

# 发酵处理对西瓜种子质量的影响

曹波<sup>1</sup>, 孙龙俊<sup>2</sup>, 杨红波<sup>1</sup>, 朱生秀<sup>3</sup>, 戴思慧<sup>1</sup>, 孙小武<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学园艺学院 长沙 410128; 2. 湖南雪峰种业有限责任公司 湖南邵阳 422000;  
3. 新疆西部绿洲生态发展有限责任公司 新疆克拉玛依 834000)

**摘要:**为探究西瓜种子生产工艺中发酵处理对西瓜种子质量的影响,以二倍体有籽西瓜 2428 和三倍体无籽西瓜 24316 为供试材料,设置 3 个温度梯度(5、25 和 35 °C),分别发酵不同时间后取种,研究不同发酵条件处理后种子饱满度、色泽和萌发情况。结果表明,发酵处理对 2 个参试西瓜品种种子饱满度无显著影响;随发酵时间延长,种皮颜色由深变浅再逐渐变深;在 5、25 °C 环境下发酵处理 24 h,35 °C 环境下发酵处理 20 h 提高了二倍体西瓜 2428 的种子萌发质量,而三倍体西瓜 24316 发酵 24 h 后降低了种子萌发质量。研究结果为优化西瓜制种工艺和种子质量提升奠定了基础。

**关键词:**西瓜;发酵处理;种子色泽;种子萌发;种子质量

中图分类号:S651 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2025)09-104-07

## Effects of fermentation treatment on watermelon seed quality

CAO Bo<sup>1</sup>, SUN Longjun<sup>2</sup>, YANG Hongbo<sup>1</sup>, ZHU Shengxiu<sup>3</sup>, DAI Sihui<sup>1</sup>, SUN Xiaowu<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 2. Hunan Xuefeng Seed Industry Co., Ltd., Shaoyang 422000, Hunan, China; 3. Xinjiang Western Oasis Ecological Development Co., Ltd., Karamay 834000, Xinjiang, China)

**Abstract:** To investigate the effects of fermentation treatment on watermelon seed quality during production processes, diploid seeded watermelon 2428 and triploid seedless watermelon 24316 were selected as experimental materials. Three temperature gradients (5, 25, and 35 °C) were established, with seeds collected after different fermentation durations. The study examined seed plumpness, color, and germination status under various fermentation conditions. The results showed that fermentation treatment had no significant effect on seed plumpness in both tested watermelon varieties. With extended fermentation time, seed coat color transitioned from dark to light and then gradually darkened again. Fermentation for 24 h at 5 °C and 25 °C, and 20 h at 35 °C improved germination quality of diploid watermelon 2428 seeds, while 24 h fermentation treatment reduced germination quality in triploid watermelon 24316 seeds. The research results lay a foundation for optimizing the watermelon seed production process and improving seed quality.

**Key words:** Watermelon; Fermentation treatment; Seed color; Seed germination; Seed quality

我国西瓜(*Citrullus lanatus*)种植面积和产量均居世界前列,是重要的经济作物。种子质量直接影响种植效益与产业可持续发展<sup>[1]</sup>。在二倍体西瓜制种工艺中,通常会将采收好的西瓜打碎,收集瓜瓢、汁水及种子混合物后发酵 24 h<sup>[2]</sup>。也有将种瓜放入取籽机打碎后,放置在附有内膜的编织袋内,置于阴凉处进行 24 h 以内自然发酵<sup>[3]</sup>。这一工艺的合理性长期被普遍认可,其理论依据包括:发酵可以降低种子表皮果胶物质,酸化后的环境可抑制表面病原微生物,降低贮藏期病害风险<sup>[4]</sup>;发酵可以分离种

子与瓜瓢,易于收集种子<sup>[5]</sup>;发酵可能促进种子后熟,提高种子萌发质量等<sup>[6]</sup>。然而,近年来有研究指出,发酵过程的环境条件如温度、pH<sup>[7]</sup>等能成为病原菌滋生的温床<sup>[8]</sup>,尤其是以细菌性果斑病为代表的种传病害风险显著升高,进而威胁种子健康<sup>[9]</sup>。当前,关于发酵处理对西瓜种子质量的综合效应仍存在争议。一方面,适度发酵可改善种子饱满度与色泽<sup>[10]</sup>,并提高发芽整齐度<sup>[11]</sup>;另一方面,病原菌在发酵液中滋生容易导致种子带菌率升高<sup>[12]</sup>,甚至感染检疫性病害,导致灾难性减产<sup>[13]</sup>。

