



董晓杰,李志江,马金丰. 谷子矮秆材料萌发期对赤霉素的敏感性分析[J]. 黑龙江农业科学, 2022(2):18-23.

谷子矮秆材料萌发期对赤霉素的敏感性分析

董晓杰,李志江,马金丰,李祥羽,孙广全,郑雅璐

(黑龙江省农业科学院 作物资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为明确谷子矮秆材料萌发期的赤霉素敏感性反应类型,选用龙谷 30×胜谷的杂交组合后代品系 JA1~JA10、A1~A10、ZA1~ZA10 等 30 份矮秆材料进行萌发期不同浓度赤霉素处理,分析其根长、中胚轴长、胚芽鞘长、胚芽长以及叶长对 GA_3 的敏感性。结果表明:在两种赤霉素浓度处理条件下,60,80 及 110 cm 株系分离后代各性状对 GA_3 敏感性差异不显著。在 GA_3 敏感性材料中,胚芽的敏感性要强于中胚轴、根、胚芽鞘和叶,且胚芽的敏感性都达到极显著水平以上;其次是中胚轴的敏感性要强于根、胚芽鞘和叶。因此,用 GA_3 鉴定谷子敏感性时,胚芽和中胚轴可以作为鉴定的首选器官。在鉴定 GA_3 敏感性所利用的 5 个性状中,根长可能会随着赤霉素的处理而减小,说明赤霉素处理可能会对根长产生抑制作用,而其他性状均随着赤霉素处理而增加,即适宜浓度的赤霉素处理对中胚轴长、胚芽鞘长、胚芽长和叶长产生促进作用。本试验利用的 30 份材料均对 GA_3 处理敏感,表现在不同器官的伸长或抑制,由此推断这些矮秆材料可能含有与 GA_3 合成相关基因,这些材料的矮化可能是由于 GA_3 合成基因发生突变,导致植株不能合成正常生长所需的 GA_3 。

关键词:谷子;萌发期;赤霉素;矮化育种

谷子(*Setaria italica* L.)属于禾本科、狗尾草属,是我国重要的杂粮作物之一,具有抗旱耐瘠、营养丰富、经济价值较高等特点。随着人们对于生活品质的追求越来越高,培育高产、优质、抗逆性强的谷子新品种显得尤为重要。株高这一性状是影响谷子产量的重要因素之一,由于成熟期谷穗籽粒灌浆成熟后较重,因此谷子株高过高容易引起谷子灌浆期或成熟期大面积倒伏、倾斜甚至茎秆折断,严重影响谷子产量及籽粒品质。因此,创造优良谷子矮秆材料、培育矮秆或半矮秆谷子新品种,成为了提高谷子产量和品种遗传改良的主要方向。

赤霉素(gibberellins, GAs)作为植物体内一种极为重要的内源激素,参与植物生长的各个阶段,研究者已经对赤霉素调控植物细胞伸长、细胞活性及蛋白表达等方面做了大量研究^[1-3]。研究发现,在种子萌发过程中,赤霉素具有促进种子萌发、释放休眠和拮抗 ABA 的作用^[4-8],赤霉素能够促进生长素的合成和细胞分裂膨大,提高种子

胚内酶的活性并促进代谢活动。此外,赤霉素还能通过诱导植物相关基因的表达控制酶蛋白的合成和各种内源生长调节剂的分泌,促进植物体内多种生理生化代谢反应,从而提高种子的活力^[9]。赤霉素的上述作用主要取决于组织中生物活性赤霉素的浓度和组织对赤霉素的敏感性^[10-11],不同植物种子对于外源赤霉素的敏感程度也不尽相同,因此,探索不同浓度赤霉素对种子萌发的影响具有重要意义。本研究旨在探究外源赤霉素对谷子矮秆材料萌发期的影响,选用龙谷 30×胜谷的杂交组合后代品系 JA1~JA10、A1~A10、ZA1~ZA10 等 30 份矮秆材料进行萌发期不同浓度赤霉素处理,分析其根长、中胚轴长、胚芽鞘长、胚芽长以及叶长对 GA_3 的敏感性,探究不同矮秆品系萌发期的赤霉素敏感性反应类型,以推断这些矮秆材料的矮秆基因类型,以为谷子矮秆育种提供优质矮秆材料奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究采用的谷子矮秆材料是由黑龙江省农业科学院作物资源研究所谷子育种与资源保护研究室组配的龙谷 30×胜谷杂交组合后代,选取其株高分离后代 60,80 和 110 cm 株行各 10 个株系进行试验分析,将 60 cm 株行株系分别命名为 JA1~JA10,80 cm 株行株系命名为 A1~A10,110 cm 株行株系命名为 ZA1~ZA10。

