

播后镇压对谷子出苗率和土壤物理性质的影响

司卓越 王媛 王泽山 李晓瑞 原向阳

(山西农业大学农学院, 030801, 山西太谷)

摘要 为筛选谷子播后镇压的最佳时间及强度提供科学依据, 通过室内盆栽试验, 研究了4个镇压时间[播后0 d (A1)、1 d (A2)、2 d (A3)及3 d (A4)]与5个镇压强度[0 (T0)、0.25 (T1)、0.50 (T2)、0.75 (T3)和1.00 kg/cm² (T4)]对旱作谷子出苗率和土壤物理性质的影响。结果显示, A1T3处理谷子的出苗率最高, 为80.77%, 较A1T0处理增加了28.57%; A1T3处理出苗时间最短, 为5 d左右。随着镇压强度增加, 所有处理土壤总孔隙度均逐渐减小, 土壤容重逐渐增大, 土壤三相偏离值逐渐减小, A1T3组合较A1T0组合土壤总孔隙度减小了17.67%, 容重增加了62.96%, 三相偏离值减小了17.48%。综上, 播后立即镇压, 强度0.75 kg/cm² (A1T3)时谷子出苗质量最佳。

关键词 谷子; 镇压; 出苗率; 出苗时间; 土壤物理性质

山西素有“小杂粮王国”的美誉, 谷子位居杂粮之首, 全省谷子种植面积超过20万hm²[1]。谷子是我国的传统农作物, 属禾本科狗尾草属 (*Setaria italica* L.) 植物, 脱壳处理后称小米[2-3], 小米味甘、微寒, 有养生功效[4], 健脾胃、泄湿、安神, 兼有食用和药用价值[5], 是日常膳食中最常用的杂粮之一, 其市场需求量大, 经济效益高, 种植前景好[6]。山西省谷子春季播种期土壤干旱、墒情不足导致的播种难和出苗难等问题屡见不鲜, 播种后顺利出苗成为谷子实现稳产高产的关键步骤。研究[7-9]表明, 播后镇压可以有效密实土壤, 降低水分蒸发速度, 保水提墒, 为实现苗全苗壮创造有利条件。因此, 在春季降雨不足的情况下, 如何通过适宜的播后镇压方式提高谷子的出苗质量, 改善土壤物理性质, 是目前亟待解决的问题。针对小麦和玉米等机械化程度较为成熟的大宗作物开展的镇压研究颇多, 任孝忠等[10]研究表明, 在土壤墒情不好时对小麦进行播后镇压, 能有效提高小麦出苗率并增加产量; Miransari等[11]研究表明, 适当镇压可以提高土壤的紧密度, 改善土壤保墒、保水和保肥能力, 促进玉米生长; 孟儒等[12]研究表明, 麦田镇压不仅可以提高耕层土壤含水量, 增加土壤紧实度, 具有提高地温和保墒提墒的作用, 而且通过机械镇压能有效增强其抗倒伏能力; 侯平军等[13]研究认为, 双镇压能

很好地压碎、压实土壤, 小麦籽粒与土壤密实结合, 避免了透风失墒和缺苗断垄, 弥补了因秸秆粉碎不足而出现的“悬空苗”和“高脚苗”, 确保了种苗出土均匀一致, 使苗期植株整齐、健壮; Kucukerdem等[14]研究表明, 土壤压实对玉米出苗有积极影响。目前, 前人研究主要集中在镇压对冬小麦[15]和玉米[16]等大田作物出苗质量的影响, 有关镇压对谷子出苗质量的研究较少, 李笃仁等[17]研究发现, 播前镇压对谷子出苗和提升谷子质量均有一定促进作用, 但播后镇压能否提高谷子的出苗率以及是否对土壤物理结构存在改善作用尚不清楚。由于谷子是小籽粒作物, 千粒重仅有3g左右[18], 幼苗顶土能力弱、出苗受环境影响较大[19], 其他作物的镇压研究结果不能完全应用于谷子生产。为此, 本研究以晋谷21号为材料, 通过盆栽试验探究谷子播后镇压时间及强度对谷子出苗率和土壤物理性质的影响, 以期筛选大田谷子播后镇压的最佳时间及强度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验所用土壤采自山西省太谷区的常规谷田, 经筛选去除石块等杂质后, 通过人工调整固定面积上的重物质量来改变镇压强度。试验在24~25℃,