收稿日期:2025-03-25;修回日期:2025-04-23

基金项目:国家甜瓜产业技术体系(CARS-25);新疆维吾尔自治区“三农”骨干人才培养项目(2022SNGGT019)

作者简介:曹波,男,在读硕士研究生,研究方向为瓜类育种。E-mail:29242610@qq.com

通信作者:孙小武,男,教授,研究方向为瓜类育种。E-mail:sunxiaowu2007@126.com

鉴于此,笔者以二倍体有籽西瓜 2428 和三倍体无籽西瓜 24316 为供试材料,系统探究西瓜发酵处理对种子萌发质量的影响,重点解析发酵时长与温度对种子表型特征(饱满度、色泽)、萌发参数(发芽率、发芽势、发芽指数)的调控规律,以期优化西瓜制种工艺及种子质量提升和病害防控提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

以湖南农业大学园艺学院西甜瓜课题组提供的二倍体有籽西瓜 2428 和三倍体无籽西瓜 24316 为材料,在 2024 年 4 月同时由湖南雪峰种业有限公司播种于新疆克拉玛依试验基地,待西瓜果实成熟后统一采收,清洗备用。

### 1.2 试验设计

1.2.1 试验材料处理 选用同一地区、长势和成熟度相近的西瓜,取西瓜瓢和种子装入相同大小的发酵桶中,放置在 5、25 和 35 °C 环境下进行自然发酵。以发酵 0 h 为对照,按照发酵 4、8、12、16、20、24 h 取种,然后清水冲洗后晒干表面水分,放置阴凉通风环境下备用。

1.2.2 种子饱满度检测 在备用种子中完全随机选取 400 粒种子,用电子天平称量质量(g),取平均值,设置 3 次重复。

1.2.3 色泽分析 在备用种子中每组完全随机选取 60 粒健康种子,设置 4 个重复,在相同光源下用数码相机拍照,采用 Photoshop cc 2018 进行色彩分析,采用 Excel 2019 计算各组灰度中间值,再计算平均值作为试验数据。

1.2.4 种子活力分析 参照 GB/T 3543.4—1995<sup>[14]</sup>,随机在每组选取 60 粒健康种子,设置 4 个重复。先用温水浸泡 3~4 h,再用 1% 氢氧化钙搓洗 10 min 去滑,然后用 50~60 °C 热水消毒 10 min,处理完成后将种子放置于阴凉通风处回干 2 h。在直径为 150 mm 的培养皿中铺设双层滤纸,加入适量的蒸馏水润湿,将回干好的种子有规律地摆放于培养皿中,再盖上 1 层滤纸;设置培养箱温度为 30 °C,将培养皿放置在恒温箱中培养 7 d,发芽期间每天检查培养箱温度、湿度、水分情况,从 24 h 开始,每 24 h 记录发芽数,直至第 4 天或全部种子发芽为止。

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 千粒重的测定 用电子秤称量每组种子质量,千粒重的计算公式为:千粒重/g=(种子总质量/

供试种子总粒数)×1000。

1.3.2 种皮灰度值测定 将拍摄好的种子图像,采用软件 Photoshop cc 2018 色彩分析工具,设置好参数后,计算种子灰度,灰度值越大,种皮颜色越深。灰度计算公式为:Gray=R×0.3+G×0.59+B×0.11。式中,Gray 为灰度值,R 为红色通道灰度值,G 为绿色通道灰度值,B 为蓝色通道灰度值<sup>[15]</sup>。

1.3.3 种子活力指标测定 在发芽处理期间,每日统计种子发芽数,直至第 4 天停止统计,种子发芽率、发芽势和发芽指数计算公式如下:发芽率/%=(正常发芽粒数/供试种子总粒数)×100;发芽势/%=(第 2 天正常发芽粒数/供试种子总粒数)×100;发芽指数=Σ(Gt/Dt)。式中,Gt 指 t 时间内的发芽粒数,Dt 指相应的发芽日数。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 和 Origin 2022 进行数据处理和作图,采用 SPSS 20.0 进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同发酵条件处理对西瓜种子饱满度的影响

由表 1 可知,二倍体西瓜品种 2428 在发酵温度为 5 °C 时,千粒重最大为发酵 0 h 的 113.73 g,最小为发酵 20 h 的 106.18 g;发酵温度在 25 °C 时,最大为对照未发酵种子 114.70 g,最小为发酵 8 h 的 108.54 g;发酵温度在 35 °C 时,最大为发酵 4 h 的 112.64 g,最小为发酵 24 h 的 108.63 g。排除种子本身差异性因素造成的千粒重不同后,发现二倍体

