

# EMS矮化谷子突变体生理及品质性状研究

袁蕊<sup>1,2</sup>, 武懿茂<sup>2</sup>, 郝兴宇<sup>2</sup>, 胡桃花<sup>3</sup>, 贺晓红<sup>4</sup>, 李海增<sup>5</sup>, 李萍<sup>2\*</sup>

(1. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 江苏 徐州 221131; 2. 山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801; 3. 朔州市气象局, 山西 朔州 036000; 4. 太谷县农业农村局植保站, 山西 太谷 030800; 5. 邯郸冀南新区盛炎电子科技有限公司, 河北 邯郸 056001)

**摘要:**为解决谷子生产中倒伏问题,本研究通过EMS诱导晋谷21,选育了优质矮秆突变体谷子品种。分析比较突变体谷子的光合特性、农艺性状、营养元素含量、产量和小米品质等指标。结果表明,经过EMS诱导的矮秆突变体谷子,单位面积的净光合速率较低,但叶片总面积较大;产量方面虽有降低,但小米品质较好;株高降低和茎粗增加,有利于解决谷子生产中的倒伏问题。

**关键词:**晋谷21;矮化;光合;农艺;品质

中图分类号:S515

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)03-0047-04

## Study on the Physiological and Quality Traits of EMS Dwarf Millet Mutants

YUAN Rui<sup>1,2</sup>, WU Yimao<sup>2</sup>, HAO Xingyu<sup>2</sup>, HU Taohua<sup>3</sup>, HE Xiaohong<sup>4</sup>, LI Haizeng<sup>5</sup>, LI Ping<sup>2\*</sup>

(1. Xuzhou Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District, Xuzhou 221131; 2. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801; 3. Shuozhou Meteorological Bureau, Shuozhou 036000; 4. Taigu County Agricultural Rural Bureau Plant Protection Station, Taigu 030800; 5. Handan Jinan new area Shengyan Electronic Technology Co., Ltd, Handan 056001, China)

**Abstract:** In order to solve the lodging problem in millet production, Jingu 21 was induced by EMS, and a high-quality dwarf mutant millet variety was selected. The photosynthetic characteristics, agronomic characters, nutrient element content, yield and millet quality of mutant millet were analyzed and compared. The results showed that the net photosynthetic rate per unit area of dwarf mutant millet induced by EMS was lower, but the total leaf area was larger. Although the yield decreased, the quality of millet was better. The decrease of plant height and the increase of stem diameter are conducive to solving the lodging problem in millet production.

**Key words:** Jingu 21; Dwarf; Photosynthetic; Agronomic; Quality

谷子(*Setaria italica*)是我国重要的小杂粮作物之一,在可持续生态农业和作物多态性建设中具有重要地位<sup>[1-2]</sup>。晋谷21一直被公认为顶级米质品种,熬成的小米粥味道香浓且适口品质好<sup>[3]</sup>。但晋谷21植株高大,茎秆抗风能力弱,造成大面积倾斜或倒伏,倒伏后的谷穗易发芽和发霉,导致减产<sup>[4]</sup>。倒伏是影响作物收获期产量以及感官和食味品质的重要因素之一,倒伏后茎秆输送能

力和光合作用能力被削弱,最终造成减产<sup>[5]</sup>。要解决谷子高大植株易倒伏问题,不但要增强茎秆的韧性,还要降低株高,因此选育矮秆谷子品种成为必要<sup>[6]</sup>。作物植株矮化是当前育种工作的热点,矮化成为一种重要的农艺性状,矮化植株的防风抗倒能力较强,作物的全生育期都能充分利用光合作用,实现作物增产和改善感官食味品质,因而越来越受到重视<sup>[7-8]</sup>。被广泛应用在农作物诱变育种工作中的有效化学诱变剂是甲基磺酸乙酯(EMS),利用EMS诱导谷子突变,不但可以创造全新基因型的谷子,还能丰富谷子的种质资源<sup>[9]</sup>。但关于EMS诱导谷子矮化的突变体大田种植过程中光合特性、农艺性状和小米品质变化研究报道较少。为此本试验对晋谷21经EMS诱变矮化后选育的矮秆突变体谷子的生理及品质进行比较分