收稿日期:2021-10-17

基金项目:黑龙江省农业科学院 2020 年度院级科研项目(2020YYF007);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”杂粮杂豆科技创新专项(HNK2019CX05-4);国家谷子高粱产业技术体系建设专项资金(CARS-06-14.5-B22);国家重点研发计划(2019YFD1001705-3)。

第一作者:董晓杰(1993—),女,硕士,研究实习员,从事谷子遗传育种研究。E-mail:823807416@qq.com。

1.2 方法

1.2.1 种子前期处理 分别挑选 30 个株系谷子种子中籽粒饱满的种子适量,用 75%酒精溶液对种子表面进行消毒处理 5 min。再用无菌蒸馏水清洗 3 次,最后放入垫有吸水纸的培养皿中催芽。

1.2.2 试验设计 每个株系选取 50 粒萌发整齐一致的种子分别播种于含有赤霉素浓度为 0,30 和 50 mg·L⁻¹的培养皿中,内铺有 4 层滤纸,添加溶液的量以保持滤纸湿润为宜,保证不同处理间加入的量相等,将培养皿用封口膜密封好,防止水分蒸发。然后放在光照培养箱中培养,每天 16 h 光照/8 h 黑暗。光照处理时,湿度 64%,温度 25 ℃;暗处理时,湿度 45%,温度 24 ℃。待第一片不完全叶生长定型,第一片真叶刚长出时,从每个处理中随机选取 20 株,测量其第一不完全叶叶长、胚芽长、中胚轴长、胚芽鞘长和根长,3 次重复。

1.2.3 数据分析 采用 SPSS 17.0 软件对所得数据进行分析,采用 Excel 2003 作图。

2 结果与分析

2.1 外源 GA₃对谷子矮秆材料萌发期根长的影响

由表 1 可知,与对照相比,赤霉素处理对根长存在不同程度的影响,但在 30 和 50 mg·L⁻¹处理间,根长相近,除个别 110 cm 株行的株系外,基本无显著性差异。不同矮秆株系的根长在不同浓度赤霉素处理下表现出不同的差异。其中,JA7、A3、A8、A9、ZA8 这 5 个矮秆株系的根长表现为两种浓度赤霉素处理较对照极显著增加。ZA6 及 ZA7 在 50 mg·L⁻¹赤霉素处理下根长较对照极显著增加,在 30 mg·L⁻¹赤霉素浓度处理下,ZA6 的根长与对照相比无显著性差异,ZA7 的根长则表现为显著增加;JA6、ZA4、ZA5 及 ZA9 这 4 个矮秆株系根长在两种浓度赤霉素处理下均表现为抑制作用;A2、A5、ZA1 这 3 个矮秆株系根长在 50 mg·L⁻¹赤霉素处理下与对照相比表现为极显著抑制,在 30 mg·L⁻¹赤霉素处理下根长与对照相比无显著变化。其他株系在两种浓度赤霉素处理下根长均无显著性变化。可以看出赤霉素处理对 60 cm 株系衍生后代的根长影响不大,对 80 cm 株系衍生后代的影响多为促进根长生长,而对 110 cm 株系衍生后代的影响多为抑制根长生长。