表 1 不同发酵时间对二倍体品种 2428 千粒重的影响  
Table 1 Effects of different fermentation durations on 1000-seeds mass of diploid variety 2428 g

发酵时间 Fermentation duration/h	温度 Temperature/°C		
	5	25	35
0	113.73±8.63 a	114.70±1.90 a	111.30±1.34 a
4	112.31±2.41 a	111.34±1.86 a	112.64±1.22 a
8	110.19±1.07 a	108.54±4.13 a	111.79±2.07 a
12	111.54±1.65 a	113.54±4.06 a	112.35±0.65 a
16	111.29±1.40 a	111.98±1.29 a	112.45±2.26 a
20	106.18±13.11 a	109.73±1.80 a	111.66±0.45 a
24	111.08±1.74 a	112.88±5.51 a	108.63±3.75 a

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

西瓜品种 2428 的种子千粒重与发酵温度、发酵时间在 0.05 水平上没有显著差异。由表 2 可知,三倍体西瓜品种 24316 的种子千粒重与二倍体品种 2428 结果类似,千粒重与发酵温度、发酵时间在 0.05 水平没有显著差异。以上结果表明,发酵处理对参试的 2 个西瓜品种种子的饱满度无明显影响。

表 2 不同发酵时间对三倍体品种 24316 千粒重的影响  
Table 2 Effects of different fermentation durations on 1000-seeds mass of triploid variety 24316 g

发酵时间 Fermentation duration/h	温度 Temperature/°C		
	5	25	35
0	56.71±1.63 a	56.52±3.14 a	56.38±1.61 a
4	55.89±1.08 a	55.42±1.50 a	55.91±0.11 a
8	55.57±0.13 a	55.21±0.98 a	55.97±0.23 a
12	56.10±0.98 a	58.25±4.41 a	54.91±0.89 a
16	59.14±4.79 a	58.45±4.42 a	56.85±1.25 a
20	56.64±1.77 a	57.26±0.73 a	57.09±1.19 a
24	55.34±0.18 a	55.67±0.77 a	55.78±0.90 a

## 2.2 不同发酵处理对西瓜种子色泽的影响

由表 3 可知,二倍体西瓜品种 2428 种子颜色深度在不同发酵温度环境下,与发酵时间长短有关。在 5 和 35 °C 环境下发酵,发酵 0~12 h,随着发酵时间延长,种皮颜色整体上逐渐变浅。当发酵 12 h,种皮颜色最浅,然后随发酵时间延长,种皮颜色整体上逐渐变深。2428 的种子在 25 °C 环境下发酵时,种皮颜色变化没有显著差异。由表 4 可知,三倍体西瓜品种 24316 在 5 和 35 °C 环境下发酵 0~16 h,随着发酵时间延长,种皮颜色逐渐变浅,在发酵 16 h 后,随发酵时间延长,种皮颜色逐渐变深;当发酵时间为 16 h,种皮颜色最浅;在 25 °C 环境下发酵时,种皮颜色变化没有显著差异。

表 3 不同发酵时间对二倍体 2428 种皮灰度值的影响  
Table 3 Effects of different fermentation durations on seed coat grey of diploid variety 2428

发酵时间 Fermentation duration/h	温度 Temperature/°C		
	5	25	35
0	48.32±5.90 a	40.31±3.64 a	48.94±5.98 a
4	41.25±7.26 ab	45.10±4.91 a	46.87±6.71 ab
8	43.39±5.47 ab	49.70±5.11 a	46.94±8.86 ab
12	36.51±3.30 b	45.45±1.19 a	38.07±3.85 b
16	41.77±4.94 ab	55.35±3.66 a	42.03±1.12 ab
20	45.95±11.99 ab	47.10±5.08 a	41.81±6.80 ab
24	42.67±3.68 ab	47.74±4.06 a	48.20±7.69 a

表 4 不同发酵时间对三倍体 24316 种皮灰度值的影响  
Table 4 Effects of different fermentation durations on seed coat grey of triploid variety 24316

发酵时间 Fermentation duration/h	温度 Temperature/°C		
	5	25	35
0	35.06±1.70 a	33.48±1.80 a	29.19±4.78 ab
4	32.45±1.21 b	33.85±4.88 a	28.75±3.03 ab
8	32.18±1.11 b	34.32±6.84 a	29.74±4.93 ab
12	31.13±1.77 c	29.58±4.47 a	27.70±1.64 b
16	27.00±2.19 d	30.11±1.99 a	26.86±2.01 b
20	31.08±0.39 b	31.26±0.56 a	31.06±0.33 ab
24	34.94±0.72 a	34.94±0.94 a	34.90±1.28 a

