

Effect of Gibberellin and 2,4-Epibrassinosteroid on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat Three-Pistil Mutant

Shuhong Wei^{1*}, Yali Xu², Zixuan Tang²

¹Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Ministry of Education, China West Normal University, Nanchong Sichuan

²Grade 2014, Biological Science, College of Life Science, China West Normal University, Nanchong Sichuan
Email: *jygu-2005@163.com

Received: May 5th, 2017; accepted: May 23rd, 2017; published: May 26th, 2017

Abstract

The common wheat three-pistil (TP) mutant possesses three pistils and three fertile stamens in a floret, which makes it has the potentiality to increase the grain number per spike. However, the poor germination ability limits TP utilization in production and breeding. In order to improve the agricultural utilization value of TP wheat, it is necessary to take effective measures to promote the seed germination and seedling growth. In this paper, combined effects of different concentrations of GA₃ and EBR on seed germination and seedling growth were investigated. The results show that the seed germination rate, root and seedling length vary significantly with 1 mg·l⁻¹ and 10 mg·l⁻¹ GA₃ being used for treatment (P < 0.05). The positive effects of 0.0015 mg·l⁻¹ and 0.015 mg·l⁻¹ EBR treatment on seed germination and seedling length are observed (P < 0.05). But there is no significant effect on root length (P > 0.05). The two hormone treatments are better than that of single hormone. The optimized combination of two hormone are GA₃ 10 mg·l⁻¹ + EBR 0.0015 mg·l⁻¹. Compared with the control, the seed germination treated by combination increases by 1.69 times, the root length and seedling length increases by 49.7% and 118.1%, respectively. Compared with the treatment by the single hormone as GA₃ or EBR, the seed germination treated by combination increases by 13.0% and 32.2%, respectively, and the root length increases by 15.2% and 7.5%, respectively. The seedling length increases by 9.1% and 34.3%, respectively.

Keywords

Three-Pistil Wheat Mutant (TP), Gibberellin, 2,4-Epibrassinosteroid, Seed Germination, Seedling Growth

*通讯作者。

赤霉素和2,4-表油菜素内酯互作对小麦三雌蕊突变品系种子萌发及幼苗生长的影响

魏淑红^{1*}, 徐雅丽², 唐紫轩²

¹西华师范大学, 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川 南充

²西华师范大学, 生命科学学院生物科学专业2014级, 四川 南充

Email: *jygu-2005@163.com

收稿日期: 2017年5月5日; 录用日期: 2017年5月23日; 发布日期: 2017年5月26日

摘要

小麦三雌蕊突变品系(TP)具有3个正常的雄蕊和3个可育的雌蕊, 由于TP品系中一朵小花可结3粒种子, 显著地增加穗粒数, 因而具有一定的育种学价值, 然而TP小麦所结实的种子发芽率较低, 它在农业生产和育种利用中具有一定的局限性。为了提高TP小麦的农业利用价值, 采取有效的农业措施促进TP种子萌发和幼苗生长非常必要。本研究以TP种子为材料, 采用GA₃和EBR溶液浸泡法, 开展激素处理对其种子萌发和幼苗生长效应的研究。结果表明, 1 mg·l⁻¹和10 mg·l⁻¹ GA₃ 对TP种子萌发、幼苗根长、苗长有显著促进效应(P < 0.05)。0.0015 mg·l⁻¹和0.015 mg·l⁻¹的EBR显著增加TP种子萌发率和幼苗苗长(P < 0.05), 但对根长的影响不显著(P > 0.05)。GA₃和EBR组合对TP 种子萌发和幼苗生长具有明显互作效应, 配合后使用效果更好, 综合考虑萌发率和种苗等因素, 10 mg·l⁻¹ GA₃ + 0.0015 mg·l⁻¹ EBR组合较好, 与对照相比, 种子萌发率增加1.69倍, 根长和苗长分别增加49.7%和118.1%, 与单一GA₃和EBR处理相比, TP种子萌发率分别增加13.0%和32.2%, 根长分别增加15.2%和7.5%, 苗长分别增加9.1%和34.3%。