表 1 赤霉素处理对谷子不同株系根长的影响

株系	根长/cm		
	0 mg·L ⁻¹ GA ₃	30 mg·L ⁻¹ GA ₃	50 mg·L ⁻¹ GA ₃
JA1	4.43±0.40 aA	4.29±0.43 aA	5.06±0.34 aA
JA2	4.14±0.66 aA	4.58±0.38 aA	4.54±0.49 aA
JA3	5.28±0.41 aA	5.22±0.17 aA	5.17±0.32 aA
JA4	5.48±0.42 aA	4.61±0.30 aA	5.12±0.31 aA
JA5	5.46±0.25 aA	5.32±0.15 aA	5.09±0.35 aA
JA6	5.22±0.13 aA	4.21±0.13 bB	4.21±0.34 bB
JA7	3.05±0.08 bB	4.87±0.25 aA	5.18±0.10 aA
JA8	4.56±0.30 aA	4.64±0.15 aA	4.78±0.22 aA
JA9	3.60±0.28 aA	3.75±0.27 aA	3.56±0.14 aA
JA10	4.14±0.27 aA	4.21±0.24 aA	4.80±0.17 aA
A1	4.91±0.29 aA	5.80±0.33 aA	5.38±0.37 aA
A2	4.18±0.12 aA	4.44±0.18 aA	3.22±0.20 bB
A3	3.94±0.34 cB	5.65±0.22 aA	4.57±0.25 bA
A4	5.69±0.25 aA	5.90±0.16 aA	6.06±0.19 aA
A5	5.11±0.27 aA	4.63±0.28 abAB	3.72±0.39 bB
A6	5.64±0.28 aA	5.90±0.25 aA	5.48±0.39 aA
A7	5.63±0.29 aA	6.14±0.22 aA	6.13±0.26 aA
A8	3.81±0.34 bB	5.10±0.32 aA	5.72±0.19 aA
A9	3.80±0.21 bB	6.00±0.13 aA	5.93±0.17 aA
A10	5.41±0.21 aA	4.95±0.23 aA	4.92±0.21 aA
ZA1	5.37±0.26 aA	5.85±0.25 aA	4.23±0.26 bB
ZA2	5.68±0.30 aA	5.01±0.29 aA	5.18±0.25 aA
ZA3	5.42±0.27 aA	5.71±0.26 aA	4.18±0.19 bB
ZA4	5.71±0.32 aA	4.48±0.36 bB	4.45±0.23 bB
ZA5	5.55±0.21 aA	3.51±0.29 bB	3.79±0.32 bB
ZA6	4.09±0.25 bB	4.72±0.13 bB	5.85±0.30 aA
ZA7	3.52±0.28 bB	4.40±0.26 abAB	4.72±0.21 aA
ZA8	5.44±0.14 bB	6.18±0.27 aA	6.21±0.14 aA
ZA9	5.15±0.14 aA	3.95±0.21 bB	3.90±0.26 bB
ZA10	5.11±0.47 abA	4.65±0.35 bA	5.87±0.14 aA
均值	4.817 bB	4.945 aA	4.900 aA

注:不同大小写字母分别表示在 $P\leq 0.01$ 和 $P\leq 0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2 外源 GA₃对谷子矮秆材料萌发期中胚轴长的影响

由表 2 可知,与对照相比,赤霉素处理对中胚轴长存在不同程度的影响,但在 30 和 50 mg·L⁻¹赤霉素处理间,大部分材料中胚轴长无显著性差异。不同矮秆株系的中胚轴长在赤霉素处理下表现出差异性。其中,JA4、JA6、JA7、JA8、JA9、A2、A5、ZA5、ZA7、ZA8、ZA9、ZA10 这 12 个矮秆株系在两种浓度赤霉素处理下的中胚轴长均较对照表现为极显著增加。JA5 和 A6 在 30 mg·L⁻¹

赤霉素处理下的中胚轴长表现为显著增加,在 50 mg•L⁻¹ 赤霉素处理下的中胚轴长表现为极显著增加。JA3、JA10、A1、A3、A4、ZA3、ZA4 及 ZA6 这 8 个株系在 50 mg•L⁻¹ 赤霉素处理下的中胚轴长较对照表现为显著或极显著增加;其他株系在两种赤霉素处理条件下中胚轴长无显著性变化。结果表明,两种浓度的赤霉素处理对矮秆株系的中胚轴长影响较大,说明中胚轴是对赤霉素处理较为敏感的部位。

表 2 赤霉素处理对谷子不同株系中胚轴长的影响

株系	中胚轴长/cm		
	0 mg•L ⁻¹ GA ₃	30 mg•L ⁻¹ GA ₃	50 mg•L ⁻¹ GA ₃
JA1	0.12±0.01 aA	0.16±0.02 aA	0.15±0.01 aA
JA2	0.15±0.02 aA	0.16±0.01 aA	0.21±0.03 aA
JA3	0.12±0.01 bB	0.19±0.03 bAB	0.28±0.04 aA
JA4	0.14±0.02 bB	0.46±0.08 aA	0.47±0.01 aA
JA5	0.11±0.01 bB	0.21±0.02 aAB	0.27±0.05 aA
JA6	0.17±0.01 bB	0.38±0.05 aA	0.43±0.05 aA
JA7	0.14±0.01 cB	0.31±0.03 aA	0.24±0.03 bA
JA8	0.11±0.01 bB	0.36±0.05 aA	0.38±0.09 aA
JA9	0.16±0.01 bB	0.82±0.05 aA	0.87±0.07 aA
JA10	0.13±0.02 bB	0.17±0.02 bAB	0.28±0.05 aA
A1	0.16±0.01 bA	0.16±0.01 bA	0.28±0.05 aA
A2	0.13±0.02 cC	0.89±0.05 aA	0.58±0.05 bB
A3	0.12±0.02 bB	0.17±0.01 abAB	0.22±0.03 aA
A4	0.17±0.01 bB	0.20±0.01 bAB	0.26±0.03 aA
A5	0.11±0.01 bB	0.31±0.06 aA	0.28±0.04 aA
A6	0.09±0.01 bB	0.16±0.02 aAB	0.17±0.02 aA
A7	0.11±0.01 aA	0.13±0.01 aA	0.15±0.02 aA
A8	0.14±0.02 aA	0.13±0.01 aA	0.14±0.01 aA
A9	0.14±0.01 abA	0.12±0.01 bA	0.16±0.01 aA
A10	0.16±0.02 aA	0.16±0.01 aA	0.23±0.04 aA
ZA1	0.19±0.03 aA	0.19±0.01 aA	0.15±0.02 aA
ZA2	0.15±0.01 aA	0.17±0.02 aA	0.19±0.02 aA
ZA3	0.14±0.02 bB	0.18±0.01 bAB	0.24±0.03 aA
ZA4	0.14±0.02 bB	0.12±0.01 bB	0.37±0.07 aA
ZA5	0.17±0.01 bB	0.94±0.11 aA	0.76±0.04 aA
ZA6	0.17±0.01 bB	0.18±0.01 bB	0.53±0.04 aA
ZA7	0.13±0.01 bB	0.31±0.04 aA	0.35±0.02 aA
ZA8	0.11±0.01 bB	0.28±0.04 aA	0.27±0.01 aA
ZA9	0.14±0.01 bB	0.29±0.05 aA	0.36±0.05 aA
ZA10	0.14±0.02 bB	0.33±0.05 aA	0.41±0.05 aA
平均	0.137 bB	0.287 aA	0.322 aA

