而粉液比不合适则干扰幼苗的物质合成与积累进程，影响其生长活力。因此，T4 处理结球白菜丸化种子幼苗的根长、芽长、干重及鲜重等生长指标综合表现最优，为幼苗茁壮成长提供坚实基础。

2.4 粉液比与丸化种子物理特性指标、发芽品质及幼苗生长指标的相关性分析

图 3 显示了经不同粉液比丸化后，丸化种子的物理特性与种子发芽品质及幼苗生长指标相关性的分析结果。分析结果表明，丸化种子的抗压强度与裂解时间、千粒重呈正相关，而与破碎率、多籽率、根长、芽长等指标呈负相关；裂解时间与千粒重、粒宽、有籽率等指标呈正相关；破碎率与抗压强度、裂解时间、千粒重、有籽率、长宽比、单籽率、鲜重、种子发芽率、发芽势、干重、发芽指数、活力指数等指标均呈负相关；有籽率与长宽比、单籽率、鲜重、发芽率、发芽势、干重、发芽指数、活力指数呈显著正相关；单籽率与鲜重、发芽率、发芽势、干重、发芽指数、活力指数呈显著正相关；

多籽率与根长、芽长、有籽率、长宽比、单籽率、鲜重、发芽率、发芽势、干重、发芽指数、活力指数呈显著负相关。上述分析有助于深入理解丸化种子处理对种子质量和幼苗生长的潜在影响。

3 讨论

本研究聚焦于恒定转速下粉液比对结球白菜丸化种子质量指标的影响，所获得的丸化种子指标与发芽指标数据，揭示了粉液比在丸化种子制备及后续生长过程中的关键作用，为优化结球白菜丸化种子生产工艺提供了较为深入的见解。

从丸化种子指标来看，千粒重与粉液比呈现出显著的正相关关系。随着粉液比从 270:80 逐步提升至 320:105，千粒重持续增加，更多丸化材料包裹种子，进而增加了种子重量。然而，过高的千粒重可能会影响储存、运输及播种过程的效率，增加仓储成本、降低播种均匀性^[15-16]。而相对稳定的粒长、粒宽、长宽比、周长及面积等外形指标，意味着在本研究粉液比范围内的丸化过程并未对种子外形进行重塑，这为维持种子原有物理特性提供了依据。