关键词

小麦三雌蕊突变品系(TP), 赤霉素, 2,4-表油菜素内酯, 种子萌发, 幼苗生长

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

赤霉素(gibberellin)又称赤霉酸, 是一类高效植物生长调节剂, 能促进遗传矮化植株的生长, 打破某些蔬菜的种子、块茎和鳞茎等器官休眠, 提高发芽率[1] [2] [3]。油菜素内酯(Brassinosteroids, BRs)是一种广泛存在于植物中的甾醇类新型植物激素, 由于它的生理活性大大超过现有的五种激素, 已被国际上誉为第六激素。油菜素内酯能促进细胞伸长、影响细胞分裂分化、促进植物进入生殖生长、影响花诱导及分化, 同时在提高植物对逆境条件的抵御能力、增强植物净光合作用、增加作物产量等方面具有重要的意义[4]。无论是在逆境胁迫下还是在正常环境下, 油菜素内酯都能够显著促进植物种子萌发和幼苗生长[5] [6]。

一朵小花结实三粒种子被称为“多子房”，它具有穗粒数多，稃片开张，角度大等特点，在杂交小麦制种中是可以利用的优良性状。彭正松等对“三粒小麦”进行了多年的改良，最终培育出“三雌蕊突变体(Three-pistil mutant, TP)”品系。TP 的三雌蕊性状由一对显性核基因控制，与细胞质遗传无关[7] [8] [9]。TP 品系与 Murai 等[10]发现的雄蕊雌蕊化品系不同，TP 具有 3 个正常的雄蕊和 3 个可育的雌蕊，一朵小花能结 3 粒种子，显著的增加穗粒数，因而具有一定的育种学价值。

TP 结实的 3 粒种子以背靠背的方式着生，由于受空间效应的影响，种子体积相对较小，有一定皱缩，种子的发芽率低。提高 TP 种子发芽率，促进幼苗生长对于 TP 植株的农业生产和育种利用等有重要意义。本研究拟以 TP 种子为材料，设置 16 组不同浓度组合的赤霉素(GA₃)和 2,4-表油菜素内酯(EBR)溶液处理 TP 种子，探讨其对 TP 种子萌发和幼苗生长的影响，旨在为 TP 小麦的种植推广提供理论基础。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

供试材料为 TP 小麦种子，在室温下晾干，装入种子袋，置于冷柜中保存备用。

2.2. 试验设计

激素处理试验采用双因素设计，其中双因素为赤霉素(GA₃)和 2,4-表油菜素内酯(EBR)，每种激素设 4 个水平，其中 GA₃ 为 0、1、10、100 mg·l⁻¹ 4 个水平；EBR 为 0、0.0015、0.015、0.15 mg·l⁻¹ 4 个水平，两激素组合共 16 个处理(表 1)。每处理设 3 次重复，每个重复选用 50 粒籽粒大小一致、无病虫害的 TP 种子。

2.3. 种子激素处理

根据试验设计浓度(表 1)配置激素溶液。将 TP 种子浸泡在盛有不同浓度激素溶液的培养皿中，4℃冰箱中黑暗处理 48 小时后，将种子取出，用蒸馏水冲洗 3~5 次，接着用 0.1% NaClO 消毒 10 min，再用蒸馏水冲洗 2~3 次，最后将种子置于培养皿内发芽。

2.4. 种子发芽

将浸种过的 TP 种子，放入铺有双层滤纸的直径为 12 cm 的培养皿中进行发芽实验。培养温度为 25℃，光照时间 16 h。每天称重补充水份，统计种子萌发数(种子突破种皮即视为萌发)，计算萌发率，萌发时间为 9 天。每处理随机选取 30 株幼苗，用游标卡尺测定其苗长和根长。

$$\text{萌发率} = \text{发芽结束后发芽种子数} / \text{供试种子总粒数} \times 100\%$$

2.5. 数据处理

用 SPSS 20.0 对所获取数据进行统计分析，用平均值和标准误表示测定结果。对 GA₃、EBR 及其组合对 TP 种子萌发及幼苗生长的影响进行二因素方差分析，并用 Duncan 法进行多重比较。采用 Excel 2003 制图。