2.3 外源 GA₃对谷子矮秆材料萌发期胚芽鞘长的影响

由表 3 可知,不同矮秆株系的胚芽鞘长在赤

霉素处理下存在差异性。30 mg•L⁻¹ 赤霉素处理与对照间无显著性差异,而 50 mg•L⁻¹ 赤霉素处理下个别株系与对照的胚芽鞘长存在极显著差异。

表 3 赤霉素处理对谷子不同株系胚芽鞘长的影响

株系	胚芽鞘长/cm		
	0 mg•L ⁻¹ GA ₃	30 mg•L ⁻¹ GA ₃	50 mg•L ⁻¹ GA ₃
JA1	0.41±0.02 aA	0.40±0.02 aA	0.36±0.02 aA
JA2	0.44±0.02 aA	0.41±0.02 aA	0.40±0.03 aA
JA3	0.39±0.02 bA	0.43±0.02 abA	0.45±0.02 aA
JA4	0.45±0.02 aA	0.43±0.03 aA	0.42±0.02 aA
JA5	0.39±0.02 aA	0.42±0.02 aA	0.44±0.02 aA
JA6	0.46±0.02 aA	0.47±0.02 aA	0.50±0.03 aA
JA7	0.44±0.02 bB	0.47±0.02 abAB	0.53±0.01 aA
JA8	0.40±0.02 abA	0.33±0.02 bA	0.41±0.03 aA
JA9	0.41±0.02 bB	0.45±0.02 abAB	0.51±0.02 aA
JA10	0.42±0.02 aA	0.38±0.02 aA	0.44±0.03 aA
A1	0.39±0.02 aA	0.40±0.02 aA	0.42±0.02 aA
A2	0.35±0.02 bA	0.40±0.02 abA	0.43±0.03 aA
A3	0.40±0.02 aA	0.34±0.03 aA	0.40±0.03 aA
A4	0.41±0.03 bA	0.45±0.02 abA	0.51±0.04 aA
A5	0.46±0.02 aA	0.45±0.02 aA	0.46±0.02 aA
A6	0.37±0.02 bA	0.37±0.02 bA	0.44±0.02 aA
A7	0.44±0.02 aA	0.40±0.03 aA	0.44±0.03 aA
A8	0.38±0.02 bB	0.52±0.02 aA	0.49±0.02 aA
A9	0.34±0.04 bA	0.45±0.03 aA	0.47±0.02 aA
A10	0.37±0.04 aA	0.36±0.02 aA	0.42±0.03 aA
ZA1	0.38±0.02 aA	0.36±0.03 aA	0.42±0.02 aA
ZA2	0.48±0.02 aA	0.48±0.02 aA	0.49±0.02 aA
ZA3	0.43±0.03 aA	0.39±0.03 aA	0.37±0.02 aA
ZA4	0.39±0.01 aA	0.36±0.01 aA	0.42±0.03 aA
ZA5	0.40±0.01 bB	0.45±0.03 bAB	0.52±0.02 aA
ZA6	0.44±0.02 aA	0.45±0.03 aA	0.43±0.02 aA
ZA7	0.40±0.02 aA	0.46±0.02 aA	0.41±0.02 aA
ZA8	0.44±0.01 aA	0.42±0.02 aA	0.45±0.03 aA
ZA9	0.38±0.02 aA	0.38±0.02 aA	0.41±0.03 aA
ZA10	0.41±0.02 aA	0.41±0.03 aA	0.48±0.01 aA
均值	0.408 bB	0.415 bB	0.437 aA