## 2.3 不同发酵处理对西瓜种子萌发的影响

2.3.1 对二倍体品种 2428 发芽率的影响 由图 1-A 可知,二倍体品种 2428 在 5、25 和 35 °C 3 个不同温度下,发酵 4~20 h,种子的发芽率均呈先降低后升高的趋势,其中 5 °C 下发酵 16 h 发芽率最低,25 和 35 °C 下发酵 12 h 发芽率最低。在 25 °C 环境下发酵 12 h,发芽率降幅最大,在 40% 以上。当发酵时间达到 24 h 后,在 5 和 25 °C 发酵环境下,发芽率均最高,分别为 97.8% 和 91.1%。而在 35 °C 发酵环境下,只需要发酵 16 h,发芽率就能达到最高值,为 97.8%,发酵 24 h,发芽率反而降低到 88.9%。

2.3.2 对二倍体品种 2428 发芽势的影响 由图 1-B 可知,二倍体品种 2428 在 5、25 和 35 °C 3 个不同温度下,发酵 4~20 h,种子的发芽势均呈先降低后升高的趋势,且在发酵 12 h,种子的发芽势最低,分别为 33.3%、0% 和 44.6%,与发酵 0 h 相比分别下降了 58.9 和 7 个百分点。当发酵时间达到 24 h,在 5 和 25 °C 发酵环境下,发芽势均最高,分别为 91.0% 和 88.7%。而在 35 °C 发酵环境下,只需要发酵 16 h,发芽势就能达到最高值,为 97.7%,发酵 24 h,发芽势反而降低到 84.3%。

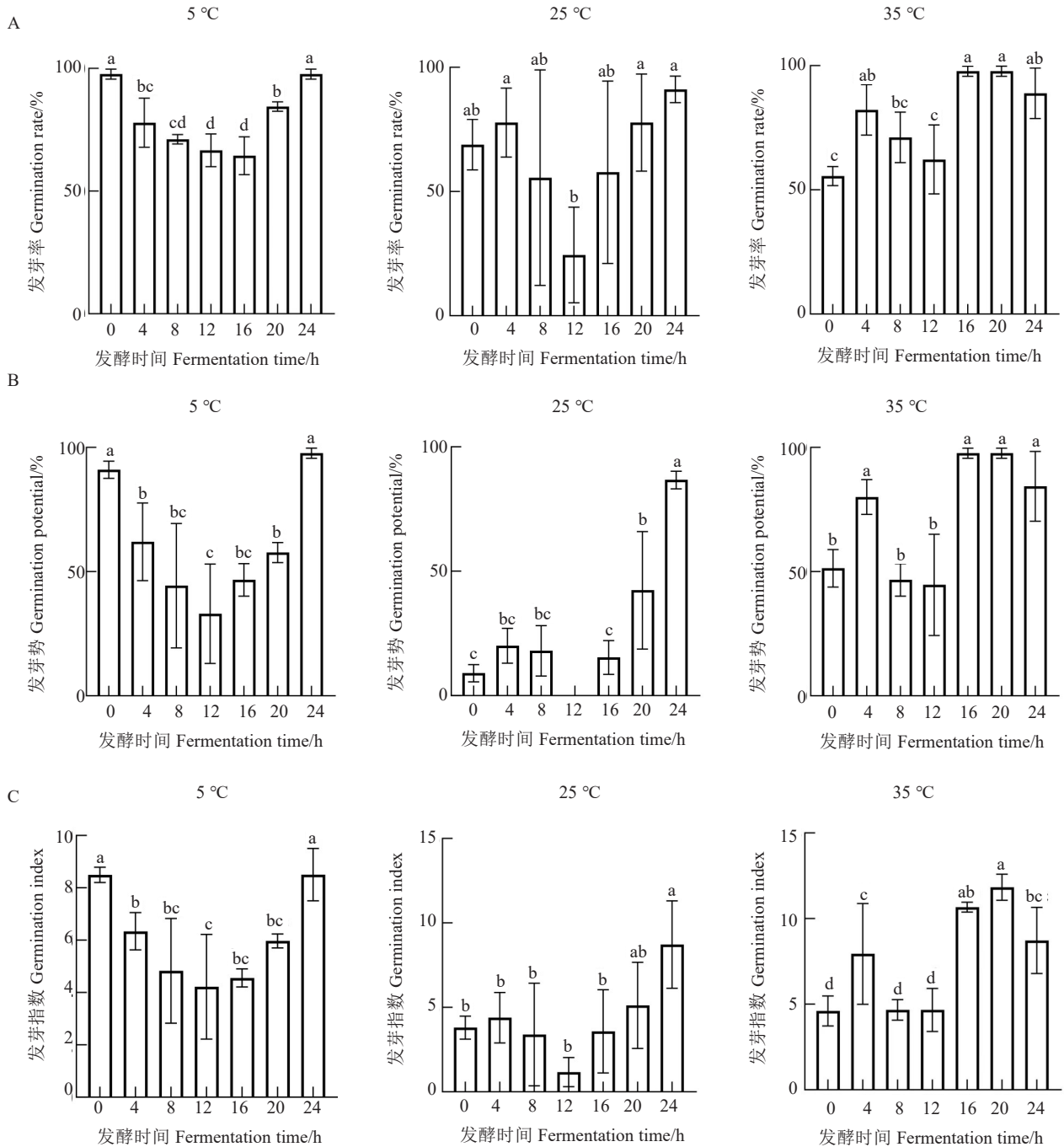
2.3.3 对二倍体品种 2428 发芽指数的影响 由图 1-C 可知,二倍体品种 2428 在 5、25 和 35 °C 3 个不同温度下,发酵 4~20 h,种子的发芽指数均呈先降低后升高的趋势,且在发酵 12 h,种子的发芽指数最低,分别为 4.2、1.2 和 4.7,与发酵 0 h 相比分别下降了 50.4%、69.2% 和 0。当发酵时间达到 24 h,在 5 和 25 °C 发酵环境下,发芽指数均最高,分别为 8.5 和 8.7。而在 35 °C 发酵环境下,只需要发酵 20 h,发芽指数就能达到最高值,为 11.8,发酵 24 h 时,发芽指数反而降低到 8.7。

