文章编号：1000-5773(2010)02-0143-11

# 高压处理种子对西瓜生长发育的影响*

李玉阁[1]，苏 磊[2,3]，李锁平[1]，洪时明[2]，
李海涛[1]，赵筱薇[1]，霍治邦[4]，李国申[1]

(1. 河南大学生命科学学院农业生物技术研究所，河南开封 475001；
2. 西南交通大学高压物理研究所，四川成都 610031；
3. 郑州轻工业学院物理系，河南郑州 450002；
4. 开封市农林科学研究院西瓜研究所，河南开封 475001)

**摘要**：以 8 个汴梁西瓜品种(京引 21、花皮 88、圳板、郭牟、金玫黑、金小兰、日本瓜和蜜玫绿)为实验材料，采用样本率的显著性检验、t 检验及单因素方差分析方法，研究了 26～28 MPa 的高氮气压及 50～150 MPa 的高静水压处理种子对西瓜出苗率、叶绿素含量、过氧化物酶活性、单瓜重、含糖量等生长特性的影响。结果表明：高压处理会显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)地降低西瓜的出苗率和幼苗期叶片的类胡萝卜素含量，提高幼苗期叶片的叶绿素 a 含量和过氧化物酶的活性。高压处理种子对于含糖量和单瓜重这两个农艺性状的影响，品种间存在较大差异。其中，在 50～150 MPa 高压下处理种子 20 min 主要影响日本瓜($P<0.001$)和金小兰($P<0.092$)的单瓜重以及郭牟的含糖量($P<0.064$)。

**关键词**：高压；西瓜；出苗率；叶绿素含量；过氧化物酶活性；单瓜重；含糖量
**中图分类号**：O521.9；Q689 **文献标识码**：A

## 1 引 言

自 19 世纪以来，高压技术在物理学、材料科学、化学等领域均有着广泛的研究和应用。随着高压理论和高压技术的发展，高压科学也逐步深入到生物学中的许多领域，如高压对核酸、蛋白质等生物大分子结构的影响，高压对微生物代谢、细胞凋亡的影响，深海生物对高压的适应等[1-3]。近年来，高压物理学与生物学结合，形成了新的边缘学科——高压生物学。高压技术也逐渐成为高压生物学、生物化学和微生物学等学科的重要研究工具[4]。目前，高压对生物分子、细胞的影响已被广泛研究，但是高压对高等植物的影响，却鲜有报道。1998 年，徐世平等人[5-10]以水稻为研究对象，探讨了高静水压处理种子对水稻生长发育的影响，并在田间种植后代中筛选到遗传上稳定的突变体，证明了高压处理是一种新型、简单而有效的植物诱变育种新途径。2003 年，申斯乐等人[11]研究了高静水压对小麦种子萌发和幼苗生长的影响。2007 年，龙国徽等人[12]研究了高静水压对大麦种子萌发和 DNA 分子指纹的影响，进一步证明了高压是诱导种子植物变异的一种行之有效的新方法。2003 年，西南交通大学高压物理研究所开始以氮气为传压介质，先后研究了高氮气压对长春花[13]、微型番茄[14]、大豆[15]生长发育的影响。有关高压处理种子对其它高等植物的影响，迄今为止还未见报道。高压处理种子对不同植物生长发育的影

* **收稿日期**：2009-04-16；**修回日期**：2009-10-20
**基金项目**：河南省教育厅自然科学基金(2008A180006)；河南大学自然科学基金(05YBZR011)；河南省郑州市金水区科技攻关项目(200818)
**作者简介**：李玉阁(1977－)，女，博士研究生，讲师，主要从事植物遗传育种研究. E-mail：lygzixiu@henu.edu.cn
**通讯作者**：李国申(1957－)，男，研究员，硕士生导师，主要从事西瓜育种研究. E-mail：lgs@henu.edu.cn

响是否有一定的规律性？高压诱变的机制是什么？目前尚不明确。

汴梁西瓜历史悠久，以个大、皮薄、味甜而闻名全国，素有“汴梁西瓜甜到皮”的美誉。本工作以 8 个汴梁西瓜品种（京引 21、花皮 88、圳板、郭牟、金玫黑、金小兰、日本瓜和蜜玫绿）为实验材料，利用西南交通大学高压物理研究所自行设计的高压装置，分别以水和氮气为传压介质，研究了高压处理种子对不同品种西瓜生长发育的影响，为揭示高压处理种子的生物学效应提供更多有参考价值的基础资料。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料、高压处理方法及研究方案

连续 3 年，分别以西瓜（*Citrullus vulgaris*）的不同品系为研究材料，从不同方面探讨高压处理种子对西瓜生长发育的影响。实验采用的品系名称、研究内容及高压处理方法见表 1。

**表 1 西瓜品种、处理方法及研究内容**

**Table 1 Watermelon cultivars, processing method and research contents**

| No. | Cultivars | Group | Research contents |
|---|---|---|---|
| 1 | Jingyin21, Huapi88 | CK, TN4 | Effects of high nitrogen gas pressure on the germination rate, morphology and structure of cotyledon, average weight per watermelon, sugar content. |
| 2 | Zhenban | CK, T4, T8 | Effects of high hydrostatic pressure on the germination rate, chlorophyll content, peroxidase activity. |
| 3 | Guomou, Jinmeihei, Jinxiaolan, Mimeilü, Ribengua | CK, T50, T100, T150, Tm50, Tm100, Tm150 | Effects of high hydrostatic pressure on the germination rate, average weight per watermelon, sugar content. |

Note: (1) In group CK, the seeds were untreated; in group TN4, the dry seeds were treated under high nitrogen gas pressure of 26～28 MPa for 4 h; in group T4 and T8, the dry seeds were treated under high hydrostatic pressure of 26～28 MPa for 4 h and 8 h, respectively; in group T50, T100 and T150, the dry seeds were treated under high hydrostatic pressure of 50, 100 and 150 MPa for 20 min, respectively; in group Tm50, Tm100 and Tm150, the germinated seeds were treated under high hydrostatic pressure of 50, 100 and 150 MPa for 20 min, respectively.