收稿日期:2019-09-16

基金项目:山西省农谷建设科研专项(SXNGJSKYZX201705);山西省重点研发计划项目(201703D221033-1);国家自然科学基金项目(31601212)

作者简介:袁蕊(1989-),女,助理研究员,硕士,主要从事植物生理生态研究。

通讯作者:李萍,女,博士,教授,E-mail: lipinghxy@126.com

析,为矮秆突变体谷子在实际生产中的应用提供一定的参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 地点和材料

在山西农业大学试验基地种植晋谷 21 和 EMS 诱变矮化的矮秆突变体。

### 1.2 试验设计

在大田规划 3 m 宽 10 m 长面积 30 m<sup>2</sup> 的小区, 每小区分 33 行, 行距 0.3 m, 沟深 0.02 m 左右, 每 3 行均匀播撒 2.5 g 种子, 覆土踩实, 每小区播 27.5 g 种子, 每个谷子品种种 4 个小区, 共 8 个小区。

### 1.3 测定指标及方法

#### 1.3.1 叶片光合作用

在谷子的拔节、抽穗和灌浆期, 晴天 9:00~11:30, 随机选长势良好、功能叶完全展开的谷子, 每个小区至少选 3 株, 用便携式光合气体分析系统 (Li-Cor 6400), 测取 2 cm 宽和 3 cm 长的功能叶的光合效率, 记录净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、蒸腾速率 (Tr), 计算水分利用效率 ( $WUE = Pn/Tr$ )。叶室 CO<sub>2</sub> 浓度 400 μmol/mol, 用内置红蓝光源, 光量子通量密度 (PPFD) 1 400 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 叶室温度设 25 °C<sup>[10]</sup>。

#### 1.3.2 叶片光合色素含量

在谷子拔节、抽穗和灌浆期, 7:00 随机剪取长势良好的谷子植株顶部全展的功能叶, 每小区 3 株, 冰盒冷藏带回实验室。丙酮和乙醇混合液提取测吸光值<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.3 叶片糖类化合物含量

采用蒽酮-硫酸法和 3-5-二硝基水杨酸法测定糖类化合物含量<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4 形态结构、生物量和产量测定

成熟后, 每小区选 15 株整株。整理悬挂晾晒干后考种: 株高和穗长用卷尺测量、茎粗用游标卡尺测量穗重、茎叶重、千粒重用 0.01 g 水平的分析天平称重。

#### 1.3.5 叶面积

叶面积=叶长(叶基到叶尖直线距离)×叶宽(叶表面最宽部分的直线距离)×叶面积系数(称重法)<sup>[13]</sup>。

#### 1.3.6 小米营养成分

色差仪测米色 (b\*), 分光光度计测小米植酸酶含量, 小米磨粉测干基含量<sup>[14-15]</sup>。

#### 1.3.7 小米矿物质元素

采用电感耦合等离子体发射光谱仪测定<sup>[16]</sup>。

## 1.4 数据分析

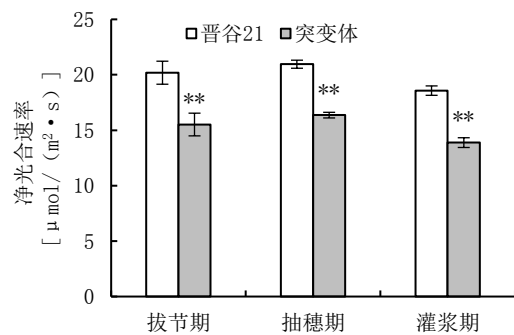
采用 Excel 2003 进行数据处理和绘制图表, SPSS 21 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片光合作用

#### 2.1.1 净光合速率

拔节、抽穗和灌浆期, 矮化突变体比晋谷 21 的 Pn 低 23.14%、21.91% 和 25.26% (图 1)。光合作用是作物干物质积累和产量形成的基础<sup>[17]</sup>, 叶片净光合速率体现了植株有机物的积累<sup>[18]</sup>, 突变体谷子单位面积较低的净光合速率影响产量的形成。



注: “\*”表示 0.05 水平差异显著, “\*\*”表示 0.01 水平差异显著,

下同

图 1 矮秆突变体和晋谷 21 的净光合速率

#### 2.1.2 气孔导度

拔节期, 矮秆突变体比晋谷 21 的 Gs 高 63.85%; 抽穗和灌浆期, 矮秆突变体低 30.96% 和 22.24% (图 2)。气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道, 是影响植物光合作用、呼吸作用及蒸腾作用的主要因素<sup>[19]</sup>。