2.3.4 对二倍体品种 2428 种子萌发的影响 由图 1

可知,二倍体品种 2428 在发酵处理后,萌发指标较发酵 0 h 变化显著,尤其在发酵 12 h,萌发状态最差,表现为发芽率低、发芽势低、发芽指数低。而在发酵充足后(指在发酵环境为 5 和 25 °C 时 24 h,

35 °C 时 20 h),萌发状态最好,表现为发芽率高、发芽势高、发芽指数高。

2.3.5 对三倍体品种 24316 发芽率的影响 由图 2-A 可知,三倍体品种 24316 在发酵 5、25 和 35 °C



注:不同小写字母表示不同发酵时间处理条件下差异显著( $P < 0.05$ )。A. 二倍体品种 2428 在 5、25 和 35 °C 的发芽率;B. 二倍体品种 2428 在 5、25 和 35 °C 的发芽势;C. 二倍体品种 2428 在 5、25 和 35 °C 的发芽指数。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among different fermentation time conditions ( $P < 0.05$ ). A. Germination rate of diploid variety 2428 at 5, 25 and 35 °C; B. Germination potential of diploid variety 2428 at 5, 25 and 35 °C; C. Germination index of diploid variety 2428 at 5, 25 and 35 °C. The same below.

图 1 不同发酵时间对二倍体西瓜品种 2428 萌发的影响

Fig. 1 Effects of different fermentation durations on germination of diploid watermelon variety 2428

3个不同温度下,发酵4~24 h,发芽率呈波动变化,长时间发酵对发芽率有显著的抑制作用,未发酵时发芽率分别为78.0%、56.0%、95.3%,而发酵24 h后,发芽率分别下降至60.0%、54.0%、65.9%。

2.3.6 对三倍体品种24316发芽势的影响 由图2-B可知,三倍体品种24316在5、25和35℃3个不同温度下,发酵4~24 h,5℃的发芽势呈先降低后升高再降低的趋势,发酵4 h时,发芽势最高;发酵24 h时,发芽势最低。35℃的发芽势整体上呈下降趋势,无需发酵即可获得高发芽势,发酵时间延长

反而导致发芽势下降。在25℃环境下发酵,发芽势的变化波动较大,表现出发芽不稳定,发酵4、12和20 h发芽势较高,分别为50.0%、52.3%和51.7%,发酵8 h最低,为32.3%。