(2) Germinated seeds are those which were dipped into water for 6 h in room temperature and then put into the constant temperature chamber for 12 h to accelerate their germination.

### 2.2 材料的培育方法

将高压处理过的西瓜种子和未经处理的对照种子分别播种到营养钵内，每钵 3～4 粒，放到温度、湿度适宜的塑料大棚内使其萌发、出芽，待苗长出 1～2 片真叶后，移到大田栽培。对于圳板，在生长发育的早期对其出苗率、叶绿素含量和过氧化物酶活性进行调查和测定。其它品种移栽到河南省开封市农林科学院西瓜研究所的西瓜育种试验基地，进行整个生长期的观察、管理和监测。移栽前调查出苗率，成熟期调查影响西瓜品质和产量的主要农艺性状——单瓜重和含糖量。对于京引 21 和花皮 88 这两个品种，移栽前还进行了叶片形态与结构的观察和分析。

### 2.3 实验结果的测定及统计分析方法

#### 2.3.1 叶绿素含量的测定及分析

采用分光光度计法对叶绿素含量进行测定及分析[16]。以 95%的乙醇为空白对照，测量叶绿体色素提取液在 665、649 和 470 nm 波长下的吸光度，根据吸光值 $A_{665}$、$A_{649}$ 和 $A_{470}$ 计算叶绿体色素含量，各叶绿体色素含量的计算公式分别为

$$C_a = 13.9 \times A_{665} - 6.88 \times A_{649} \tag{1}$$

$$C_b = 24.96 \times A_{649} - 7.32 \times A_{665} \tag{2}$$

$$C_{x\cdot c} = 1\,000 \times A_{470} - 2.05 \times C_a - 114.8 \times C_b/245 \tag{3}$$

式中：$C_a$、$C_b$ 和 $C_{x\cdot c}$ 分别为叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量。

**2.3.2** 过氧化物酶活性的测定及分析

采用比色法[16]对过氧化物酶的活性进行测定。以每分钟每克材料 470 nm 吸光度变化的 0.01 作为一个酶活单位来计算酶活,计算公式为

$$A_{POX}=\frac{\Delta A_{470}\times V_t}{W\times V_s\times 0.01\times t} \tag{4}$$

式中:$A_{POX}$为过氧化物酶的活性,$\Delta A_{470}$为反应时间内吸光度的变化,$W$ 为材料的鲜重(g),$t$ 为反应时间(min),$V_t$ 为提取酶液的总体积(mL),$V_s$ 为测定取用酶液的体积(mL)。

**2.3.3** 出苗率的测定及统计分析

西瓜出苗率的统计以长出子叶为准,计算公式为

$$出苗率=\frac{出苗的种子数}{总播种种子数}\times 100\% \tag{5}$$

利用 Excel,采用样本率的显著性检验来分析对照组和处理组中高压对西瓜出苗率影响的差异。

**2.3.4** 单瓜重和含糖量的测定及统计分析

根据各组容量的相对大小,采用随机抽样法,从处理组和对照组中各抽取 2～5 个单瓜(多为 4 个,个别组为 2 个),进行单瓜重和含糖量的测定。含糖量用糖氏分析仪测定,单瓜重用电子秤称量。

利用 SPSS11.5 软件,对京引 21 和花皮 88 采用独立样本的 t 检验,对日本瓜、郭牟和金小兰采用单因素方差分析法进行统计学分析,以检验高压处理对西瓜单瓜重和含糖量的影响是否达到统计学的显著水平。

**2.3.5** 西瓜叶片内部结构的比较分析

采用常规的石蜡切片技术制备永久封片[17],挑选出较好的装片在 OLYMPUS 85X 型光学显微镜下进行观察,选取清晰的图片进行拍照。

**2.3.6** 表面结构的比较分析

分别取京引 21 和花皮 88 两个品种的对照组和处理组中的幼苗叶片,采用 JSM-5600LV 型扫描电子显微镜来分析叶片的表面结构。

## 3 结果与分析

### 3.1 高压处理对西瓜出苗率的影响

**3.1.1** 相同压力、不同时间的处理对西瓜出苗率的影响

相同压力、不同处理时间的高压处理对不同品种西瓜的出苗率的影响见图 1 和表 2。从中可以看出,高压处理西瓜种子对其出苗率的影响主要表现为抑制作用,传压介质类型不影响处理效果,但抑制作用的大小存在品种差异。其中:26～28 MPa 的高氮气压处理 4 h,对花皮 88 的出苗率有极显著的抑制作用,对于京引 21,处理组的出苗率虽低于对照组,但差异未达到统计学的显著水平;而 26～28 MPa 的高静水压处理4 h和8 h,对圳板的出苗率均有极显著的抑制作用,且处理8 h对圳板出芽率的抑制作用大于处理 4 h。

**3.1.2** 相同时间、不同压力的处理对西瓜出苗率的影响

不同压力下处理 20 min 对西瓜出苗率的影响见表 3。由表 3 可以看出,50～150 MPa 的高静水压处理 20 min 对 5 个西瓜品种的出苗率影响主要表现为抑制作用。无论是萌动种子还是干种子,100 MPa和 150 MPa 的高静水压处理 20 min,对 5 个西瓜品种的出苗率均表现出显著甚至极显著的抑制作用,并且抑制作用的大小存在品种差异。其中,金玫黑和日本瓜的出苗率受静水压的抑制最为显著,郭牟受静水压的影响最小。而 50 MPa 的高静水压处理 20 min,对郭牟、金小兰和日本瓜的干种子出苗率无显著影响。

另外,对萌动的西瓜种子而言:50～150 MPa 的高静水压处理 20 min,对西瓜出苗率的抑制作用随压力增大而增强;在 150 MPa 高静水压处理西瓜种子 20 min 条件下,除蜜玫绿有 1 粒萌发外,其它 4 个