抗压强度、破碎率和裂解时间等指标对粉液比变化敏感。抗压强度随粉液比增大而增强，在 320:105 时达到最高值，说明适宜的高粉液比能构

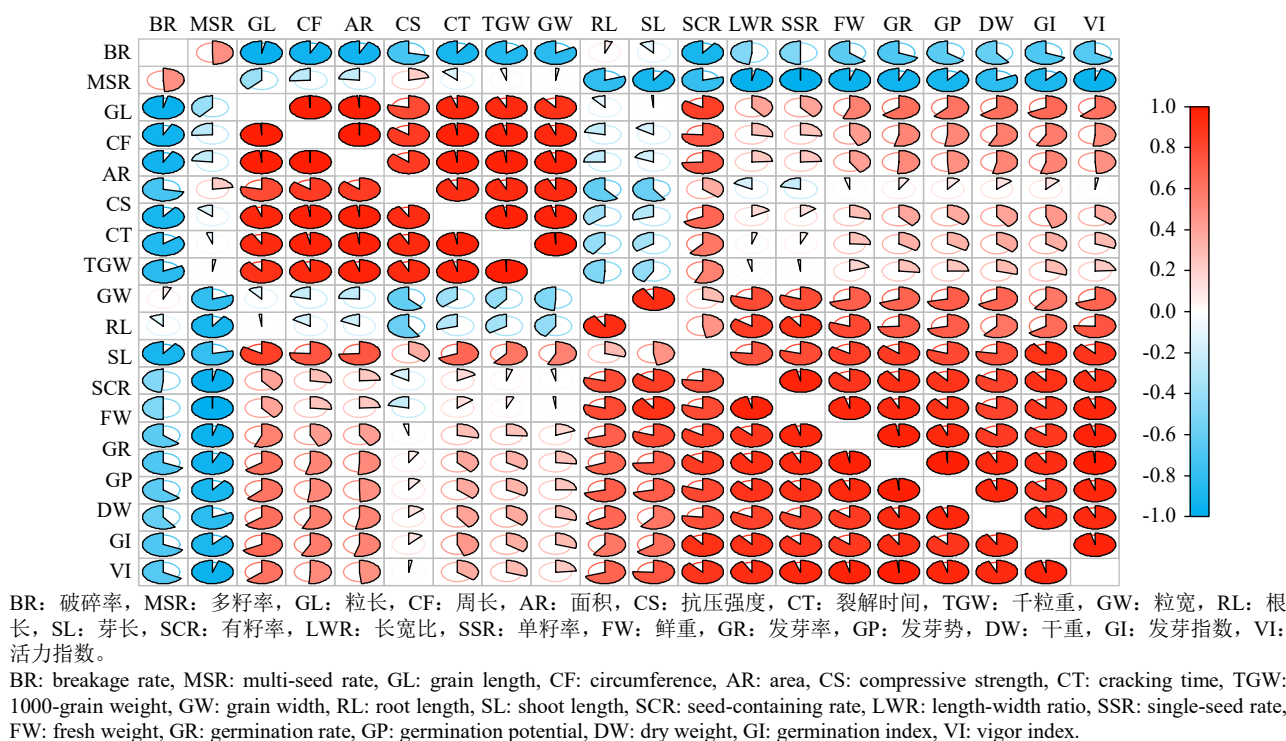


图3 粉液比与丸化种子物理特性指标、发芽品质及幼苗生长指标的相关性分析
Fig.3 Correlation analysis of powder-liquid ratio with physical property indicators, germination quality, and seedling growth indicators of pelleted seeds

建稳固的丸化层，有效保护种子免受机械损伤，利于加工与处理环节。破碎率的降低趋势与之呼应，显示强韧的丸化层可减少种子破碎风险^[17-18]。裂解时间延长表明了高粉液比虽强化保护，但可能阻碍种子在土壤中及时吸水萌发。本试验中有籽率的数值稳定在高位，试验种子未在丸化过程中造成大量损失^[19]。

发芽指标方面，发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数在粉液比 300:95 附近达到峰值，而后下降，表明该粉液比能营造最佳的种子萌发微环境，丸化层既能提供足够养分与保护，又不阻碍种子与外界物质交换和呼吸作用。超出此范围，如粉液比过高，丸化层可能过于致密，限制氧气和水分进入，抑制种子内部酶活性，降低萌发活力^[20]。根长、芽长、干重和鲜重等幼苗生长指标同样在 300:95 粉液比下表现最优。适宜粉液比保障了种子萌发后幼苗能迅速扎根，积累充足干物质，维持良好细胞充盈状态。这与种子萌发指标相互印证，凸显了粉液比通过影响种子初始状态，间接调控幼苗早期生长发育。

综合各项指标，粉液比在 300:95 时实现了丸化种子物理保护与萌发、幼苗生长促进的最佳平

衡。但不同结球白菜品种、种植环境及后续加工要求可能对粉液比有不同需求。未来研究可拓展至多元品种与复杂环境，深入剖析粉液比作用机制。

4 结论

结球白菜丸化种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数在粉液比为 300:95 时达到较优水平，根长、芽长、干重和鲜重指标同样在此粉液比下表现最佳，粉液比 300:95 在本研究中对白菜丸化种子的质量提升效果显著，为结球白菜丸化种子生产实践提供了精准调控工艺参数。

参考文献

- [1] 刘玄. 结球白菜种植技术与病虫害防治方法实践分析. 河北农机, 2023(23): 82-84.
- [2] 谢锦, 韩立朴. 我国种子丸粒化研究现状及展望. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(4): 605-615.
- [3] 赵海新, 徐令旗, 陈书强, 等. 国内外种子丸粒化技术研究进展. 作物杂志, 2024(6): 18-25.
- [4] 胡建平, 慕春晖. 磁粉包衣丸粒化蔬菜种子活力性能试验. 农业工程学报, 2010, 26(9): 120-123.
- [5] Arvind G, Eevera T, Kumaran S, et al. Seeds of excellence: review on impact of seed quality enhancement on babygreens biomass production. Journal of Agriculture and Food Research, 2025, 19: 101597.
- [6] 张帅扬, 吕程序, 白圣贺, 等. 油菜种子甩盘式丸化加工试验与参数优化. 农业机械学报, 2022, 53(增2): 131-140.
- [7] Ran W H, Xu F S, Zhang Y, et al. Development of acid-resistant