作者简介: 司卓越, 主要从事作物高效栽培理论研究, E-mail: 1158155493@qq.com

原向阳为通信作者, 主要从事现代杂粮(谷子)农业生产, E-mail: yuanxiangyang200@sxau.edu.cn

基金项目: 山西省高等学校大学生创新创业训练项目(202210113145); 山西省高等学校科技成果转化培育项目(2020CG026); 山西省科技创新人才团队专项计划(202204051002036); 国家重点研发计划(2021YFD1901103-5)

收稿日期: 2024-12-09; 修回日期: 2025-02-09; 网络出版日期: 2025-03-20

8000 lx、8 h（光照）/0 lx、16 h（黑暗）的培养条件下进行。采用二因素随机区组设计，3 次重复，设镇压时间和镇压强度 2 个因素，镇压时间设播种后立即镇压（A1）、播种 1 d 后镇压（A2）、播种 2 d 后镇压（A3）和播种 3 d 后镇压（A4）4 个水平；镇压强度设 0（T0）、0.25（T1）、0.50（T2）、0.75（T3）和 1.00 kg/cm²（T4）5 个水平。T1 镇压强度为体重 48 kg 的成年女性，38 码的脚（脚印面积约 192 cm²）单脚踩踏产生的压强，以此压强为参照换算成沙袋和砖块对应的压强进行镇压，进行阶梯式扩展试验。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 出苗率 从播种后 1 d 开始观察统计谷子出苗数，直到出苗数恒定为止；计算公式为： $S_p = E_n / S_n \times 100\%$ ，其中， S_p 表示出苗率， E_n 表示出苗数， S_n 表示播种数。

1.2.2 出苗时间 每日记录每盆的出苗数量，直至不再出苗，同时记录出苗所需的时间。

1.2.3 土壤物理性质 于镇压后 7 d 进行土壤物理性质的测定。土壤含水率（%）= $(W_1 - W_4) / (W_4 - W_0) \times 100$ ；土壤容重 = $(W_4 - W_0) / V$ ；土壤总孔隙度（%）= $(W_2 - W_4) / V \times 100$ ，式中， W_0 为环刀重（g）， W_1 为环刀加自然土重（g）， W_2 为达到饱和土壤含水量时环刀加土重（g）， W_3 为重力水排出后环刀加土重（g）， W_4 为烘干后环刀加土重（g）， V 为环刀体积（cm³）。

1.2.4 土壤三相比 适宜作物生长的土壤三相比为固相:液相:气相=50:25:25^[20]，将该数据看作空间中一点作为参照物，将实际测定的土壤三相比数据看作空间另一点，用两点之间距离的远近评价实际测定土壤三相比（ R ）的优劣。

$R = \sqrt{0.4 \times (X - 50)^2 + (Y - 25)^2 + 0.6 \times (Z - 25)^2}$ ，式中， R 为所测定土壤样品三相比与适宜状态下土壤三相比在空间距离上的差值； X 为土壤样品固相测定值， Y 为土壤样品液相测定值， Z 为土壤样品气相测定值；0.4 为土壤固相数据所占权重，0.6 为土壤气相数据所占权重； R 值越小，土壤三相比越好^[21]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件进行数据统计，使用 SPSS 25 和 Excel 2019 进行统计分析和制图，采用方差分析（AVONA）和 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同镇压处理对谷子出苗率的影响

由图 1~2 可知，播种后镇压能提高谷子出苗率，随镇压强度的增加出苗率呈先上升后下降的趋势，A1T3 组合的镇压效果最好。与 A2、A3、A4 处理相比，T1、T3 和 T4 镇压强度水平下，A1T1、A1T3 和 A1T4 出苗率最高，A1T2 处理也处于较高水平，5 个镇压条件下的出苗率分别为 62.82%、78.21%、75.64%、80.77% 和 62.82%。与 T0 相比，T3 处理下出苗率提高了 28.57%。A2 处理出苗率趋势与 A1 相似，镇压后 5 个处理种子出苗率分别