3. 结果与分析

3.1. GA₃ 与 EBR 处理对 TP 种子发芽的影响

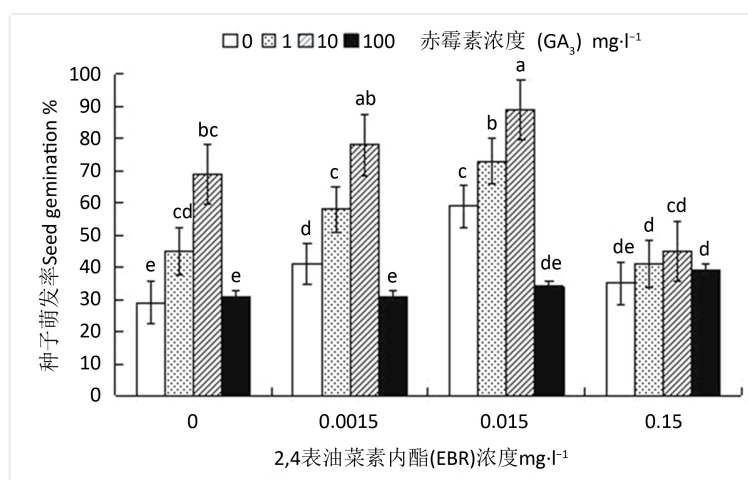
如表 2 所示，GA₃ 对 TP 种子萌发率有显著影响(P < 0.05)。与对照相比，GA₃ 处理后 TP 种子萌发率增加了 0.07~1.38 倍(图 1)。随着 GA₃ 浓度的升高，TP 种子萌发率呈先上升后下降的趋势，其中以 10 mg·l⁻¹

Table 1. Combination of different concentrations of GA₃ and EBR**表 1.** 赤霉素与 2,4-表油菜素内酯浓度组合

赤霉素(mg·l ⁻¹)	2,4-表油菜素内酯(mg·l ⁻¹)			
	0	0.0015	0.015	0.15
0	G ₁ E ₁	G ₁ E ₂	G ₁ E ₃	G ₁ E ₄
1	G ₂ E ₁	G ₂ E ₂	G ₂ E ₃	G ₂ E ₄
10	G ₃ E ₁	G ₃ E ₂	G ₃ E ₃	G ₃ E ₄
100	G ₄ E ₁	G ₄ E ₂	G ₄ E ₃	G ₄ E ₄

Table 2. Two way ANOVA for the interaction effect of GA₃ and EBR on seed germination**表 2.** GA₃ 和 EBR 交互对 TP 种子萌发影响的方差分析

变异来源	平方和	自由度	F	P
GA ₃	8795.063	3	8.501	0.005
EBR	4217.063	3	4.076	0.044
GA ₃ × EBR	3103.688	9	344.854	0.00
总	117,909.188	320		



图中各小写字母代表 Duncan 检验 $P < 0.05$

Figure 1. Interaction effect of GA₃ and EBR on the germination of TP**图 1.** GA₃ 与 EBR 复合处理对 TP 种子萌芽率的影响

的 GA₃ 处理的种子萌发率最高, 可达 69% (图 1)。EBR 对 TP 种子萌发率也有显著影响 ($P < 0.05$) (表 2)。与对照相比, EBR 处理后, TP 种子萌发率增加了 0.21~1.03 倍 (图 1)。随着浓度的升高, TP 种子萌发率呈先上升后下降的趋势, 其中以 0.015 mg·l⁻¹ 的 EBR 处理后种子萌发率最高, 可达 59% (图 1)。

GA₃ 和 EBR 在促进 TP 种子萌发方面有显著交互效应 ($P < 0.05$) (表 2), 其中以 G₃E₃ (GA₃ 10 mg·l⁻¹ + EBR 0.015 mg·l⁻¹) 组合最佳, 处理后可达 89%, 比对照增加 2.07 倍, 比单一 GA₃ 处理增加 28.9%, 比单一 EBR 处理增加 50.8%。其次为 G₃E₂ (GA₃ 10 mg·l⁻¹ + EBR 0.0015 mg·l⁻¹), 达到 78%, 比对照增加 1.69 倍, 比单一 GA₃ 处理增加 13.0%, 比单一 EBR 处理增加 32.2%, 两组间差异显著 ($P < 0.05$) (图 1)。