矮秆株系 A8 在两种浓度赤霉素处理下的胚芽鞘长较对照表现为极显著增加,矮秆株系 A9 在两种浓度赤霉素处理下的胚芽鞘长较对照表现为显著增加。JA3、JA7、JA9、A2、A4、A6 及 ZA5 这 7 个矮秆株系在 30 mg•L⁻¹ 赤霉素处理下的胚芽鞘长与对照间无显著变化,而在 50 mg•L⁻¹ 赤霉素处理条件下的胚芽鞘长表现为较对照显著或极显著增加。其他株系在两种浓度赤霉素处理下

胚芽鞘长无显著性变化。可以看出,胚芽鞘长对赤霉素处理的敏感性较弱。

2.4 外源 GA₃对谷子矮秆材料萌发期胚芽长的影响

由表 4 可知,与对照相比,赤霉素处理对胚芽长存在极显著影响,但在 30 和 50 mg·L⁻¹赤霉素处理间,大部分株系胚芽长无显著性差异。所有矮秆株系的胚芽长在赤霉素处理下均较对照表现为极显著增加,说明胚芽是对赤霉素处理最为敏感性状。

表 4 赤霉素处理对谷子不同株系胚芽长的影响

株系	胚芽长/cm		
	0 mg·L ⁻¹ GA ₃	30 mg·L ⁻¹ GA ₃	50 mg·L ⁻¹ GA ₃
JA1	0.35±0.05 cC	0.87±0.03 bB	1.11±0.05 aA
JA2	0.37±0.04 bB	1.01±0.09 aA	1.21±0.06 aA
JA3	0.26±0.04 bB	0.96±0.05 aA	0.98±0.08 aA
JA4	0.21±0.02 bB	0.94±0.08 aA	0.83±0.06 aA
JA5	0.25±0.02 bB	0.71±0.03 aA	0.79±0.05 aA
JA6	0.20±0.02 bB	0.89±0.04 aA	0.91±0.08 aA
JA7	0.11±0.01 cB	0.98±0.04 aA	0.86±0.04 bA
JA8	0.22±0.02 bB	0.72±0.04 aA	0.73±0.05 aA
JA9	0.33±0.03 bB	0.73±0.03 aA	0.65±0.04 aA
JA10	0.20±0.03 cB	0.63±0.04 bA	0.76±0.05 aA
A1	0.20±0.02 bB	0.88±0.04 aA	0.87±0.04 aA
A2	0.23±0.02 bB	0.71±0.02 aA	0.71±0.03 aA
A3	0.21±0.03 bB	0.74±0.04 aA	0.86±0.07 aA
A4	0.25±0.02 cB	0.75±0.02 bA	0.88±0.06 aA
A5	0.22±0.01 bB	0.69±0.03 aA	0.80±0.06 aA
A6	0.17±0.02 bB	0.80±0.04 aA	0.66±0.08 aA
A7	0.22±0.02 bB	0.86±0.07 aA	0.85±0.07 aA
A8	0.30±0.04 bB	0.84±0.05 aA	0.97±0.05 aA
A9	0.12±0.02 cC	0.95±0.04 aA	0.73±0.04 bB
A10	0.18±0.02 cC	1.12±0.04 aA	0.85±0.04 bB
ZA1	0.25±0.03 bB	1.12±0.04 aA	1.02±0.09 aA
ZA2	0.23±0.02 bB	0.99±0.03 aA	1.01±0.05 aA
ZA3	0.15±0.02 cC	0.96±0.05 bB	1.13±0.04 aA
ZA4	0.21±0.02 cB	1.08±0.06 aA	0.92±0.05 bA
ZA5	0.18±0.01 bB	0.41±0.03 aA	0.53±0.07 aA
ZA6	0.20±0.02 bB	0.93±0.03 aA	0.96±0.08 aA
ZA7	0.20±0.02 cC	0.78±0.05 bB	0.98±0.04 aA
ZA8	0.16±0.02 bB	0.93±0.05 aA	0.92±0.05 aA
ZA9	0.20±0.02 bB	0.77±0.03 aA	0.73±0.05 aA
ZA10	0.23±0.02 bB	0.82±0.06 aA	0.74±0.05 aA
均值	0.221 bB	0.852 aA	0.865 aA