品种均表现为完全致死作用,没有 1 粒种子萌发。这说明 150 MPa 的高静水压处理西瓜种子 20 min,已接近了西瓜种子的耐受极限。而对干种子而言:当压力由 50 MPa 增加到 100 MPa 时,高压处理未萌动种子对西瓜出苗率的抑制作用随压力的增大而增强;当压力由 100 MPa 增加到 150 MPa 时,压力对出苗率的抑制作用减弱。这说明 100 MPa 的高静水压处理干种子 20 min,已接近西瓜的耐压极限。




(a) Zhenban (b) Jingyin21 (c) Huapi88

图 1 西瓜的出芽情况

Fig. 1 The germination of watermelon

**表 2 相同压力下不同处理时间对西瓜出苗率的影响**

**Table 2 Effects of high pressure with different treatment time on the germination rate of watermelon**

| Cultivars | Group | Sample size | Germination rate in different days/(%) | | | Significance (treated group vs control group) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10 d | 13 d | 23 d | 10 d | 13 d | 23 d |
| Jingyin21 | CK | 56 | 48.21 | 55.36 | 69.64 | | | |
| | TN4 | 104 | 40.38 | 46.15 | 58.65 | 0.79 | 0.95 | 1.20 |
| Huapi88 | CK | 78 | 29.49 | 41.03 | 52.56 | | | |
| | TN4 | 130 | 9.23 | 12.31 | 24.62 | $3.59^{b}$ | $4.59^{b}$ | $6.49^{b}$ |
| Zhenban | CK | 65 | 72.30 | 72.30 | 72.30 | | | |
| | T4 | 143 | 13.09 | 45.50 | 45.50 | $8.35^{b}$ | $3.44^{b}$ | $3.44^{b}$ |
| | T8 | 108 | 1.90 | 11.10 | 11.10 | $9.78^{b}$ | $8.06^{b}$ | $8.06^{b}$ |

Note: Superscript lowercase letter b represents extremely significant difference ($P<0.01$).

## 3.2 高压处理对西瓜子叶形态及结构的影响

对京引 21 和花皮 88 这两个品种的西瓜子叶形态进行比较观察,发现对照组的子叶表面均非常光滑,而处理组的子叶表面却以较高比例出现明显的突起,如图 2 所示。其中,京引 21 有 81.97% 的子叶上出现了不同程度的突起,一片子叶上有多处明显突起的占 47.54%;花皮 88 中有 81.25%的子叶上有突起,极为明显的占 50%。为了研究突起是否为结构变化引起,采用扫描电镜和石蜡切片技术,对两个西瓜品种的子叶表面和解剖结构进行了比较观察,结果如图 3、图 4 所示。由图中可以看出,西瓜的表皮毛(见图 3)极为特殊,除处理组突起部位的表皮毛密度略少于对照组外,处理组与对照组子叶的表面结构和解剖结构并无明显差异。

## 3.3 高压处理对西瓜叶片叶绿素含量的影响

高压处理对圳板叶片叶绿素含量的影响实验,分别在播种后的第 13 天和第 23 天进行了测定,结果列于表 4。从表 4 可以看出,随着生长发育的进行,高压处理对西瓜叶绿素含量的影响表现出多样性。主要体现在以下两个方面。

(1) 显著提高幼苗叶片叶绿素 a 的含量。测定初期,处理组的叶绿素 a 含量均显著高于对照组,影响大小与处理时间不成正比,表现为相对较低的处理时间(4 h)对叶绿素 a 含量的影响较大,叶绿素含量由高到低的顺序依次为:$C_{T4}>C_{T8}>C_{CK}$。

(2) 显著降低类胡萝卜素含量。随着发育的推进,后期处理组与对照组的叶绿素含量的差异主要

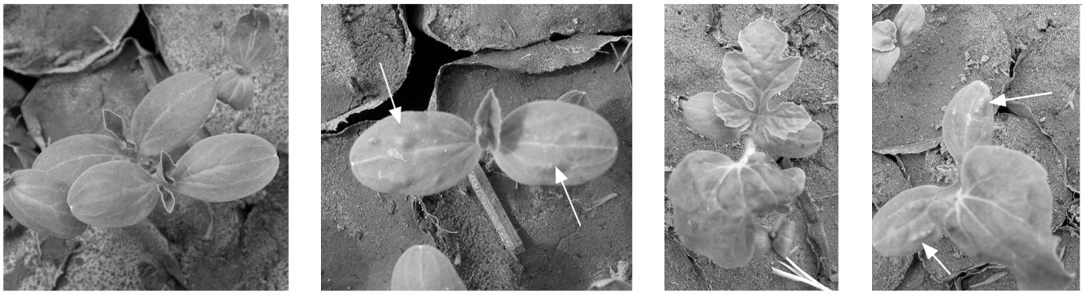
表现在类胡萝卜素含量的差别上,类胡萝卜素含量由高到低的顺序依次为:$C_{CK}>C_{T8}>C_{T4}$。