3.2. GA₃ 与 EBR 处理对 TP 幼苗生长的影响

一定浓度的 GA₃ 能促进 TP 幼苗根长和苗长。与对照相比, GA₃ 处理后苗长增加了 90.2%~100.0%, 根长增加了 6.9%~40.9%。10 mg·l⁻¹ 的 GA₃ 处理的根长和苗长均达到最长, 而 100 mg·l⁻¹ 的 GA₃ 则抑制根和苗的生长, 使根长降低了 46.5%, 苗长降低了 22.6%, 差异显著(P < 0.05)。

适量浓度的 EBR 对 TP 幼苗根长和苗长也有促进作用。与对照相比, EBR 处理后, 幼苗根长增加了 16.9%~50.9%, 其中以 EBR 0.015 mg·l⁻¹ 的幼苗根长最长, 0.15 mg·l⁻¹ 的 EBR 使根长降低了 10.1%, 但未达到显著水平(P > 0.05) (表 3)。EBR 处理后, 幼苗苗长增加了 50.4%~62.4% (P < 0.05) (表 3), 其中以 EBR 0.015 mg·l⁻¹ 的 EBR 处理的幼苗苗长最长, 0.15 mg·l⁻¹ EBR 显著抑制苗的生长, 苗长降低了 27.9% (P < 0.05) (表 3)。

GA₃ 和 EBR 组合在促进幼苗生长方面具有互作效应, 优于单一 GA₃ 或 EBR 对幼苗生长的影响。对于根长, G₂E₃ (GA₃ 1 mg·l⁻¹ + EBR 0.015 mg·l⁻¹) 组合促进作用最为明显, 使其根长增加了 79.9%, 比单一 GA₃ 处理增加 27.7%, 比单一 EBR 处理增加 19.2% (图 2), 其次为 G₃E₂ (GA₃ 10 mg·l⁻¹ + EBR 0.0015 mg·l⁻¹) 组合, 使根长增加了 49.7%, 比单一 GA₃ 处理增加 15.2%, 比单一 EBR 处理增加 7.5%, 两者间差异显著 (P < 0.05)。对于苗长, G₃E₂ (GA₃ 10 mg·l⁻¹ + EBR 0.0015 mg·l⁻¹) 组合促进作用最为明显, 该处理使苗长增加了 118.1%, 相比于单一 GA₃ 和 EBR 处理, 分别增加 9.1% 和 34.3%。G₂E₃ (GA₃ 1 mg·l⁻¹ + EBR 0.015 mg·l⁻¹) 和 G₂E₂ (GA₃ 1 mg·l⁻¹ + EBR 0.0015 mg·l⁻¹) 组合处理也能增加苗长, 使苗长分别增加 111.7% 和 106.1% (图 3), 但 G₂E₃ 和 G₂E₂ 组合间差异未达到显著水平(P > 0.05)。