2.5 外源 GA₃对谷子矮秆材料萌发期叶长的影响

由表 5 可知,与对照相比,赤霉素处理对叶长存在极显著影响,但 30 和 50 mg·L⁻¹赤霉素处理间,大部分株系叶长无显著性差异。不同矮秆株系的叶长在不同浓度赤霉素处理下表现出差异性。

表 5 赤霉素处理对谷子不同株系叶长的影响

株系	叶长/cm		
	0 mg·L ⁻¹ GA ₃	30 mg·L ⁻¹ GA ₃	50 mg·L ⁻¹ GA ₃
JA1	1.09±0.06 aA	1.01±0.07 aA	1.18±0.05 aA
JA2	1.17±0.05 aA	1.16±0.07 aA	1.17±0.04 aA
JA3	1.19±0.04 aA	1.20±0.05 aA	1.21±0.03 aA
JA4	1.22±0.04 aA	1.32±0.06 aA	1.33±0.07 aA
JA5	1.12±0.04 aA	1.08±0.02 aA	1.08±0.07 aA
JA6	1.20±0.03 aA	1.06±0.03 aA	1.16±0.08 aA
JA7	0.79±0.03 bB	1.46±0.04 aA	1.54±0.04 aA
JA8	1.02±0.04 aA	1.11±0.05 aA	1.16±0.03 aA
JA9	0.82±0.04 aA	0.94±0.04 aA	0.82±0.04 aA
JA10	1.07±0.03 bB	1.13±0.02 abAB	1.20±0.04 aA
A1	1.17±0.04 bB	1.06±0.04 bB	1.34±0.04 aA
A2	0.92±0.03 aA	0.87±0.04 aA	0.93±0.09 aA
A3	1.07±0.05 bA	1.10±0.03 bA	1.23±0.04 aA
A4	1.21±0.03 bB	1.25±0.02 bB	1.44±0.06 aA
A5	1.13±0.02 bAB	1.00±0.04 bB	1.30±0.07 aA
A6	1.06±0.05 abA	0.98±0.04 bA	1.16±0.07 aA
A7	1.20±0.03 aA	1.12±0.09 aA	1.27±0.05 aA
A8	1.10±0.07 abAB	0.98±0.05 bB	1.22±0.05 aA
A9	0.52±0.03 bB	1.13±0.03 aA	1.07±0.04 aA
A10	1.17±0.06 aA	1.27±0.07 aA	1.23±0.07 aA
ZA1	1.22±0.07 aA	1.22±0.04 aA	1.17±0.06 aA
ZA2	1.22±0.04 bA	1.23±0.03 bA	1.34±0.04 aA
ZA3	1.14±0.04 aA	1.09±0.06 aA	1.12±0.04 aA
ZA4	1.16±0.03 bB	1.08±0.02 bB	1.54±0.10 aA
ZA5	1.01±0.05 bB	1.12±0.06 bAB	1.33±0.06 aA
ZA6	1.04±0.06 bB	1.18±0.04 bB	1.40±0.04 aA
ZA7	1.12±0.04 bB	1.41±0.04 aA	1.42±0.03 aA
ZA8	1.07±0.03 bB	1.37±0.03 aA	1.40±0.03 aA
ZA9	1.11±0.05 bB	1.11±0.06 bB	1.41±0.08 aA
ZA10	1.13±0.05 bB	1.46±0.05 aA	1.50±0.04 aA
均值	1.082 cC	1.150 bB	1.256 aA

JA7、A9、ZA7、ZA8 及 ZA10 这 5 个矮秆株系在两种浓度赤霉素处理条件下的叶长均较对照

表现为极显著增加。JA10、A1、A3、A4、A5、ZA2、ZA4、ZA5、ZA6 及 ZA9 这 10 个矮秆株系在 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度处理下的叶长较对照表现为显著或极显著增加,在 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素浓度处理条件下叶长较对照无显著性变化;其他株系在两种浓度赤霉素处理条件下的叶长均无显著性变化。

3 讨论

3.1 谷子矮秆材料赤霉素敏感性鉴定方法的比较

本试验所用的鉴定方法为浸渍法,陈金桂等^[12]利用点滴法、浸渍法和喷洒法鉴定谷子矮秆突变体对赤霉素的反应敏感性,点滴法便于精确控制处理剂量,节省药品用量,适于观察叶片伸长及叶鞘生长,但是操作极为复杂;喷洒法可在拔节期进行鉴定,试验周期长,不易精确控制试验条件,每株处理量的误差也较大,不适用于一些昂贵的药品;浸渍法与前两种方法相比,试验周期短,操作简便快速,有利于观察叶片的伸长及其他各器官的生长状况,但易受到污染,并且试验过程中需不断补充蒸发掉的水分。在谷子矮秆材料赤霉素敏感性分析试验中,既要考虑实际操作的简便和快速,又要顾及到试验可靠性及试验误差,此外,还要考虑到鉴定时期是否为被鉴定材料的伸长敏感期。所以在试验过程中,可采用点滴法、浸渍法及喷洒法相结合的方式对赤霉素敏感性分析。