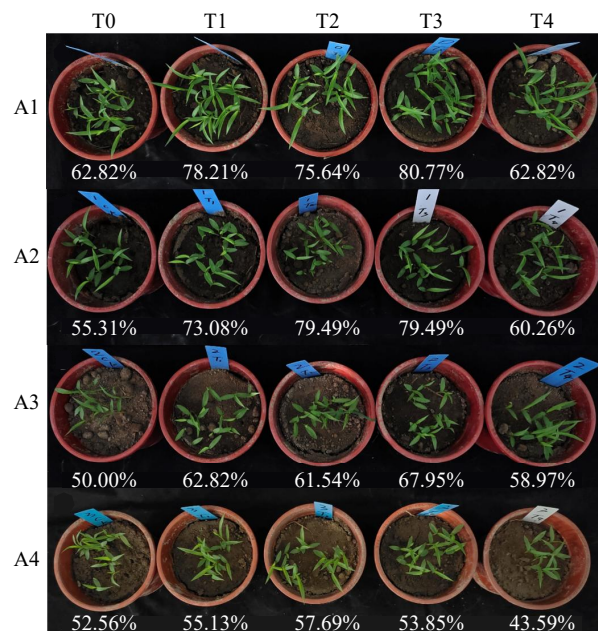


图 1 不同镇压时间及镇压强度对出苗率的影响

Fig.1 Effects of different suppression time and intensity on seedling emergence rate

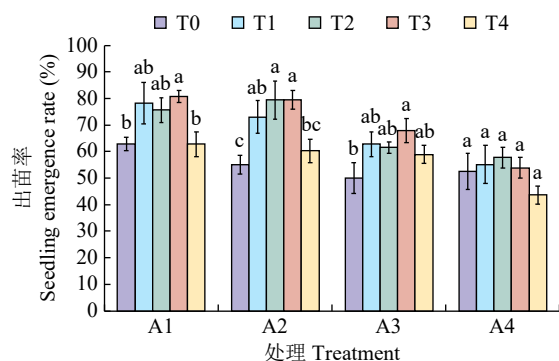


图 2 不同镇压处理对谷子出苗率的影响
Different lowercase letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level. The same below.

Fig.2 Effects of different suppression treatments on seedling emergence rate of foxtail millet

为 55.13%、73.08%、79.49%、79.49%和 60.26%，其中 T2 和 T3 处理的出苗率最高，与 T0 处理相比均提高了 44.19%。A3 和 A4 处理后，出苗率也有提高但处理间差异不显著。

2.2 不同镇压处理对谷子出苗时间的影响

从表 1 可以看出，A1 处理出苗时间随镇压强度的增加逐渐缩短，但在 T4 处理时出苗时间有所延长，T3 处理出苗所需时间最短，出苗速度最快；A2 处理随着镇压强度的增大，出苗时间逐渐缩短；A3 与 A4 处理间存在显著差异，然而在不同的镇压强度下，出苗时间均较长，镇压效果欠佳。

表 1 不同镇压处理对出苗时间的影响
Table 1 Effects of different suppression treatments on seedling emergence time

处理 Treatment	A1	A2	A3	A4
T0	10.33±0.50a	11.67±0.58a	11.33±0.58b	12.33±0.58b
T1	8.67±0.58b	12.67±0.52a	13.33±1.15a	9.67±0.54d
T2	7.67±0.53b	8.33±1.15b	12.67±0.55a	13.33±0.58a
T3	5.33±0.58c	7.00±0.00b	10.67±0.59bc	11.00±0.00c
T4	8.33±0.56b	7.00±1.00b	9.67±0.58c	12.67±0.58ab

2.3 不同镇压处理对土壤总孔隙度和土壤容重的影响

图 3 表明，播种后镇压处理可以降低土壤总孔隙度，在 A1、A2、A3 和 A4 处理下随着镇压强度的增加土壤总孔隙度均逐渐下降，且 4 个处理土壤总孔隙度均显著低于 T0 处理。图 4 显示，土壤容重变化趋势与土壤总孔隙度相反，总孔隙度越大，土壤越疏松多孔，容重越小；总孔隙度越小，土壤越紧实，容重越大；随镇压强度的增加 A1、A2、A3 和 A4 处理土壤容重逐渐增大。其中出苗率最高、出苗时间最短的 A1T3 处理，土壤总孔隙度为



图 3 不同镇压处理对土壤总孔隙度的影响
Fig.3 Effects of different suppression treatments on total soil porosity