2.3.7 对三倍体品种24316发芽指数的影响 由图2-C可知,三倍体品种24316在5、25℃温度下,发酵4~24 h,发芽指数呈先下降后上升再下降的趋势,在发酵24 h后,分别降至5.61和4.96。在35℃高温情况下,发酵24 h,发芽指数降至6.04,说明高温下无需发酵即可获得最佳发芽指数,发酵时

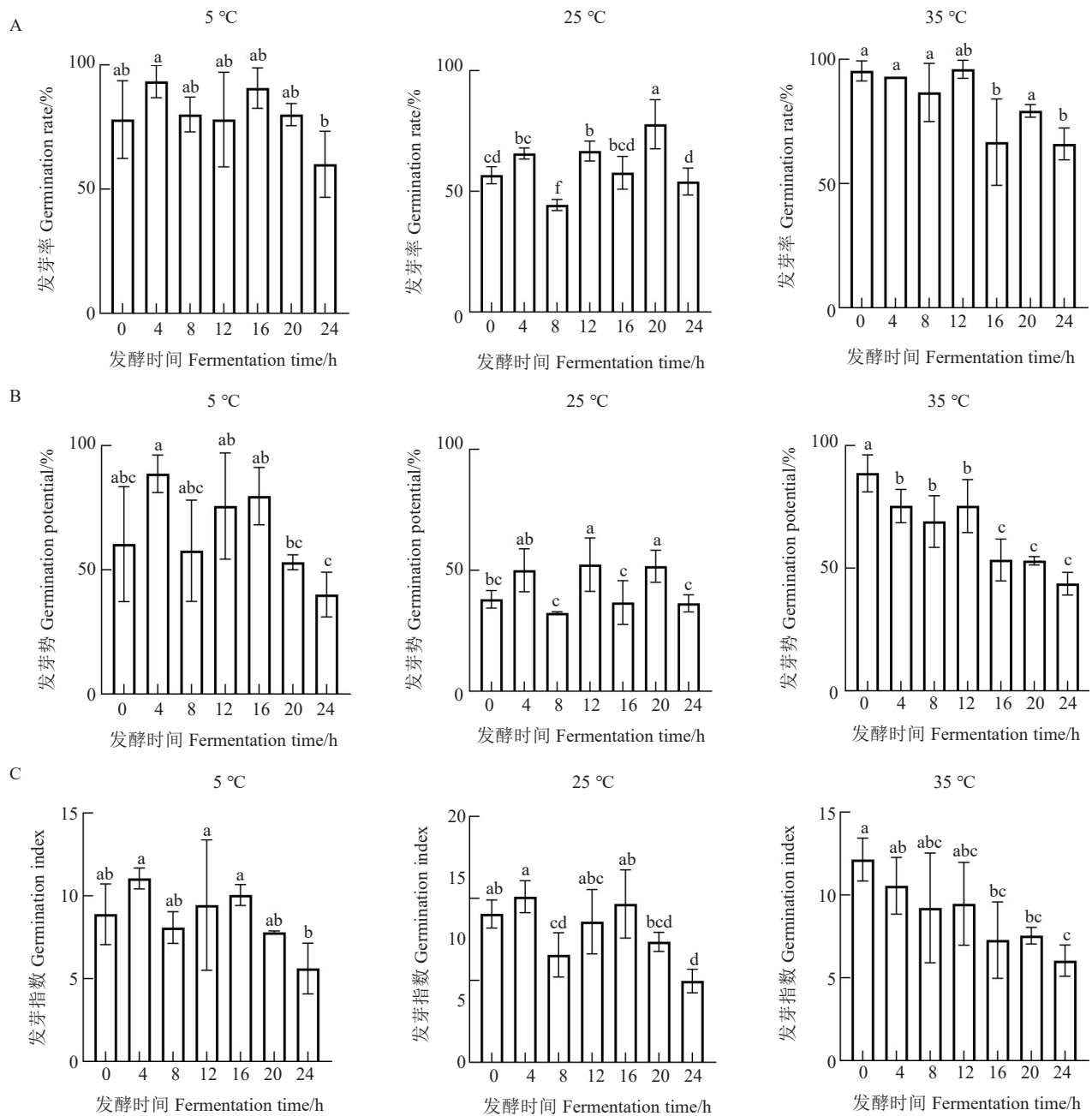


图2 不同发酵时间对三倍体西瓜品种24316萌发的影响

Fig. 2 Effects of different fermentation durations on germination of triploid watermelon variety 24316