- seed pelletization formula and its effects on improving rapeseed growth in acidic soil. *Plant Soil*, 2024, 504(1/2): 147-165.
- [8] Xu J, Sun S L, Li X T, et al. Research on the population flow and mixing characteristics of pelleted vegetable seeds based on the bonded-particle model. *Agriculture*, 2024, 14(5): 752.
- [9] Hill H J. Seed pelleting-history and modern fundamentals. *HortScience*, 1994, 29(12): 1408.
- [10] 任亚玲, 罗天, 薛森武, 等. 饲用甜高粱种子萌发的抗逆性研究. *饲料研究*, 2025, 48(2): 144-149.
- [11] Javed T, Afzal I. Impact of seed pelleting on germination potential, seedling growth and storage of tomato seed. *Acta Horticulturae*, 2020, 1273: 417-424.
- [12] Teldjoun M, Mendas M, Mzali S, et al. Reciprocating sliding wear behavior of talc-filled polypropylene: effect of talc proportion. *Tribology International*, 2024, 200: 110074.
- [13] Fernández M D, Fernández M J. Vermiculite/poly (lactic acid) composites: effect of nature of vermiculite on hydrolytic degradation in alkaline medium. *Applied Clay Science*, 2017, 143: 29-38.
- [14] Abdullaevich Y S, Ergashovich Y K, Abdukhalilovich S A, et al. Synthesis and characterization of sodium-carboxymethylcellulose from cotton, powder, microcrystalline and nanocellulose. *Polymer Engineering and Science*, 2022, 62: 677-686.
- [15] 张民, 杨阳, 伍雨, 等. 引发和丸化处理及储藏温度对烟草种子生活力的影响. *中国种业*, 2021(5): 73-76.
- [16] Ma X J, Liu M, Hou Z F, et al. Optimization of process parameters for *Trifolium pratense* L. seed granulation coating using GA-BP neural network. *Heliyon*, 2024, 10(18): e38003.
- [17] Lü Y Y, He X Q, Hu X W, et al. The seed semipermeable layer and its relation to seed quality assessment in four grass species. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1175.
- [18] 马英明, 李斌. 选种对烟草种子萌发及烟苗生长的影响. *烟草科技*, 2000(2): 45-46.
- [19] Alimova F A, Saidova M T, Sh Primkulov B. Pneumatic feed mechanism for accurate sowing of bare cotton seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, 12: 1231.
- [20] Abdukerim R, Xiang S, Shi Y X, et al. Seed pelleting with gum arabic-encapsulated biocontrol bacteria for effective control of clubroot disease in pak choi. *Plants*, 2023, 12(21): 3702.

Effects of Different Powder-to-Liquid Ratios under Constant Rotational Speed on the Quality Indices of Pelleted Seeds of Chinese Cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*)

Li Xiangchun, Hu Xingzhao, Wu Yushi, Liu Shan, Zhou Chunjie, Peng Keqin, Yang Chenglou, Luo Changjing, Wang Jianglong, Bilquees Bozdar, Cao Guofan, Li Zhenhua

(College of Agriculture, Guizhou University / Rice Industry Research Institute / Guizhou Key Laboratory of Molecular Breeding for Grain and Oil Crops / Guizhou Key Laboratory of Functional Agriculture in Higher Education Institutions, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract Using the seeds of “Qianbai No.2” Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) as experimental materials, the effects of different powder-to-liquid ratios under constant rotation speed on the quality indices of pelleted Chinese cabbage seeds were explored. The results showed that with the increase of the powder-to-liquid ratio, the 1000-seed weight, compressive strength, and cracking time of the pelleted seeds gradually increased, while the breakage rate continuously decreased. As the powder-to-liquid ratio changed, the germination indices of the pelleted Chinese cabbage seeds showed a normal distribution characteristic of increasing first and then decreasing. When the powder-to-liquid ratio was 300:95, the seeds exhibited the highest single-seed rate and the lowest multi-seed rate. The pelleted Chinese cabbage seeds had the highest germination rate, germination potential, germination index, and vigor index, and the seedling growth indices also showed a normal distribution trend. For the pelleted Chinese cabbage seeds treated with the powder-to-liquid ratio of 300:95, on the seventh day after germination, root length, shoot length, dry weight, and fresh weight of the seedlings all reached the maximum values.

Key words Chinese cabbage; Seed; Constant rotation speed; Powder-to-liquid ratio; Pelleted seed quality; Germination potential