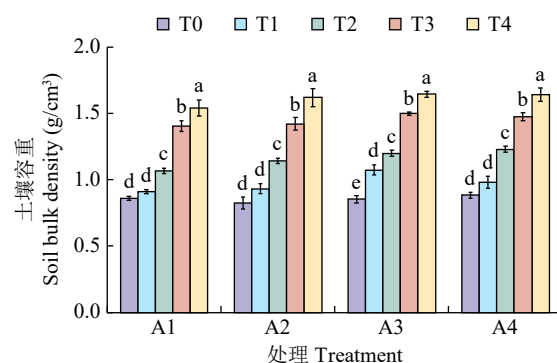


图 4 不同镇压处理对土壤容重的影响
Fig.4 Effects of different suppression treatments on soil bulk density

50.46%，较 T0 处理下降了 17.67%，土壤容重为 1.76，较 T0 处理上升了 62.96%。

2.4 不同镇压处理对土壤含水率的影响

镇压后的土壤含水率结果（图 5）表明，A1 处理下，随镇压强度的增加，土壤含水率逐渐增加，T3 处理土壤含水率为 18.1%，与 T0 处理相比提高了 21.5%，T4 处理土壤含水率为 18.7%，T3、T4 处理间无显著差异；A2 和 A3 处理下，T3 处理含水率均达到最大，分别是 16.8%和 14.3%，但在 T4 处理下，土壤含水率均有所下降；A4 处理下，土壤含水率影响无明显规律，各处理间差异不显著。

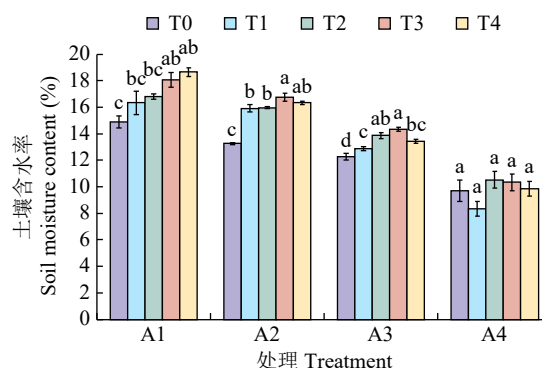


图 5 不同镇压处理对土壤含水率的影响
Fig.5 Effects of different suppression treatments on soil moisture content

2.5 不同镇压处理对土壤三相比的影响

由图 6 可以看出，在 A1、A2、A3 和 A4 处理下，T1、T2、T3 和 T4 处理的土壤三相比均优于 T0 处理。随着镇压强度的增加，土壤三相比 R 值逐渐降低，说明镇压后土壤的三相比更优。特别是在 A1T3 处理下，不仅出苗率最高，出苗时间最短，其土壤物理结构也得到显著改善，土壤三相比为 31.45，较 T0 处理下降 17.48%，差异达显著水平。

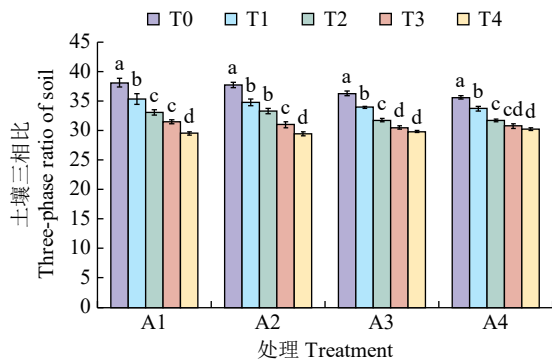


图6 不同镇压处理对土壤三相比的影响
Fig.6 Effects of different suppression treatments on three-phase ratio of soil