4. 讨论

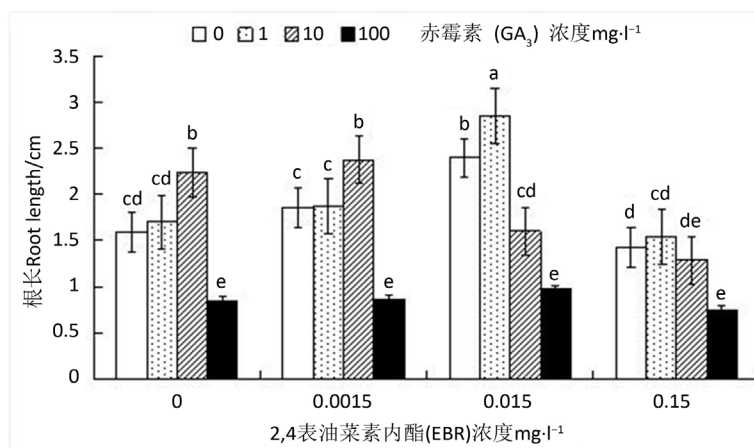
4.1. 赤霉素对植物种子萌发及幼苗生长的影响

种子经收藏后, 由于生命活动, 其内部激素会发生一系列生理变化, 从而影响种子萌发。通过赤霉素处理打破种子休眠, 提高萌发率, 促进生长, 已在许多作物中广泛采用[11] [12] [13] [14]。本研究发现, 赤霉素对 TP 种子萌发及幼苗生长有显著影响。当赤霉素浓度为 10 mg·l⁻¹ 时, 与对照相比, 幼苗的根长和苗长分别提高了 40.9%、100.0%, 当浓度超过 100 mg·l⁻¹ 时, TP 幼苗的根长和苗长分别降低了 46.5%、22.6%, 这说明低浓度的赤霉素能促进 TP 幼苗根和苗的生长, 高浓度的赤霉素能抑制其幼苗根和苗的生长。原因可能是适宜浓度的赤霉素处理可以提高 TP 种子的代谢水平, 加快清除体内抑制萌发因素的速度, 使种子尽快生根发芽。

Table 3. Two way ANOVA for the interaction effect of GA₃ and EBR on seeding growth

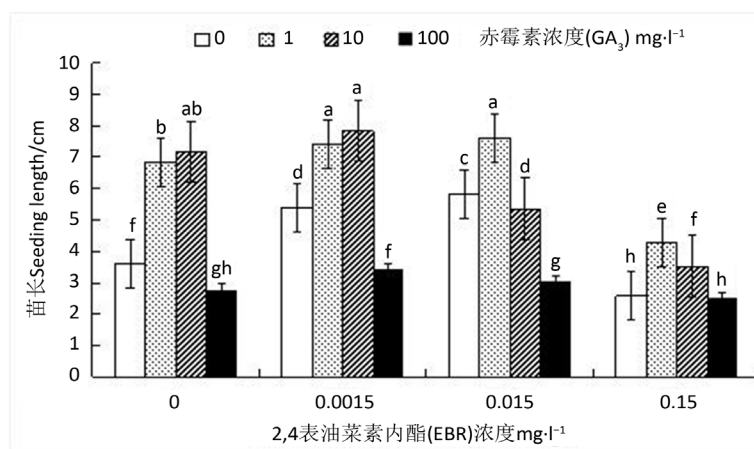
表 3. 赤霉素与 2,4-表油菜素内酯互作对 TP 幼苗生长影响的方差分析

分析因子	变异来源	平方和	自由度	F	P
根长	EBR	2.126	3	2.394	0.136
	GA ₃	8.800	3	7.190	0.003
	EBR×GA ₃	2.664	9	13.730	0.000
	总	128.609	320		
苗长	EBR	62.536	3	9.512	0.004
	GA ₃	71.340	3	10.851	0.002
	EBR×GA ₃	19.724	9	9068.284	0.000
	总	1086.803	320		



图中各小写字母代表 Duncan 检验 $P < 0.05$

Figure 2. Interaction effect of GA_3 and EBR on the root length of TP
图 2. GA_3 与 EBR 复合处理对 TP 幼苗根长的影响



图中各小写字母代表 Duncan 检验 $P < 0.05$

Figure 3. Interaction effect of GA_3 and EBR on the seeding length of TP
图 3. GA_3 与 EBR 复合处理对 TP 幼苗苗长的影响