间延长反而导致发芽指数下降。

### 3 讨论与结论

笔者首次从西瓜制种发酵工艺的角度对西瓜种子质量进行系统分析,分别用不同倍性西瓜品种、温度和发酵时间作为处理,分析了处理后的西瓜种子饱满度、种皮色泽、萌发质量(发芽率、发芽势和发芽指数)。研究表明,发酵处理对参试西瓜种子的饱满度均无显著影响,这可能与种子在采收前已基本完成形态成熟有关,发酵过程主要是外部,即发酵液微生物种群产生的代谢物作用于种皮黏液层,果胶质等被降解,从而使释放的营养物质对种子产生作用,而非改变种子干物质积累<sup>[16]</sup>,这表明,尽管发酵处理可能会改变种子的化学组成,但对其物理特性影响有限。发酵处理对参试西瓜种子种皮色泽呈现“先变浅后变深”的规律。这一现象可能与种皮和微生物代谢产物发生氧化作用有关<sup>[17]</sup>,导致种皮色素发生变化。此外,种皮颜色的变化还可能与种子的抗氧化活性有关。研究发现,种皮中花青素和黄烷-3-醇类物质含量与抗氧化活性密切相关。黑色种皮通常含有较高的花青素含量,而棕色种皮则富含黄烷-3-醇,这些成分的变化可能影响种皮颜色的变化<sup>[18]</sup>。西瓜种子种皮较薄,对氧化反应敏感,随着发酵时间延长,多种因素加剧了种皮的颜色变化,包海清等<sup>[19]</sup>在对种子进行酸化处理时,发现发酵超过4 h,西瓜种子表面会产生裂痕麻纹。发酵处理提高了参试二倍体2428种子的发芽率、发芽势与发芽指数。发芽率是评定西瓜种子质量的重要指标,发芽率高往往代表着种子的活力高,发芽势高代表种子发芽整齐度高,发芽指数高代表发芽速度快<sup>[20]</sup>。在本试验中,经过发酵处理,参试西瓜2428种子的发芽势和发芽指数得到提高,证明其发芽的速度和整齐度更高。在实际生产当中,这样的种子也更具有经济价值<sup>[21]</sup>。24 h发酵处理降低了参试三倍体24316种子的发芽率、发芽势与发芽指数。尤其在实际生产中,西瓜的采收季节温度一般较高,而本试验研究表明,在较高温度的环境下无需发酵即可获得最佳萌发质量,而长时间发酵不利于种子质量提升。

随着西瓜健康种子生产技术的完善和规范,传统的生产工艺步骤越来越多地被科学论证<sup>[18]</sup>。而在有籽西瓜的生产当中,对采收种子进行发酵处理一直是重要的步骤。本次试验结果与传统西瓜种子生产过程中,二倍体有籽西瓜采收后要进行24 h发

酵处理,而无籽西瓜生产不能进行发酵处理这一经验相符<sup>[22]</sup>。因此,通过发酵处理二倍体西瓜种子不仅能够便于采收后快速脱粒,还能方便种子清洗和收集,也有利于种子内部代谢,促进种子萌发,提高种子萌发率和发芽的整齐度。但是,在现在的西瓜种子生产过程中,检疫性病害如细菌性果斑病的感染和传播是致命的。常规的发酵处理,尤其是西瓜采收季节的温度(25~35℃)、发酵液酸化造成的酸性环境,恰好是细菌性果斑病这类嗜酸性细菌的滋生环境<sup>[23]</sup>。徐秀兰等<sup>[24]</sup>试验表明,发酵能增加细菌性果斑病对种子的侵染,而减少发酵时间能降低细菌性果斑病感染种子的可能性。Hopkins等<sup>[25]</sup>报道认为,pH降低,大大提高了细菌对健康种子的感染概率。这些研究表明,发酵对种子健康生产存在一定的风险,在实际生产过程中应兼顾种子采收便利性、种子健康与种子生产安全等多种因素,应尽量改善发酵条件,从而降低种子病害的感染概率,避免出现因感染病害造成的损失。在下一步研究中,应采用不同消毒药剂在发酵处理中对种子进行消毒处理,进一步探索不同的发酵条件对西瓜种子质量的影响。

综上所述,西瓜种子在生产过程中,在高于25℃的环境下,对刚采收的二倍体有籽西瓜种子进行发酵处理20~24 h,可以提升二倍体有籽西瓜的发芽质量,提高发芽率和发芽指数,而三倍体无籽西瓜则不能进行发酵处理,应尽快取籽,以免自然发酵导致种子质量降低。