**表 3　相同时间、不同高静水压处理对不同品种西瓜出苗率的影响**

**Table 3　Effects of different high hydrostatic pressures on the emergence rate of various watermelon cultivars**

| Cultivars | Group | Sample size | Emergence rate in different days/(%) | | | Significance (treated group vs control group) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 10 d | 14 d | 20 d | 10 d | 14 d | 20 d |
| Guomou | CK | 72 | 51.39 | 59.72 | 59.72 | | | |
| | Tm50 | 85 | 20.00 | 52.94 | 63.53 | 4.85$^{b}$ | 1.18 | 0.57 |
| | Tm100 | 85 | 1.18 | 5.88 | 10.59 | 8.61$^{b}$ | 10.13$^{b}$ | 7.67$^{b}$ |
| | Tm150 | 85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.89$^{b}$ | 11.61$^{b}$ | 9.83$^{b}$ |
| | T50 | 87 | 28.74 | 29.89 | 33.33 | 3.35$^{b}$ | 5.24$^{b}$ | 3.82$^{b}$ |
| | T100 | 85 | 3.53 | 8.24 | 14.12 | 8.07$^{b}$ | 9.58$^{b}$ | 7.02$^{b}$ |
| | T150 | 85 | 4.71 | 9.41 | 12.94 | 7.80$^{b}$ | 9.31$^{b}$ | 7.23$^{b}$ |
| Jinmeihei | CK | 72 | 73.61 | 73.61 | 76.39 | | | |
| | Tm50 | 85 | 35.29 | 48.24 | 51.76 | 5.64$^{b}$ | 4.49$^{b}$ | 4.22$^{b}$ |
| | Tm100 | 78 | 17.95 | 26.92 | 28.21 | 8.78$^{b}$ | 7.93$^{b}$ | 7.67$^{b}$ |
| | Tm150 | 87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.26$^{b}$ | 13.61$^{b}$ | 11.58$^{b}$ |
| | T50 | 86 | 2.33 | 4.65 | 4.65 | 10.89$^{b}$ | 12.48$^{b}$ | 11.29$^{b}$ |
| | T100 | 82 | 2.44 | 4.88 | 9.76 | 11.21$^{b}$ | 12.24$^{b}$ | 10.38$^{b}$ |
| | T150 | 85 | 0.00 | 1.18 | 1.18 | 11.43$^{b}$ | 13.22$^{b}$ | 11.11$^{b}$ |
| Jinxiaolan | CK | 72 | 70.83 | 72.22 | 72.22 | | | |
| | Tm50 | 84 | 61.90 | 75.00 | 76.19 | 1.40 | 0.54 | 0.67 |
| | Tm100 | 88 | 18.18 | 37.50 | 37.50 | 7.63$^{b}$ | 6.08$^{b}$ | 4.97$^{b}$ |
| | Tm150 | 86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.03$^{b}$ | 13.36$^{b}$ | 11.19$^{b}$ |
| | T50 | 85 | 61.18 | 62.35 | 63.53 | 1.49 | 1.82$^{a}$ | 1.36 |
| | T100 | 84 | 0.00 | 0.00 | 3.57 | 11.19$^{b}$ | 13.25$^{b}$ | 10.65$^{b}$ |
| | T150 | 86 | 3.49 | 11.63 | 17.44 | 10.33$^{b}$ | 10.79$^{b}$ | 8.07$^{b}$ |
| Mimeilü | CK | 72 | 47.22 | 56.94 | 56.94 | | | |
| | Tm50 | 85 | 21.18 | 31.76 | 38.82 | 4.06$^{b}$ | 4.40$^{b}$ | 2.66$^{b}$ |
| | Tm100 | 84 | 0.00 | 2.38 | 5.95 | 8.48$^{b}$ | 10.56$^{b}$ | 8.29$^{b}$ |
| | Tm150 | 85 | 0.00 | 0.00 | 1.18 | 8.42$^{b}$ | 11.24$^{b}$ | 9.25$^{b}$ |
| | T50 | 87 | 6.90 | 6.90 | 9.20 | 6.70$^{b}$ | 9.56$^{b}$ | 7.46$^{b}$ |
| | T100 | 83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.53$^{b}$ | 11.13$^{b}$ | 9.66$^{b}$ |
| | T150 | 83 | 0.00 | 6.02 | 12.05 | 8.53$^{b}$ | 9.61$^{b}$ | 7.15$^{b}$ |
| Ribengua | CK | 72 | 58.33 | 69.44 | 69.44 | | | |
| | Tm50 | 72 | 44.44 | 59.72 | 63.89 | 2.31$^{a}$ | 1.69 | 0.98 |
| | Tm100 | 80 | 23.75 | 36.25 | 38.75 | 5.43$^{b}$ | 5.68$^{b}$ | 4.73$^{b}$ |
| | Tm150 | 83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.82$^{b}$ | 12.81$^{b}$ | 11.11$^{b}$ |
| | T50 | 60 | 0.00 | 1.67 | 3.33 | 11.94$^{b}$ | 11.06$^{b}$ | 12.90$^{b}$ |
| | T100 | 61 | 0.00 | 0.00 | 1.64 | 11.82$^{b}$ | 11.44$^{b}$ | 13.13$^{b}$ |
| | T150 | 76 | 0.00 | 1.32 | 1.32 | 10.35$^{b}$ | 12.10$^{b}$ | 11.47$^{b}$ |

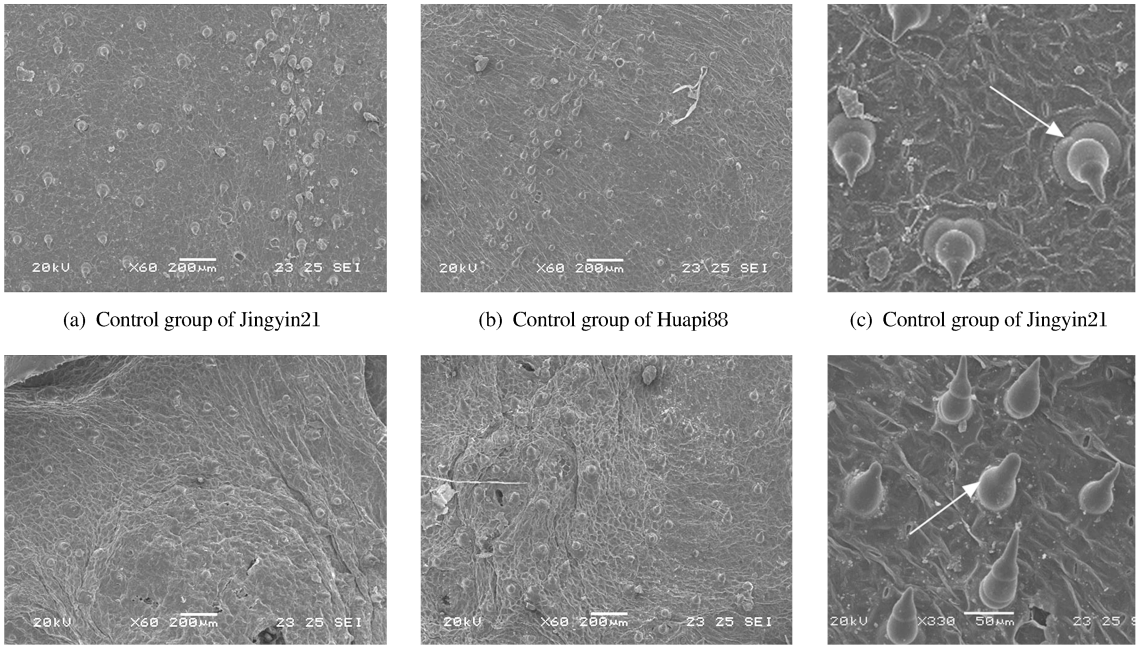
Note: Superscript lowercase letters a and b represent significant difference ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.