4.2. 油菜素内酯对植物种子萌发及幼苗生长的影响

种子萌发是种子植物生命的开始，萌发的结果直接影响植物后期的生长、发育、成熟。种子萌发过程中，多种内源激素迅速合成，GA 含量上升，ABA 浓度降低，种子活性增强，胚根突破组织，胚轴不断伸长完成萌发。种子萌发后长出根、茎、叶，形成幼苗。在种子萌发的过程中，油菜素内酯对种子萌发后下胚轴和胚根的伸长具有重要调控作用。适宜浓度的 BR 能有效促进牧草种子下胚轴伸长和种子发芽率[15]。油菜素内酯能显著提高低温下种子的萌发率，有效解决生长发育迟缓的问题[16][17]。低浓度的油菜素内酯使小麦、玉米发芽率、发芽势明显提高[18]。玉米根系试验中发现，油菜素内酯能促进 ATPase 活性，导致 H^+ -ATPase 释放 H^+ 酸化非质体从而改变细胞的可塑性，促进细胞生长[19]。油菜素内酯促进水稻细胞伸长具有双重作用，低浓度能够水稻细胞伸长，高浓度则抑制伸长[20]。在大豆中，油菜素内酯不仅可以通过对细胞壁进行修饰来调节细胞的伸长，也可以通过对细胞壁合成基因进行调控影响细胞壁的合成，从而调控细胞的伸长[21]。油菜素内酯对黄豆种子萌发及下胚轴生长也有显著的促进作用，经 $0.05 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 的油菜素内酯处理后，黄豆种子发芽率提高 14%~19%，下胚轴长度增加 79% [22]。李凯荣和韩刚[23]发现，油菜素

内酯对柠条和紫穗槐种子萌发及下胚轴生长有显著影响,且随着浓度的增加,种子发芽率呈先升高后降低的趋势,其中以 $0.05 \text{ ug}\cdot\text{g}^{-1}$ 油菜素内酯处理效果最佳,与对照相比,种子发芽率可提高 20%~23%。 $1.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 的外源 EBR 使盐碱复合胁迫处理下大豆的株高、根长分别提高了 6.45% 和 9.60% [24]。经 $0.05 \text{ ug}\cdot\text{g}^{-1}$ 油菜素内酯处理后,茄子在 NaCl 盐胁迫下的种子发芽率提高 8%,幼苗株高和根长分别增加了 56.67% 和 23.83% [6]。本研究中,EBR 能显著促进 TP 种子萌发,对 TP 幼苗根和苗的生长即有促进作用,也有抑制作用,即低浓度促进幼苗生长,高浓度则抑制生长。然而与对照相比,不同浓度的 EBR 对幼苗根长影响的差异不显著($P > 0.05$),仅对苗长有显著影响($P < 0.05$),这表明不同器官对 EBR 的敏感程度不同。

4.3. 油菜素内酯与赤霉素组合对植物种子萌发及幼苗生长的影响

种子由休眠到萌发受多种激素的调节,一切可以解除休眠的天然因子如光、冷、温度等都可能通过改变“激素控制者”之间的平衡而起到加速种子发芽的作用[25]。BR 可以解除 ABA 对萌发的抑制作用,从而促进种子萌发[26]。BR 与生长素促进生长的作用有协同作用[27]。油菜素内酯和赤霉素的相互作用关系报道很多,但观点不一,有协同作用,有叠加作用,也有拮抗作用。郭慧琴[28]认为油菜素内酯在促进种子萌发和幼苗生长时与 GA 具有协同作用,两者配合使用能更好的促进羊草种子萌发和幼苗生长。在促进拟南芥幼苗下胚轴伸长生长方面也具有协同作用,同时使用表油菜素内酯与赤霉素两种激素的下胚轴长度比单独使用一种激素高 3~4 倍[29]。表油菜素内酯与赤霉素在促进绿豆上胚轴和黄瓜下胚轴生长中有叠加效应[30]。当使用油菜素内酯处理 BR 生物合成突变体时,发现 GA 合成诱导基因的表达下降而对 GA 合成具有负反馈作用的基因的表达提高,这表明 BR 与赤霉素的作用相互拮抗[31]。本研究中,EBR 和 GA_3 组合在促进 TP 种子萌发和幼苗生长方面具有互作效应($P < 0.05$),种子萌发率和幼苗根长、苗长都明显优于单一 EBR 或 GA_3 的效应。对于种子萌发率, $\text{GA}_3 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 组合最佳,其次是 $\text{GA}_3 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.0015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 组合。对于根长, $\text{GA}_3 1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 组合最佳,其次是 $\text{GA}_3 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.0015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 组合。而对于苗长,最佳组合是 $\text{GA}_3 10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.0015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$,其次是 $\text{GA}_3 1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 和 $\text{GA}_3 1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} + \text{EBR } 0.0015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 的组合。不管是种子萌发率,幼苗根长还是苗长,使用单一一种激素 GA_3 的最佳浓度是 $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$,EBR 的最佳浓度是 $0.015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 。组合使用这两种激素时,除了种子萌发率外,最佳效应并不是两种单一激素最佳浓度的组合。 GA_3 浓度稍低($1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$),EBR 浓度稍高($0.015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)时,更有利于初生根的生长。 GA_3 浓度稍高($10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$),EBR 浓度稍低($0.0015 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)时,更有利于苗的伸长,这表明 GA_3 和 EBR 的互作效应并不是简单的叠加效应。可能的原因在于,不同器官中 GA_3 和 EBR 的生理浓度不同,互作机制也不完全相同。已有研究表明,水稻中油菜素内酯通过调节赤霉素的代谢来特异性地调控细胞伸长。生理浓度的油菜素内酯刺激赤霉素合成促进植物生长,而高浓度的油菜素内酯诱导活性赤霉素转化成非活性形式从而抑制植物生长。反过来,低浓度的赤霉素抑制油菜素内酯反应,而高浓度的赤霉素利用油菜素内酯促进植物生长[32]。EBR 和 GA_3 激素组合在 TP 种子萌发和幼苗生长过程中的互作作用机理还有待进一步研究。