3 讨论

出苗率的高低直接影响谷子的产量和质量。本试验中，A1T3处理的出苗率最佳，出苗率可达80.77%，较T0处理出苗率提高了28.57%，这与梁鸡保^[22]研究结果一致，说明播种后镇压在一定范围内能有效提高谷子出苗率。除A1T4和A4T4处理外，各处理较T0处理出苗率均有所增加，T0处理谷子出苗率低的原因可能是不镇压导致表土失墒过快，种子因不能吸收足够的水分而难以达到萌发条件。上述结果表明，由镇压所导致的土壤墒情状况改变是限制种子萌发的关键因素^[23]。但有研究^[24]表明，当土壤湿度过大时镇压会导致土壤结构破坏从而限制出苗。过度的镇压同样会对种子的出苗质量表现出负面作用，因此实际生产中要考虑不同的土壤状态，因地制宜确定镇压措施。本试验条件下，A1T3组合下谷子出苗所需时间最短，为5d左右，A1T4组合下出苗时间延长为8d左右，推测可能是由于镇压强度过大，导致土壤紧实度增加而总孔隙度减小，受氧气不足的限制而难以出苗，这与朱卫红等^[25]关于高深度播种出苗差、种子萌发受到氧气不足的限制这一原因类似。土壤容重作为衡量土壤结构特征及整体质量的关键指标，对作物的生长发育、产量形成以及品质的塑造具有重要作用。良好的土壤孔隙度对土壤中水分和养分的运输具有决定性作用^[26]。本试验结果表明，播种后镇压，土壤容重呈升高趋势，土壤总孔隙度呈下降趋势，镇压处理与未镇压处理之土壤容重达到了显著差异水平，与党红凯等^[27]对小麦研究中镇压可以压实土壤和压碎土块，保证幼苗出苗整齐健壮的结果一致，表明镇压具有增加土壤紧实度和保持土壤湿度的作用。土壤作为一个复杂且多层次的生态系

统，通过镇压处理能够改变其物理结构，显著改善土壤的三相比，进而优化土壤气相、液相和固相的空间分布格局，为谷子的萌发和生长创造更加有利的土壤环境条件。李嵩等^[28]的研究认为，镇压措施可以调节土壤中水分、养分、空气和热量的比例关系，为作物生长营造更为适宜的环境。展文洁等^[29]研究表明，播后镇压改善了土壤结构，使土壤三相比更接近于理想状态，这与本研究结果类似。

由于本研究采用盆栽播种方式，谷子的生长受到盆体大小以及室内单一环境的限制，这可能会致使谷子叶片光合效能不足和营养供应匮乏等问题，进而对谷子的生长和发育产生影响。此外，本研究未开展大规模的田间试验，在后续试验中仍需进一步深入探讨。

4 结论

播后镇压在一定镇压强度内可以调节土壤孔隙和土壤容重，使土壤三相比更优，提高土壤含水率，利于谷子出苗并有效提高出苗率与出苗速度。本试验表明，在播后立即镇压，且镇压强度为0.75 kg/cm²时，对盆栽谷子出苗最有利。

参考文献

- [1] 吴晋斌. 攥紧中国种子做足山西分量. 农民日报, 2022-11-08(4).
- [2] 刁现民. 禾谷类杂粮作物耐逆和栽培技术研究新进展. 中国农业科学, 2019, 52(22): 3943-3949.
- [3] Jia G Q, Huang X H, Zhi H, et al. A haplotype map of genomic variations and genome-wide association studies of agronomic traits in foxtail millet (*Setaria italica*). Nature Genetics, 2013, 45: 957-961.
- [4] 陈茜午, 温蕊, 张永虎, 等. 谷子育种研究进展. 贵州农业科学, 2021, 49(5): 10-16.
- [5] 许寅生, 郭亚丽, 王玉祥, 等. 谷子的营养价值及产品开发. 农业科技通讯, 2018(3): 152-155.
- [6] 余彬情. 小米的价值及种植技术研究. 种子科技, 2023, 41(3): 70-72.
- [7] Bouwman L A, Arts W B M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. Applied Soil Ecology, 2000, 14(3): 213-222.
- [8] Arvidsson J. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. Plant and Soil, 1999, 208: 9-19.
- [9] 肖轶烧, 景东林. 不同时期镇压对冬小麦生长发育和产量的影响. 农业科技通讯, 2019(5): 155-156.
- [10] 任孝忠, 鲁海燕, 李慧吉, 等. 播后镇压对提高小麦出苗率的影响试验. 云南农业科技, 2020(5): 14-16.
- [11] Miransari M, Bahrami H A, Rejali F, et al. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on corn (*Zea mays* L.) growth. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(8): 2014-2026.
- [12] 孟儒, 鞠正春, 于秀丽, 等. 推广机械镇压技术提高小麦产量. 农业知识, 2022(11): 12-15.