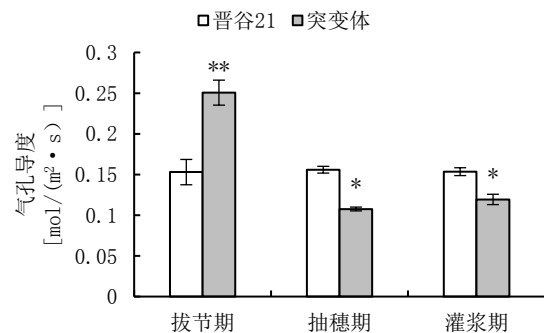


图 2 矮秆突变体和晋谷 21 的气孔导度

#### 2.1.3 蒸腾速率

拔节期, 矮秆突变体比晋谷 21 的 Tr 高 67.65%; 抽穗和灌浆期, 矮秆突变体低 18.13% 和 18.15% (图 3)。拔节期突变体谷子的蒸腾速率主要受到气孔导度的影响。

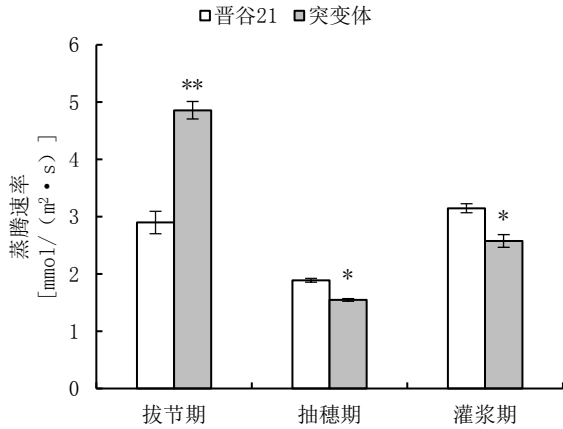


图3 矮秆突变体和晋谷21的蒸腾速率

#### 2.1.4 水分利用效率

拔节期,矮秆突变体比晋谷21的WUE低69.98%(图4)。水分利用效率是衡量作物产量与用水量关系的一种指标<sup>[20]</sup>。拔节期突变体谷子气孔开放度大,蒸腾速率高是导致水分利用率较低的主要原因。

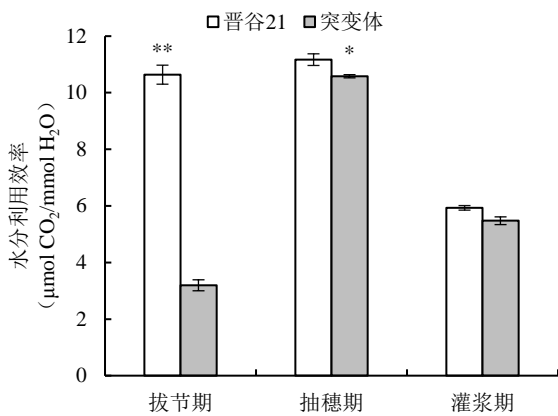


图4 矮秆突变体和晋谷21的水分利用效率

## 2.2 叶片光合色素含量

拔节和灌浆期,矮秆突变体比晋谷21叶片中叶绿素a、b含量都低;只有在抽穗期,矮秆突变体叶绿素b含量高10.59%(表1)。光合色素是作物进行光合作用的生理基础,较低的光和色素含量

表1 矮秆突变体和晋谷21的光合色素含量

		mg/g·FW		
生育期	品种	叶绿素a	叶绿素b	类胡萝卜素
拔节期	晋谷21	1.38±0.088	0.77±0.024	0.25±0.016
	突变体	1.004±0.036*	0.53±0.014**	0.20±0.009*
抽穗期	晋谷21	2.07±0.062	1.18±0.034	0.34±0.040
	突变体	1.99±0.085	1.31±0.082*	0.22±0.039**
灌浆期	晋谷21	2.17±0.080	1.43±0.091	0.31±0.004
	突变体	1.52±0.075**	0.77±0.078**	0.32±0.036