基金项目

西华师范大学博士启动基金(13E002)。

参考文献 (References)

- [1] 刘洁,李润植.作物矮化基因与 GA 信号转导途径[J].中国农学通报,2005,21(1):37-40.
- [2] Debeaujon, I. and Koornneef, M. (2000) Gibberellin Requirement for *Arabidopsis* Seed Germination Is Determined Both by Testa Characteristics and Embryonic Abscisic Acid. *Plant Physiology*, **122**, 415-424. <https://doi.org/10.1104/pp.122.2.415>
- [3] 李艳,李思锋,王庆,邹凤英,李莲梅.光温赤霉素对跳舞草种子萌发的影响[J].西北植学报,2009,29(12):2558-2563.

- [4] 朱早兵, 赖彩余, 邹凯茜, 等. 油菜素内酯及其在种子萌发过程中的生理效应研究进展[J]. 热带农业科学, 2015, 35(5): 13-18, 32.
- [5] Vriet, C., Russinova, E. and Reuzeau, C. (2012) Boosting Crop Yields with Plant Steroids. *Plant Cell*, **24**, 842-857. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.094912>
- [6] 吴雪霞, 查丁石, 朱宗文. 外源 2,4-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 植物生理学报, 2011, 47(6):607-612.
- [7] Peng, Z.S. (2003) A New Mutation in Wheat Producing Three Pistils in a Floret. *Journal of Agronomy and Crop Science*, **189**, 270-272. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00040.x>
- [8] Peng, Z.S., Yang, J., Wei, S.H., et al. (2004) Characterization of Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Mutation Line Producing Three Pistils in a Floret. *Hereditas*, **141**, 15-18. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2004.01787.x>
- [9] Peng, Z.S., Martinek, P., Kosuge, K., et al. (2008) Genetic Mapping of a Mutant Gene Producing Three Pistils per Floret in Common Wheat. *Journal of Applied Genetics*, **49**, 135-139. <https://doi.org/10.1007/BF03195606>
- [10] Murai, K., Takumi, S., Koga, H., et al. (2002) Pistilody, Homeotic Transformation of Stamens into Pistil-Like Structures, Caused by Nuclear-Cytoplasm Interaction in Wheat. *The Plant Journal*, **29**, 169-182. <https://doi.org/10.1046/j.0960-7412.2001.01203.x>
- [11] 钟希琼, 王惠珍. 高等植物赤霉素生物合成及其调节研究进展[J]. 植物学通报, 2001, 18(3): 303-307.
- [12] 李畅, 苏佳乐. 赤霉素浸种对毛毡杜鹃种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 278-279.
- [13] 王广印, 张建伟. 苦瓜种子发芽特性研究[J]. 中国农学通报, 2000, 16(1): 45-46.
- [14] 冯斗, 胡语婕, 车夏, 等. 不同引发药剂处理对西瓜种子萌发及生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 133-136.
- [15] 李凯荣, 王健, 贺秀贤. 天然油菜素内酯对五种牧草种子发芽和胚根下胚轴伸长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 221-225.
- [16] 闫小红, 胡文海, 曾守鑫, 等. 低温胁迫下 2,4-表油菜素内酯对辣椒种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(5): 563-568.
- [17] 陈善娜, 刘继梅, 游慧灵, 等. 抗寒剂和高油菜素内酯对高原水稻抗冷性的影响[J]. 植物分类与资源学报, 1997(2): 184-190.
- [18] 纪秀娥, 史留功, 胡春红, 郭彤. 油菜素内酯对小麦、玉米种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学. 2014, 42(9):88-89.