#### 参考文献

- [1] 孟祥志,刘小林,苏海滨.中外西瓜产业发展现状及国际竞争力比较[J].北方园艺,2024(18):145-153.
- [2] 周建生,默瑞宏,陈增军.杂交西瓜种子采收方法及注意事项[J].河北农业科技,2004(4):19.
- [3] 沈立.高质量西瓜杂交种子生产技术研究[C]//山西省农业科学院现代农业研究中心.2024年农业高标准高质量研讨会论文集,2024:109-116.
- [4] 徐鹏.不同发酵条件对瓜类枯萎病拮抗细菌拮抗性的影响[J].安徽农学通报(下半月刊),2012,18(10):56-57.
- [5] 田丽丽,陈远良.杂交一代西瓜种子生产关键技术[J].北方园艺,2008(10):96-97.
- [6] 刘光武,张文邦.番茄采种技术的研究[J].中国蔬菜,1989(5):10-13.
- [7] 李思琪.酸性物质对哈密瓜细菌性果斑病菌生物膜形成的影响及抑菌作用[D].新疆石河子:石河子大学,2022.
- [8] 孙高林,邱海萍.西瓜细菌性果斑病症状识别与防治[J].长江蔬菜,2019(7):42-43.
- [9] 高玉红,闫生辉,邓黎黎.西瓜种子带菌对幼苗细菌性果斑病

- 发生和侵染途径的影响[J]. 北方园艺, 2016(5): 141-144.
- [10] 包海清, 李玉峰, 张锦彪, 等. 酸化处理时间对无籽西瓜种子发芽率的影响[J]. 中国种业, 2003(10): 45-46.
- [11] 张熙颖. 贮藏年限及种子处理对甜瓜种子发芽和幼苗生长的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [12] 王笑. 我国西瓜果斑病的发生概况及种子带菌检测的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [13] WALCOTT R R, LANGSTON D B, SANDERS F H, et al. Natural outbreak of a bacterial fruit rot of cantaloupe in georgia caused by *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*[J]. Plant Disease, 2000, 84(3): 372.
- [14] 国家技术监督局. 农作物种子检验规程 发芽试验: GB/T 3543.4—1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [15] 赵建华. 作物种子萌发相关表型自动化提取算法研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2022.
- [16] NNAM N M, OBIAKOR P N. Effect of fermentation on the nutrient and antinutrient composition of baobab (*Adansonia digitata*) seeds and rice (*Oryza sativa*) grains[J]. Ecology of Food and Nutrition, 2003, 42(4/5): 265-277.
- [17] FERREIRA M J, SIERRA-GARCIA I N, CREMADES J, et al. Biostimulation of *Salicornia europaea* L. crops with plant growth-promoting bacteria in laboratory and field conditions: Effects on growth and metabolite profile[J]. Journal of Applied Microbiology, 2023, 134(3): 1xad036.
- [18] LIM Y J, KWON S J, QU S S, et al. Antioxidant contributors in seed, seed coat, and cotyledon of  $\gamma$ -ray-induced soybean mutant lines with different seed coat colors[J]. Antioxidants, 2021, 10(3): 353.
- [19] 包海清, 李玉峰, 任孝红. 采后发酵时间对无籽西瓜种子发芽率的影响[J]. 中国西瓜甜瓜, 2003, 16(6): 17-18.
- [20] 王朔楠, 孙静, 郭嘉莹, 等. 种子发芽指标及其测算方法[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(2): 190-196.
- [21] 纪玉忠, 仲澎, 左慧忠. 严格规范种子检验 科学评定种子质量[J]. 种子世界, 2008(1): 1-2.
- [22] 喜献珍, 刘凡, 曾丽娜, 等. 昌吉市西瓜制种及病虫害防治技术[J]. 农业科技通讯, 2019(3): 268-270.
- [23] GE Y X, LUO L, XIA L M, et al. Fermentation: An unreliable seed treatment for bacterial fruit blotch of watermelon[J]. Plant Disease, 2021, 105(4): 1026-1033.
- [24] 徐秀兰, 芦钰, 赵子婧, 等. 不同发酵条件对瓜类细菌性果斑病菌感染西瓜种子的影响[J]. 植物保护, 2018, 44(4): 60-64.
- [25] HOPKINS D L, THOMPSON C M, HILGREN J, et al. Wet seed treatment with peroxyacetic acid for the control of bacterial fruit blotch and other seedborne diseases of watermelon[J]. Plant Disease, 2003, 87(12): 1495-1499.