注:“\*”表示0.05水平差异显著,“\*\*”表示0.01水平的显著性,FW表示鲜重,下同

不利于光合作用的进行。

## 2.3 叶片糖类化合物含量

拔节和抽穗期,矮秆突变体比晋谷21叶片中可溶性总糖和还原糖含量都低;灌浆期,矮秆突变体可溶性总糖和淀粉含量高51.40%和69.64%(表2)。糖类化合物在植物代谢中占有重要位置,灌浆期总糖含量积累有利于谷子籽粒的形成。

表2 矮秆突变体和晋谷21的糖类化合物含量 %

生育期	品种	可溶性总糖含量	还原糖含量	淀粉含量
拔节期	晋谷21	7.80±0.26	2.22±0.089	0.86±0.13
	突变体	5.48±0.36*	1.91±0.059*	1.39±0.27**
抽穗期	晋谷21	9.21±0.23	1.91±0.21	1.52±0.18
	突变体	4.95±0.45**	1.89±0.050	1.22±0.36*
灌浆期	晋谷21	6.89±1.61	0.91±0.011	0.38±0.013
	突变体	10.42±0.17*	0.77±0.048	0.65±0.019**

## 2.4 形态结构、生物量和产量

矮秆突变体比晋谷21的株高低37.95%,茎粗和分蘖数高3.04%和68.75%(表3)。影响作物倒伏的主要因素有株高、茎粗和节长,作物生长发育是一个动态积累的过程,节数的数量也能衡量植株的抗倒伏能力<sup>[21]</sup>。突变体谷子较低的株高、较粗的茎秆和没有显著减少的茎节数,都能增加谷子的群体结构韧性,增加防风抗倒伏能力。

表3 矮秆突变体和晋谷21的形态指标

品种	株高(cm)	穗长(cm)	单株节数	茎粗(mm)	单株分蘖
晋谷21	186.02±4.78	24.33±0.22	14.67±0.37	8.26±0.35	1.33±0.29
突变体	115.43±3.20**	23.96±0.86	13.93±0.21	8.51±0.18*	2.25±0.25**

矮秆突变体比晋谷21的穗重、茎叶重、粒重都低,但千粒重没有表现出显著差异(表4)。千粒重是种子大小与饱满程度的一项指标,是检验种子质量的依据<sup>[22]</sup>,所以矮化后的谷子种子质量

没有变化。

## 2.5 叶面积

矮秆突变体比晋谷21叶宽和叶面积高73.50%和77.11%(表5)。作物叶片的主要作用是

表4 矮秆突变体和晋谷21的生物量和产量 g

品种	单株穗重	单株茎叶重	单株粒重	千粒重
晋谷21	33.51±1.96	45.99±4.55	23.43±1.57	3.30±0.21
突变体	25.41±1.62*	29.12±2.55**	14.53±1.52*	2.98±0.12

表5 矮秆突变体和晋谷21谷子的叶面积

品种	叶长(cm)	叶宽(cm)	叶面积(cm <sup>2</sup> )
晋谷21	37.79±0.72	2.39±0.30	72.10±8.47
突变体	38.56±1.05	4.15±0.15**	127.69±2.15**

进行光合呼吸作用和蒸腾作用等,叶片决定了作物的生理过程,所以叶面积的大小能一定程度衡量作物的生长发育<sup>[23]</sup>。虽然突变体谷子的叶片单位面积光合速率较低,但叶宽和叶面积能增加总叶片的光合能力。

## 2.6 小米营养成分

矮秆突变体比晋谷21小米中植酸酶活性和粗蛋白含量高48.65%和26.94%(表6)。植酸酶能增加矿物质元素的营养效价,改变食品质地,淀粉、蛋白含量是谷子营养和食味品质测量指标<sup>[24]</sup>。米色(b\*)表黄度,小米越黄b\*越高,色泽黄的小米商业价值高。结合表6小米米色没有显著性差异,但其他含量高,所以突变体谷子的营养品质优于晋谷21。

表6 矮化突变体和晋谷21的小米营养成分

品种	米色 (b*)	植酸酶活性 (U/g)	淀粉干基 (%)	粗蛋白干基 (%)
晋谷21	44.57±0.91	0.036±0.003	75.84±0.26	11.11±0.12
突变体	44.47±0.13	0.018±0.004*	71.36±0.10	14.11±0.10**