- [13] 侯平军, 宋淑玲, 崔永辉, 等. 优质小麦宽幅精播双镇压栽培技术. 基层农技推广, 2023, 11(5): 89-91.
- [14] Kucukerdem H K, Altikat S. Evaluating effects of post-sowing compaction and sowing speed on soil properties, distribution of seed placement and second crop maize performance. *Agricultural Mechanization Asia, Africa and Latin America*, 2022, 53(1): 46.
- [15] 蔡斌, 嵇其翠, 王法宏, 等. 冬前镇压和灌溉对冬小麦植株形态和产量的影响. *中国农业大学学报*, 2019, 24(10): 30-38.
- [16] 姜业成, 孙海全, 邓奥严, 等. 苗带重镇压对土壤环境、玉米生长及产量的影响. *玉米科学*, 2022, 30(6): 118-123.
- [17] 李笃仁, 高绪科, 汪德水, 等. 旱地土壤播前镇压的增产效果. *山西农业科学*, 1984(1): 2-4.
- [18] 李霄鹤, 吴海岩, 焦海涛, 等. 小粒谷物精量播种机的研制与改进. *河北农机*, 2016(2): 10, 12.
- [19] 王华. 谷子高产高效栽培技术. *现代农村科技*, 2024(2): 31.
- [20] 张鹏飞, 周怀平, 杨振兴, 等. 有机无机肥配施对谷子产量及经济效益的影响. *山西农业科学*, 2023, 51(7): 756-763.
- [21] 郭海斌, 冀保毅, 王巧锋, 等. 深耕与秸秆还田对不同质地土壤物理性状和作物产量的影响. *河南农业大学学报*, 2014, 48(4): 505-511.
- [22] 梁鸡保. 露地穴播谷子不同播种量对出苗的影响. *农业开发与装备*, 2018(11): 151-152.
- [23] 党红凯, 曹彩云, 郑春莲, 等. 造墒与播后镇压对小麦冬前耗水和生长发育的影响. *中国生态农业学报*, 2016, 24(8): 1071-1079.
- [24] 赵俊卿, 任建军, 陈伟伟. 夏大豆一播全苗壮苗技术. *河南农业*, 2019(31): 52.
- [25] 朱卫红, 铁双贵, 孙建军, 等. 不同土壤质地及播种深度对甜玉米出苗潜力的影响. *河南农业科学*, 2005(11): 37-38.
- [26] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter I. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 681-689.
- [27] 党红凯, 曹彩云, 李科江, 等. 冬小麦播后镇压技术规程. *河北科技报*, 2018-10-16(B04).
- [28] 李嵩, 韩巍, 张凯, 等. 不同耕作方式对辽西褐土物理性状及玉米根系分布的影响. *玉米科学*, 2020, 28(6): 101-106.
- [29] 展文洁, 刘剑钊, 梁尧, 等. 耕层构建方式对土壤理化性状、玉米养分累积及根系形态的影响. *玉米科学*, 2020, 28(6): 94-100.

Effects of Post-Sowing Compaction on Emergence Rate and Soil Physical Properties of Foxtail Millet

Si Zhuoyue, Wang Yuan, Wang Zeshan, Li Xiaorui, Yuan Xiangyang

(College of Agronomy, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China)

Abstract To provide a scientific basis for screening the optimal time and intensity of post-sowing compaction for foxtail millet, an indoor pot experiment was conducted to investigate the effects of four compaction times [0 d (A1), 1 d (A2), 2 d (A3), and 3 d (A4) after sowing] and five compaction intensities [0 (T0), 0.25 (T1), 0.50 (T2), 0.75 (T3), and 1.00 kg/cm² (T4)] on the emergence rate of dryland foxtail millet and soil physical properties. The results showed that the emergence rate of foxtail millet was the highest in the A1T3 treatment, reaching 80.77%, an increase of 28.57% compared to the A1T0 treatment. The emergence time was the shortest in the A1T3 treatment, lasting around five days. As the compaction intensity increased, the total soil porosity of all treatments gradually decreased, the soil bulk density gradually increased, and the deviation value of the soil three-phase ratio gradually decreased. Compared to the A1T0 combination, the total soil porosity in the A1T3 combination decreased by 17.67%, the bulk density increased by 62.96%, and the deviation value of the three-phase ratio decreased by 17.48%. In conclusion, immediate post-sowing compaction with an intensity of 0.75 kg/cm² (A1T3) resulted in the best emergence quality of foxtail millet.

Key words Foxtail millet; Compaction; Emergence rate; Germination time; Soil physical properties