3.2 谷子矮秆材料对 GA_3 的敏感性分析

赤霉素是调控种子发育、萌发与休眠的重要激素,显著地影响种子萌发、幼苗构建和作物产量^[13-16],本试验中的矮秆材料对赤霉素处理表现出了不同的敏感性,且不同器官对 GA_3 的敏感性表现出多样性。有些材料的某一器官对 GA_3 敏感,而其他器官都不敏感,如 JA1、JA2、A10 的胚芽对 GA_3 敏感,而根、中胚轴、胚芽鞘等器官对 GA_3 都不敏感;有些材料的某一器官对 GA_3 不敏感,而其他器官都敏感,如 A3、ZA4、ZA7、ZA8、ZA9 的胚芽鞘对 GA_3 不敏感,而根、中胚轴、胚芽等器官对 GA_3 都敏感,A9 的中胚轴长对 GA_3 不敏感,而其他器官对 GA_3 都敏感等。由此可见,本试验中所利用的谷子矮秆材料可能具有多个矮秆基因,这些矮秆资源为研究 GA_3 的作用机理提供了丰富的材料,如对 GA_3 敏感的材料可以用来研究 GA 的合成基因,利用 GA 敏感矮秆突变体

可以克隆 GA 生物合成基因,并分析基因功能;研究 GA 不敏感矮化突变体有助于对 GA 的信号转导途径进行研究与分析。另外,A3、ZA4、ZA7、ZA8、ZA9 的胚芽鞘对 GA_3 不敏感,而叶长、中胚轴长对 GA_3 敏感,水稻的 *sd1* 在苗期被鉴定出苗长对 GA_3 敏感,但在 25°C 时含 *sd1* 基因水稻的胚芽鞘对 GA_3 不敏感^[5]。本试验的矮秆材料中是否含有与水稻相似的 *sd1* 基因,要经过基因的克隆和分析进一步验证。本试验中,选用的 GA_3 浓度处理对部分矮秆材料的根长产生抑制作用,钱继岳^[17]利用 30、50 及 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的赤霉素处理 48 份谷子矮秆材料,结果表明 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以内的赤霉素浓度对 5 份材料的根长有促进作用,对 14 份材料的根长没有影响,对其余 29 份材料的根长有抑制作用,本试验的研究结果与其相符合。说明选用的赤霉素浓度可能不适于探究根长对赤霉素的敏感性,若想验证根长随赤霉素浓度变化而产生变化的规律,可选用低浓度、多梯度的赤霉素处理。

4 结论

在两种赤霉素浓度处理条件下,60、80 及 110 cm 株行的株系分离后代各性状对 GA_3 敏感性差异不显著。在 GA_3 敏感性材料中,胚芽的敏感性要强于中胚轴、根、胚芽鞘和叶,且胚芽的敏感性都达到极显著水平以上。其次是中胚轴的敏感性要强于根、胚芽鞘和叶。因此,用 GA_3 鉴定谷子敏感性时,胚芽和中胚轴可以作为鉴定的首选器官。在鉴定 GA_3 敏感性所利用的 5 个性状中,有些矮秆材料的根长会随着赤霉素的处理而减小,说明赤霉素处理可能会对根长产生抑制作用,而其他性状均随着赤霉素处理而增加,即适宜浓度的赤霉素处理会对中胚轴长、胚芽鞘长、胚芽长和叶长产生促进作用。本试验利用的 30 份材料均对 GA_3 处理敏感,表现在不同器官的伸长或抑制,由此推断这些矮秆材料可能含有与 GA_3 合成相关的基因,这些材料的矮化可能是由于 GA_3 合成基因发生突变,导致植株不能合成植株正常生长所需的 GA_3 ,其结果要经过基因的克隆和分析进一步证明。

参考文献:

- [1] KONISHI H, YAMANE H, MAESHIMA M, et al. Characterization of fructose-bisphosphate aldolase regulated by gibberellin in roots of rice seedling [J]. Plant Molecular Biology, 2004, 56(6): 839-848.