## 2.7 小米矿物质元素

矮秆突变体小米中Fe、Mn、Mg和Cu含量显著高于晋谷21(表7)。矿质营养元素影响农作物的品质<sup>[25]</sup>。在测定的多个矿物质元素中,与晋谷

表7 矮化突变体和晋谷21小米的矿物质元素

元素名称	晋谷21	突变体
P(g/kg)	2.61±0.11	3.11±0.27
K(g/kg)	3.050±0.30	3.26±0.33
Fe(mg/kg)	143.75±28.02	226.53±48.89*
Mn(mg/kg)	13.72±0.28	18.87±0.81*
Ca(mg/kg)	50.38±3.13	50.93±0.51
Mg(mg/kg)	1251.33±28.76	1976.67±219.18*
Cu(mg/kg)	8.68±0.55	18.85±4.59**
Zn(mg/kg)	58.12±0.87	64.70±2.43
B(mg/kg)	5.37±0.12	4.95±0.35

21相比,矮秆突变体小米中的其他元素都没有显著性减少。

## 3 结论

矮秆突变体叶绿素和糖类化合物含量低于晋谷21,单位叶片面积光合能力不足是造成产量低的重要原因。突变体谷子干物质产量转化为籽粒产量的能力相对高,植酸酶活性、蛋白和矿物质元素铁、锰、镁显著高于晋谷21,小米品质优。成熟期突变体谷子的株高、茎粗、节数、叶宽和叶面积都表现出较大优势,符合矮秆突变体品种的育种目的,有利于解决谷子生产中的倒伏问题。

## 参考文献:

- [1] Yang X, Wan Z, Perry L, et al. Early millet use in northern China [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2012, 109(10): 3726-3732.
- [2] 袁蕊,郝兴宇,胡晓雪,等.干旱对谷子灌浆期光合生理及生长发育的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版), 2017, 37(6): 396-401.
- [3] 李齐霞,郭二虎,李中青,等.谷子新品种长农44产量潜力、耐旱性、抗逆性分析与应用实践[J].东北农业科学, 2018, 43(2): 5-9.
- [4] 李志江,马金丰,李延东,等.东北春谷区近年来谷子育成品种的评价[J].中国农业科学, 2017(23): 4507-4518.
- [5] 田保明,杨光圣,曹刚强,等.农作物倒伏及其影响因素分析[J].中国农学通报, 2006, 22(4): 163-167.
- [6] 刘晓辉,高士杰,杨明,等.优质矮秆谷子新品种公矮3号选育[J].吉林农业科学, 2007, 32(4): 20-21.
- [7] 白丽君,尹淑霞.植物矮化突变体的来源及矮化机理研究进展[J].生物技术通报, 2014(6): 34-39.
- [8] 周玉雪,张金昊,张秀彤,等.大豆矮化突变体z110的生理及产量性状分析[J].东北农业科学, 2019, 44(6): 20-23.
- [9] 姜昱,李毅丹,刘相国,等.EMS诱变技术在我国玉米育种中的应用[J].吉林农业科学, 2012, 37(6): 21-24.
- [10] 袁蕊,李萍,胡晓雪,等.干旱胁迫对小麦生理特性及产量的影响[J].山西农业科学, 2016, 44(10): 1446-1449.
- [11] 袁蕊,杨宗鹏,聂磊云,等.速效氮对叶色突变体谷子苗期光合生理的影响[J].山西农业科学, 2017, 45(3): 346-349.
- [12] 袁蕊,聂磊云,郝兴宇,等.大气CO<sub>2</sub>浓度升高对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J].生态学杂志, 2017(12): 184-190.
- [13] 冯冬霞,施生锦.叶面积测定方法的研究效果初报[J].中国农学通报, 2005, 21(6): 150-152.
- [14] 张耀元,路阳,张彬,等.谷子类胡萝卜素生物合成途径SiLCYB基因与米色形成的关系[J].分子植物育种, 2016, 14(6): 1341-1351.
- [15] Chen R M, Xue G X, Chen P, et al. Transgenic maize plants expressing a fungal phytase gene[J]. Transgenic Research, 2008, 17: 633-643.
- [16] 张艳,徐跃进,万正杰.红菜薹矿物质元素测定与营养评价[J].食品科学, 2012, 33(10): 169-172. (下转第93页)