- [19] Romani, G., Marrè, M.T., Bonetti, A., et al. (1983) Effects of a Brassinosteroid on Growth and Electrogenic Proton Extrusion in Azuki Bean Epicotyls. *Physiologia Plantarum*, **59**, 528-532. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb06275.x>
- [20] 张海丽, 高静, 张昊, 等. 油菜素内酯对水稻细胞伸长和分裂的调控[J]. 农业生物技术学报, 2015, 23(1): 71-79.
- [21] Xie, L., Yang, C. and Wang, X. (2011) Brassinosteroids Can Regulate Cellulose Biosynthesis by Controlling the Expression of CESA Genes in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*, **62**, 4495-4506. <https://doi.org/10.1093/jxb/err164>
- [22] 程彦伟, 柳家婷, 韩建民, 杨亚会. 油菜素内酯对黄豆种子萌发及下胚轴和胚根生长的影响[J]. 洛阳师范学院学报, 2013, 32(11): 57-59.
- [23] 李凯荣, 韩刚. 天然油菜素内酯促进柠条和紫穗槐种子发芽及下胚轴伸长效应[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(4): 17-20.
- [24] 吴杨, 高慧纯, 张必弦, 等. 2,4-表油菜素内酯对盐碱胁迫下大豆生育、生理及细胞超微结构的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 15(5): 811-821.
- [25] 刘小金, 徐大平, 张宁南, 等. 赤霉素对檀香种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2017, 29(8): 71-74.
- [26] Steber, C.M. and Mc Cour, P. (2001) A Role for Brassinosteroids in Germination in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, **125**, 763-769. <https://doi.org/10.1104/pp.125.2.763>
- [27] Mandava, N.B. (2003) Plant Growth-Promoting Brassinosteroids. *Annual Review of Plant Biology*, **39**, 23-52. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.39.060188.000323>
- [28] 郭慧琴, 任卫波, 李平, 等. 2,4-表油菜素内酯和赤霉素互作对羊草种子萌发及幼苗生长的影响. 草业科学, 2014, 31(6):1097-1103.
- [29] Tanaka, K., Nakamura, Y., Asami, T., et al. (2003) Physiological Roles of Brassinosteroids in Early Growth of *Arabidopsis*: Brassinosteroids Have a Synergistic Relationship with Gibberellin as Well as Auxin in Light-Grown Hypocotyl Elongation. *Plant Growth Regulation*, **22**, 259-271. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0119-3>
- [30] Gregory, L.E. and Mandava, N.B. (1982) The Activity and Interaction of Brassinolide and Gibberellic Acid in Mung

Bean Epicotyls. *Plant Physiology*, **54**, 239-243. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb00253.x>

[31] 黄颖, 黄鸿曼, 任春梅. 芸薹素与其他植物激素相互作用的研究进展[J]. 生命科学研究, 2009, 13(1): 82-85.

[32] Tong, H., Liu, L., Jin, Y., *et al.* (2012) Dwarf and Low-Tilering Acts as a Direct Downstream Target of a GSK3/SHAGGY-Like Kinase to Mediate Brassinosteroid Responses in Rice. *Plant Cell*, **24**, 2562-2577. <https://doi.org/10.1105/tpc.112.097394>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: br@hanspub.org