(a) Control group of Jingyin21 (b) Treated group of Jingyin21 (c) Control group of Huapi88 (d) Treated group of Huapi88

图 2 西瓜子叶形态

Fig. 2 Morphology of cotyledon

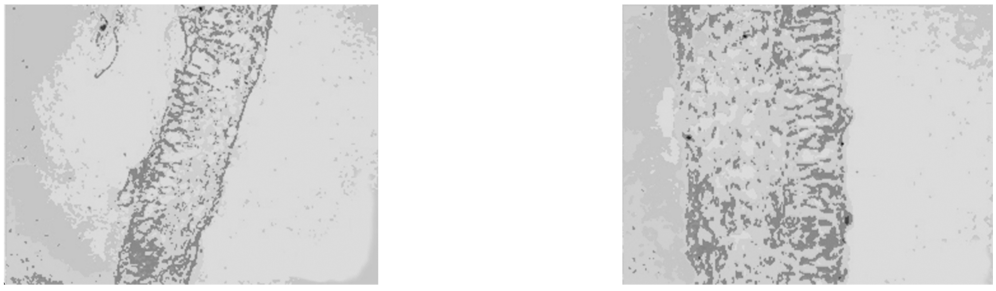



(a) Control group of Jingyin21 (b) Control group of Huapi88 (c) Control group of Jingyin21

(d) Treated group of Jingyin21 (e) Treated group of Huapi88 (f) Control group of Huapi88

图 3 西瓜叶片的表面结构

Fig. 3 Surface structure of watermelon



(a) Control group (b) Treatment group

图 4 西瓜(京引 21)叶片的解剖结构

Fig. 4 Internal structure of watermelon (Jingyin21)

**表 4　高静水压处理对圳板叶绿素含量影响的 t 检验**

**Table 4　The t-test of the effects of high hydrostatic pressure on the chlorophyll content of Zhenban**

| Days after germination/(d) | Group | Chlorophyll content/(mg/L) | | | Significance (treated group vs control group) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Chlorophyll a | Chlorophyll b | Chlorophyll c | Chlorophyll a | Chlorophyll b | Chlorophyll c |
| 13 | CK | 3.96±0.14 | 2.03±0.03 | 0.96±0.04 | | | |
| | T4 | 7.91±0.03 | 2.37±0.08 | 2.00±0.25 | 47.72[a] | 6.86 | 7.03[a] |
| | T8 | 5.18±0.32 | 1.97±0.04 | 1.21±0.07 | 6.01[a] | 2.18 | 5.87[a] |
| 23 | CK | 8.49±1.21 | 4.18±0.32 | 3.31±0.08 | | | |
| | T4 | 8.01±1.03 | 2.80±0.15 | 2.36±0.11 | 0.52 | 6.83[a] | 12.69[a] |
| | T8 | 10.07±0.52 | 3.92±0.28 | 2.66±0.07 | 2.08 | 1.06 | 10.61[a] |

Note: Superscript lowercase letter a represents significant difference ($P<0.05$).

## 3.4　高压处理对西瓜过氧化物酶活性的影响

高压处理对圳板过氧化物酶活性的影响见表 5。从表中可以看出,高静水压处理种子可显著提高西瓜叶片的过氧化物酶活性,且在相同的压力条件下对幼苗过氧化物酶活性的影响大小与处理时间有关。处理 4 h(T4)的过氧化物酶活性仅在反应 1 min 时显著高于对照组,大约相当于对照组的 1.5 倍,而后则低于对照组。处理 8 h(T8)的过氧化物酶活性则始终极显著地高于对照组,最高时可达到对照组的 150 倍左右。

**表 5　高静水压处理对圳板过氧化物酶活性的影响**

**Table 5　Effects of high hydrostatic pressure on the peroxidase activity of Zhenban**

| Group | Peroxidase activity in different minutes | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 min | 2 min | 3 min | 4 min |
| CK | 87.5 | 75.0 | 113.5 | 87.5 |
| T4 | 112.5 | 62.5 | 25.0 | 50.0 |
| T8 | 1 318.2 | 795.5 | 590.9 | 522.7 |

## 3.5　高压处理对西瓜单瓜重和含糖量的影响

连续两年,对高压处理的 5 个西瓜品系的单瓜重和含糖量这两个主要农艺性状进行了测定和统计分析,具体结果列于表 6、表 7 和表 8。从中可以看出:26～28 MPa 的高氮气压处理 4 h 对京引 21 和花皮 88 的单瓜重和含糖量无显著影响,而 50～150 MPa 的高静水压处理 20 min 对这两个主要农艺性状的影响较为显著,并且存在品种差异。进一步分析发现:高压处理主要对郭牟的含糖量有较显著的影响($P<0.063$);而对于日本瓜($P<0.001$)和金小兰($P<0.092$),则主要影响其单瓜重;无论是单瓜重还是含糖量,部分品种的处理组中均有单瓜重或含糖量相对较高的个体出现,如郭牟 150 MPa 处理组中有一单瓜重达5.90 kg的个体出现,如图 5 所示。