- [2] KOMATSU S, KONISHI H. Proteome analysis of rice root proteins regulated by gibberellin[J]. *Genomics Proteomics & Bioinformatics*, 2005, 3(3): 132-142.
- [3] KOMATSU S, ZANG X, TANAKA N. Comparison of two proteomics techniques used to identify proteins regulated by gibberellin in rice[J]. *Journal of Proteome Research*, 2006, 5(2): 270.
- [4] NONOGAKI H. Seed dormancy and germination—emerging mechanisms and new hypotheses[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2014, 5: 233.
- [5] 邓志军, 宋松泉, 艾训儒, 等. 植物种子保存和检测的原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [6] 徐恒恒, 黎妮, 刘树君, 等. 种子萌发及其调控的研究进展[J]. *作物学报*, 2014, 40(7): 1141-1156.
- [7] DENG Z J, CHENG H Y, SONG S Q. Effects of temperature, scarification, dry storage, stratification, phytohormone and light on dormancy-breaking and germination of *Cotinus coggygria* var. *cinerea* (Anacardiaceae) seeds[J]. *Seed Science & Technology*, 2010, 38(3): 572-584.
- [8] HIROYUKI N. Seed biology updates-highlights and new discoveries in seed dormancy and germination research[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 524.
- [9] 李冬玲, 段红霞, 刘鸿晨, 等. 赤霉素及其功能类似物与赤霉素受体的研究进展[J]. *农药学报*, 2013, 15(6): 601-608.
- [10] 高秀华, 傅向东. 赤霉素信号转导及其调控植物生长发育的研究进展[J]. *生物技术通报*, 2018, 34(7): 1-13.
- [11] URBANOVA T, LEUBNER—METZGER G. Gibberellin and seed germination [M]//Hedden P, Thomas S G. *Annual Plant Reviews*, Volume 49: The Gibberellins. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2016: 253-284.
- [12] 陈金桂, 张玉宗. 赤霉素反应敏感型和不敏感型谷子矮秆突变体的鉴定[J]. *华北农学报*, 1998, 13(1): 46-52.
- [13] BEWLEY J D, BRADFORD K J, HILHORST H W M, et al. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy*, 3rd edition [J]. *Seed Science Research*, 2013, 23(4): 289-289.
- [14] OGAWA M, HANADA A, YAMAUCHI Y, et al. Gibberellin biosynthesis and response during *Arabidopsis* seed germination[J]. *Plant Cell*, 2003, 15(7): 1591-1604.
- [15] CHENG H. Gibberellin regulates *Arabidopsis* floral development *via* suppression of DELLA protein function[J]. *Development*, 2004, 131(5): 1055-1064.
- [16] MOSHE J P, MORITZ A. Effects of light, temperature, gibberellin (GA₃) and their interaction on coleoptile and leaf elongation of tall, semi-dwarf and dwarf wheat[J]. *Plant Growth Regulation*, 1996, 18(3): 239-247.
- [17] 钱继岳. 谷子矮秆基因的等位性和 GA 敏感性测定[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2009.

Sensitivity of Millet Dwarf Materials to Gibberellin During Germination

DONG Xiao-jie, LI Zhi-jiang, MA Jin-feng, LI Xiang-yu, SUN Guang-quan, ZHENG Ya-lu

(Crop Resources Institute, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to clarify the gibberellin sensitive reaction type of millet dwarf materials at germination stage, 30 dwarf materials, which used Longgu 30 as female parent and Shenggu as male parent, dwarf lines JA1-JA10, A1-A10 and ZA1-A10, were treated with gibberellin at different concentrations during germination. The sensitivity of root length, hypocotyl length, coleoptile length, germ length and leaf length to GA₃ were analyzed. The results showed that under the treatment of two gibberellin concentrations, there was no significant difference in the sensitivity of the offspring of 60, 80 and 110 cm line to GA₃. Among the GA₃ sensitive materials, the sensitivity of germ was stronger than that of hypocotyl, root, coleoptile and leaf, and the sensitivity of germ reached a very significant level. Secondly, the sensitivity of mesodermal axis was stronger than that of root, coleoptile and leaf. Therefore, when using GA₃ to identify millet sensitivity, germ and mesodermal axis can be used as the preferred organs for identification. Among the five traits used to identify GA₃ sensitivity, root length may decrease with gibberellin treatment, indicating that gibberellin treatment may inhibit root length, while other traits increase with gibberellin treatment. That is, gibberellin treatment with appropriate concentration can promote mesodermal axis length, coleoptile length, germ length and leaf length. The 30 materials used in this experiment were sensitive to GA₃ treatment, which were manifested in the elongation or inhibition of different organs. It was inferred that these dwarf materials may contain genes related to GA₃ synthesis. The dwarfing of these materials may be due to the mutation of GA₃ synthesis gene, resulting in the plant unable to synthesize GA₃ required for normal plant growth.

Keywords: *Setaria italica* L.; germination stage; gibberellin; dwarf breeding