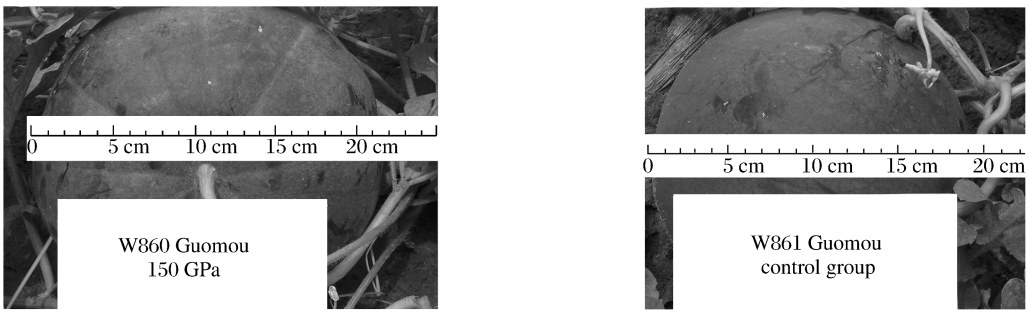



图 5　高压处理对西瓜(郭牟)单瓜重的影响

Fig. 5　Effects of high pressure on the average weight per watermelon (guomou)

表 6 高压处理对 5 个西瓜品种的单瓜重和含糖量的影响

Table 6 Effects of high pressure on average weight per watermelon and sugar content of five cultivars

| Cultivars | Group | Average weight per watermelon/(kg) | Sugar content/(%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Border | Center |
| Jingyin21 | CK | 3.24±0.59 | 7.92±0.29 | 10.16±0.50 |
| | TN4 | 3.58±0.82 | 8.10±0.34 | 10.30±0.60 |
| Huapi88 | CK | 2.90±0.47 | 7.62±0.49 | 10.30±0.41 |
| | TN4 | 3.12±0.47 | 7.90±0.48 | 10.50±0.73 |
| Guomou | CK | 4.05±0.64 | 7.80±0.28 | 12.40±0.57 |
| | Tm50 | 3.67±0.93 | 9.33±1.14 | 11.80±0.53 |
| | Tm100 | 3.60±0.14 | 8.45±0.64 | 11.30±0.14 |
| | T50 | 3.67±0.75 | 8.67±0.61 | 12.60±0.53 |
| | T150 | 5.33±0.98 | 6.93±0.83 | 11.47±0.46 |
| Jinxiaolan | CK | 3.17±1.17 | 8.30±0.42 | 12.73±0.64 |
| | Tm50 | 2.62±0.13 | 9.00±0.65 | 11.95±0.96 |
| | Tm100 | 3.33±1.15 | 10.00±1.06 | 12.73±0.64 |
| | T50 | 3.10±0.14 | 9.85±1.14 | 12.55±0.66 |
| | T150 | 4.60±0.28 | 8.00±1.41 | 13.40±0.57 |
| Ribengua | CK | 1.60±0.17 | 7.50±0.71 | 10.50±0.80 |
| | Tm50 | 3.42±0.41 | 7.40±1.14 | 11.35±0.79 |
| | Tm100 | 3.10±0.14 | 8.30±0.28 | 10.90±0.14 |

表 7 高氮气压处理对两个西瓜品种的单瓜重和含糖量影响的 t 检验

Table 7 Independent sample t-test of the effects of high nitrogen gas pressure treatment on the average weight per watermelon and sugar content for two cultivars

| Cultivars | Characters | Levene's test for equality of variances | | t-test for equality of means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $F$ | $P$ | $t$ | d$f$ | $P$ |
| Jingyin21 | Average weight per watermelon | 0.978 | 0.352 | −0.756 | 8 | 0.471 |
| | Sugar content (center) | 0.232 | 0.643 | −0.401 | 8 | 0.699 |
| | Sugar content (border) | 0.448 | 0.522 | −0.896 | 8 | 0.397 |
| Huapi88 | Average weight per watermelon | 0.114 | 0.744 | −0.740 | 8 | 0.480 |
| | Sugar content (center) | 1.091 | 0.327 | −0.535 | 8 | 0.608 |
| | Sugar content (border) | 0.021 | 0.888 | −0.907 | 8 | 0.391 |

表 8 高静水压处理对 3 个西瓜品种的单瓜重和含糖量影响的方差分析

Table 8 ANOVA of the effects of high hydrogen pressure treatment on the average weight per watermelon and sugar content for three cultivars

| Cultivars | Characters | Between Groups | | | Within Groups | | | $F$ | $P$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sum of squares | d$f$ | Mean square | Sum of squares | d$f$ | Mean square | | |
| Guomou | Average weight per watermelon | 6.195 | 4 | 1.549 | 5.205 | 8 | 0.651 | 2.380 | 0.138 |
| | Sugar content (center) | 9.727 | 4 | 2.432 | 5.205 | 8 | 0.651 | 3.738 | 0.053 |
| | Sugar content (border) | 3.276 | 4 | 0.819 | 1.887 | 8 | 0.236 | 3.473 | 0.063 |
| Jinxiaolan | Average weight per watermelon | 5.329 | 4 | 1.322 | 5.561 | 11 | 0.506 | 2.635 | 0.092 |
| | Sugar content (center) | 8.270 | 4 | 2.067 | 9.570 | 10 | 0.957 | 2.160 | 0.147 |
| | Sugar content (border) | 3.077 | 4 | 0.769 | 6.033 | 11 | 0.548 | 1.402 | 0.296 |
| Ribengua | Average weight per watermelon | 6.035 | 2 | 3.017 | 0.588 | 6 | 0.098 | 30.816 | 0.001 |
| | Sugar content (center) | 1.140 | 2 | 0.570 | 4.500 | 5 | 0.900 | 0.633 | 0.569 |
| | Sugar content (border) | 1.250 | 2 | 0.625 | 5.750 | 6 | 0.958 | 0.652 | 0.554 |

## 4 讨　论

通过对 2 个西瓜品种(京引 21、花皮 88)的种子进行 4 h 的 26～28 MPa 高氮气压处理、对 1 个西瓜品种(圳板)的种子进行 4 h 和 8 h 的 26～28 MPa 高静水压处理、以及对 5 个西瓜品种(郭牟、金玫黑、金小兰、日本瓜和蜜玫绿)的种子进行20 min的 50～150 MPa 高静水压处理,研究了高氮气压和高静水压对西瓜种子生长发育的影响。结果表明,高压处理西瓜种子有较显著的生物学效应,主要体现在以下几个方面。

(1) 高压处理种子对西瓜出苗率起抑制作用

种子从萌发到成苗是生命起始的一个重要而关键的阶段。实验结果表明:无论是高氮气压还是高静水压处理种子,8 个西瓜品种的出苗率均主要表现为显著或极显著的抑制作用,并且相同条件下高压处理种子对西瓜出苗率的抑制作用存在品种差异。但是,对于同一品种,高压处理对出苗率的抑制作用存在最大的压力极限,在压力极限内,压力大小与抑制作用成正比,即压力越大,抑制作用越强。这与此前人们对水稻[6]、大麦[12]和小麦[11]的研究结果基本一致。

植物种子萌发到幼苗生长是一个极其复杂的生命过程,有多种酶,如淀粉酶、酯酶、过氧化物酶,参与了这一过程。酶作为蛋白质的一种,是基因表达的产物,也是生物体内各种生化反应的催化剂,在生物新陈代谢过程中起着至关重要的作用。高压处理究竟是通过改变萌发过程中哪些酶的活性来影响种子萌发,通过何种途径和分子机理来影响,还有待进一步的深入研究和探讨。

(2) 高压处理种子可提高西瓜叶片的叶绿素含量和过氧化物酶活性

在植物光合作用中叶绿素担负着收集、传递和转换光能的重要任务,在植物的光合作用中占据着重要的地位,尤其是叶绿素 a。作为叶绿体中专一的抗坏血酸过氧化物酶,可将叶绿体中的过氧化氢分解成水,从而降低或消除活性氧对膜脂的过氧化作用,对细胞内许多有生物功能的分子起保护作用,提高植物的抗逆性[18]。本实验结果表明,高压处理种子对圳板叶绿素 a 含量和过氧化物酶活性的影响主要表现为促进作用,说明高压处理种子可改良植物的某些生理特性,这与人们对水稻[6-7]的研究结果基本一致。

(3) 高压处理对西瓜单瓜重和含糖量这两个农艺性状的影响

在西瓜的新品种培育中,提高产量(单瓜重)和改进品质(含糖量)是至关重要的。本研究结果表明:50～150 MPa 的高压下,处理种子 20 min 对西瓜的单瓜重和含糖量这两项主要的农艺性状有着较为显著的影响;但不同高压处理的作用无一定的倾向性,各处理组的单瓜重和含糖量与对照组相比有高有低,并非均朝着有利于提高产量或品质的方向变化,这与高压对大豆品质影响的研究结果[13]不尽相同。不过,在本实验条件下,无论是单瓜重还是含糖量,部分品种的处理组中均有单瓜重或含糖量相对较高的个体出现,如郭牟 150 MPa 处理组中有一单瓜重达5.90 kg的个体出现。这说明适宜的高压处理条件能提高西瓜的产量和品质。至于这种提高是否为稳定的遗传改变,还有待进一步的研究和探讨。

综上所述,高压处理的生物学效应对不同植物而言既有一定的共性,也存在着一定的物种和品种差异。并且,相同处理时间、不同压力条件下以及相同压力、不同处理时间条件下,不同种子类型(萌动和未萌动种子)、不同品种种子的处理结果均不尽相同。尽管在大麦和水稻的研究中已证明高压可引起 DNA 结构和 DNA 甲基化模式的改变,但高压对西瓜农艺性状的影响是否为稳定的遗传改变,以及如果是稳定的遗传改变,究竟是遗传物质的改变,还是基因的表观修饰,抑或是二者兼而有之,这些问题均有待进一步的深入研究和探讨。就目前而言,要想利用高压处理种子来选育产量高、品质好的西瓜新品种,还需要更多、更深入的研究和探讨。如合适的压力大小、处理时间、种子类型、品种类型等问题都是非常关键而又必须解决的首要问题。要想使高压处理种子成为一种简单有效的育种新途径,并使其在其它农作物和经济作物的实际育种中得到广泛应用,还必须全面揭示高压处理种子的生物学效应,总结高压处理种子对不同种子植物作用的规律性,揭示高压诱变的分子机理和作用机制,这样才可能更有效地利用高压技术来为人类的生产和生活服务。

## References:


[1] Johnson F H, Flagler E A. Hydrostatic Pressure Reversal of Narcosis in Tadpoles [J]. Science, 1950, 112(2899): 91-92.

[2] Jannasch H W, Marquis R E, Zimmerman A M. Current Perspectives in High Pressure Biology [M]. London: Academic Press, 1987: 17-272.

[3] Mozhaev V V, Heremans K, Frank J, et al. High Pressure Effects on Protein Structure and Function [J]. Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics, 1998, 24(1): 81-91.

[4] Xu S P, Liao Y P, Weng K N, et al. Pressure Induced Rice Mutation and Effects of High Hydrostatic Pressure on the Growth and Development of Rice [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2001, 15(4): 241-248. (in Chinese)
徐世平, 廖耀平, 翁克难, 等. 水稻压致变异和高压对水稻生长发育的影响 [J]. 高压物理学报, 2001, 15(4): 241-248.

[5] Li G S, Bai C K, Duan J, et al. Research on Mutation in Rice (Oryza Sativa L.) Induced by High Hydrostatic Pressure [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2006, 20(4): 421-428. (in Chinese)
李桂双, 白成科, 段 俊, 等. 高静水压诱导水稻产生突变的研究 [J]. 高压物理学报, 2006, 20(4): 421-428.

[6] Li G S, Bai C K, Duan J, et al. Effect of High Hydrostatic Pressure Treatment on Physiological Characteristics of Rice Plants (Oryza Sativa L.) [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2003, 17(2): 122-128. (in Chinese)
李桂双, 白成科, 段 俊, 等. 静水高压处理对水稻植株生理特性的影响 [J]. 高压物理学报, 2003, 17(2): 122-128.

[7] Xu S P, Liao Y P, Xiao W S, et al. Effects of High Pressure on the Growth and Development of Rice [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1999, 13(Supplement): 58-63. (in Chinese)
徐世平, 廖耀平, 肖万生, 等. 高压对水稻生长发育的影响 [J]. 高压物理学报, 1999, 13(增): 58-63.

[8] Li G S, Bai C K, Duan J, et al. Changes in Agronomic Traits and Photosynthetic Characteristics in Rice Mutated Strains Induced by High Hydrostatic Pressure Treatment [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5): 765-769. (in Chinese)
李桂双, 白成科, 段 俊, 等. 高静水压诱变水稻突变体的农艺性状及光合特性 [J]. 作物学报, 2003, 29(5): 765-769.

[9] Shen S L, Xu S P, Weng K N, et al. Molecular Analysis of Stable Mutagenesis Rice Cultivar Induced by High Hydrostatic Pressure [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2004, 18(4): 289-294. (in Chinese)
申斯乐, 徐世平, 翁克难, 等. 高静水压处理水稻诱导稳定遗传变异系的 DNA 分析 [J]. 高压物理学报, 2004, 18(4): 289-294.

[10] Shen S L, Wang Z W, Shan X H, et al. High Pressure Induced Change of the Stably Mutagenized Rice DNA Methylation Mode and DNA Structure [J]. Science in China Series C: Life Sciences, 2005, 35(6): 490-496. (in Chinese)
申斯乐, 王振伟, 单晓辉, 等. 高压导致水稻变异品系发生 DNA 甲基化模式及基因组结构的改变 [J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2005, 35(6): 490-496.

[11] Shen S L, Xu C E, Long G H, et al. Effects of High Pressure on Germination of Wheat Seed and Growth of Wheat Seedling [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2003, 28(6): 8-10. (in Chinese)
申斯乐, 徐春娥, 龙国徽, 等. 高压对小麦种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 吉林农业科学, 2003, 28(6): 8-10.

[12] Long G H, Ji Y, Yu T, et al. Molecular Analysis of High Pressure Induced Barley DNA Structure and Effect of High Pressure on Germination of Barley Seed [J]. Journal of Jilin University (Science Edition), 2007, 45(2): 305-310. (in Chinese)
龙国徽, 纪 媛, 余 涛, 等. 高压对大麦种子萌发的影响及诱变的 DNA 分子指纹分析 [J]. 吉林大学学报(理学版), 2007, 45(2): 305-310.

[13] Wu X H, Chen L Y, Su L, et al. Effect of High Pressure Nitrogen Gas Treatments of Mini-Tomato Seeds on Its Growth Characteristics [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2004, 18(4): 379-384. (in Chinese)
吴学华, 陈丽英, 苏 磊, 等. 高压氮气处理微型番茄种子对其生长特性的影响 [J]. 高压物理学报, 2004, 18(4): 379-384.

[14] Chen L Y, Wu X H, Liu X R, et al. Effect of High Pressure Treating Catharanthus Roseus Seeds on Enhancing Content of Vinblastine in the Plant [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2006, 20(2): 183-188. (in Chinese)
陈丽英, 吴学华, 刘秀茹, 等. 高压处理种子对提高长春花中长春碱含量的作用 [J]. 高压物理学报, 2006, 20(2): 183-188.

[15] Su L, Shao C G, Jia R, et al. Effects of High Pressure Treatment on the Agronomic Characters, Yield and Quality of

Soybean [J]. Soybean Science,2008,27(1):101-105. (in Chinese)
苏　磊,邵春光,贾　茹,等. 高压处理对大豆农艺性状、产量和品质的影响 [J]. 大豆科学,2008,27(1):101-105.
[16] Li H S. Experimental Principle and Technology for Plant Physiology and Biochemistry [M]. 2nd ed. Beijing: High Education Press,2005:134-137. (in Chinese)
李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 第二版. 北京:高等教育出版社,2005:134-137.
[17] Li Z L. Aratomy of Plant Tissue [M]. Beijing: Beijing University Press,1996:130-139. (in Chinese)
李正理. 植物组织制片学 [M]. 北京:北京大学出版社,1996:130-139.
[18] Pan R Z, Wang X J, Li N H. Plant Physiology [M]. 5th ed. Beijing: High Education Press,2004:283-285. (in Chinese)
潘瑞炽,王小菁,李娘辉. 植物生理学 [M]. 第五版. 北京:高等教育出版社,2004:283-285.

# Effects of High Pressure Treated Seeds on the Growth and Development of Watermelon

LI Yu-Ge[1], SU Lei[2,3], LI Suo-Ping[1], HONG Shi-Ming[2], LI Hai-Tao[1], ZHAO Xiao-Wei[1], HUO Zhi-Bang[4], LI Guo-Shen[1]

(1. *Institute of Agricultural Biotechnology, College of Life Science, Henan University, Kaifeng* 475001, *China*;
2. *Laboratory of High Pressure Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu* 610031, *China*;
3. *Department of Physics, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou* 450002, *China*;
4. *Institute of Watermelon, Kaifeng Research Academy of Agriculture and forestry, Kaifeng* 475001, *China*)

**Abstract**: By using the statistical significance test of sample rate, t-test and one-way analysis of variance (ANOVA), the effects of high pressure treated seeds on the emergence rate, chlorophyll content, peroxide enzyme activity, morphology and structure of cotyledon, average weight per watermelon and sugar content were studied in detail. In experiments, different varieties of seeds, such as Jingyin21, Huapi88, Zhenban, Guomou, Jinmeihei, Jinxiaolan, Mimeilv and Ribengua, were pretreated with high nitrogen gas pressure of 26～28 MPa or high hydrostatic pressure of 50～150 MPa at room temperature. Then the growth characteristics and main nutrition components were observed, measured and recorded. Compared with untreated controls, the experimental results showed that the germination rate and the content of chlorophyll c were significantly ($P<0.05$) or extremely significantly ($P<0.01$) reduced, and the chlorophyll a content and the peroxidase activity were significantly ($P<0.05$) augmented. Additionally, the effects of the high pressure on average weight per watermelon and sugar content were obviously different in different cultivars. For Ribengua ($P<0.001$) and Jinxiaolan ($P<0.092$), the average weight per watermelon were strongly influenced when the seeds were treated under high hydrastatic pressure; for Guomou ($P<0.064$), the influence noted on the sugar content was obvious.

**Key words**: high pressure; watermelon; emergence rate; chlorophyll content; peroxidase activity; average weight per watermelon; sugar content