

## 超重力处理对胡萝卜生理生化活性的影响

张晓萍<sup>1</sup>, 郑少文<sup>2</sup>, 段国锋<sup>2\*</sup> (1.山西省农业科学院果树研究所, 山西太谷 030815; 2.山西农业大学园艺学院, 山西太谷 030800)

**摘要** 以红黄2种颜色的胡萝卜为试验材料, 采用二因素完全随机设计为试验方法, 3 000、6 000、12 000 r/min 超重力分别对2种胡萝卜种子分别处理20、40、60 min, 将处理后的种子直播于大田中, 进行正常管理。在幼苗期测定其丙二醛和游离脯氨酸的含量以及超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的活性。结果显示, 超重力处理对红萝卜品种“三红八寸参”与黄萝卜品种“齐头黄萝卜”均有影响。3 000 r/min+20 min 处理的丙二醛和游离脯氨酸含量高于对照, 且处理间差异显著; 红萝卜品种3 000 r/min+20 min 与12 000 r/min+20 min 处理间游离脯氨酸含量差异不显著; 各处理的超氧化物歧化酶活性和过氧化氢酶活性均低于对照, 差异达显著水平。因此, 超重力处理可以增强植株的抗逆性, 胡萝卜的超重力技术是抗逆育种的有效方法之一。

**关键词** 超重力; 胡萝卜; 生理生化活性

**中图分类号** S631.2 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2020)22-0058-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.22.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Hypergravity Treatments on the Physiological Activity of Carrots

ZHANG Xiao-ping<sup>1</sup>, ZHENG Shao-wen<sup>2</sup>, DUAN Guo-feng<sup>2\*</sup> (1. Pomology Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taigu, Shanxi 030815; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030800)

**Abstract** With two kinds of red and yellow carrots as test materials, two factor completely randomized designed was adopted, 3 000, 6 000, 12 000 r/min hypergravity of two carrot seeds were treated for 20 min, 40 min, 60 min. Then, the processed seeds were sown in the field with normal management. The contents of MDA and proline in seedling stage and the activity of SOD and CTA were determined. Results showed that carrot varieties 'three red eight inch ginseng' and yellow radish variety 'abreast carrots' showed certain impact by hypergravity treatment. Contents of MDA and proline in 3 000 r/min+20 min treatment were significantly higher than those of the control. Treatments of 3 000 r/min+20 min and 12 000 r/min+20 min showed no significant difference in free proline contents of red carrot. The activity of SOD in the treatment group was significantly lower than that of the control, showing significant differences. Therefore, the hypergravity treatment could enhance the resistance of plant, and the hypergravity technology in the carrot was an effective method for the anti-breeding.

**Key words** Hypergravity; Carrot; Physiological activity

胡萝卜拉丁学名为(*Daucus carota var. sativa* DC.), 是2年生草本植物, 属于伞形科、胡萝卜属, 以肉质根作蔬菜食用<sup>[1]</sup>。亚洲西部的中亚西亚一带是胡萝卜的原产地, 阿富汗被称为最早的发源地, 13世纪经伊朗传入中国<sup>[2]</sup>, 至今已有上千年的栽培历史。胡萝卜具有很高的营养价值和种植效益, 研究认为胡萝卜有补肝明目、利膈宽肠、健脾和胃等功效<sup>[3]</sup>, 对人的身体具有很好的治疗效果, 还可以预防多种疾病的发生, 被誉为“东方小人参”<sup>[4]</sup>, 因此在我国各地均有栽培。

超重力(hypergravity)指的是利用离心机高速的旋转, 从而产生的离心力高于地球的重力<sup>[5]</sup>。由于植物在超重力的环境下生长, 可以产生优良的变异, 因此超重力的科学原理是超重力技术应用的依据。随着21世纪科学技术的发展, 超重力技术在材料、冶金、医学、环境、生物化工工业、能源等领域都取得了巨大的进展<sup>[6-8]</sup>, 超重力技术具有广泛的适应性和特殊性能, 其优越性能正日益被科学工作者所重视, 被誉为是“跨世纪的技术”<sup>[9-10]</sup>。超重力技术的研究已经越来越受农业科学工作者的青睐。

近年来, 关于超重力在农业方面的应用研究不多, 而且超重力对胡萝卜生理生化机理的研究仍鲜见报道。鉴于此,

笔者研究了不同超重力处理条件对红萝卜“三红八寸参”和黄萝卜“齐头黄萝卜”的丙二醛(MDA)含量、游离脯氨酸(Pro)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性的影响, 以期今后胡萝卜栽培育种提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 供试材料。** 试验选用的品种均为太谷县市售品种, 是当地的主栽品种。其中红萝卜品种为“三红八寸参”产地(河北), “三红八寸参”品种植株生长势强, 叶簇半直立, 根形整齐, 着色膨大快, 成品率高, 肉质根似圆柱形, 耐暑性强, 适合春秋两季栽植, 根长22~25 cm, 皮、肉、芯均呈橘红色, 品质优; 生、熟食用均可, 生长期110 d左右; 黄萝卜品种为“齐头黄萝卜”产地(北京), 齐头黄萝卜品种叶簇较直立, 株高50 cm左右, 肉质根长圆柱形, 长约16 cm, 直径约5 cm, 外皮和肉质根均为鲜黄色, 质脆、品质好, 生育期80 d左右。

**1.1.2 主要试验仪器。** 试验仪器包括电子天平、离心机、紫外分光光度计、托盘天平、分析天平、荧光灯、比色杯、离心管、恒温水浴锅、恒温光照箱、石英砂、研钵、刻度移液管、容量瓶、刻度吸管、微量进样器、剪刀、容量瓶等。

**1.1.3 主要试验试剂。** 试验试剂包括三氯乙酸(TCA)、硫代巴比妥酸、磷酸缓冲液、甲硫氨酸、氮蓝四唑、核黄素溶液、乙二胺四乙酸二钠、聚乙烯吡咯烷酮、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、95%乙醇、冰醋酸、茚三酮、甲苯、脯氨酸、双氧水、蒸馏水、丙酮等。

**1.2 试验方法** 该试验采用二因素完全随机设计, 以3 000、

**基金项目** 山西省煤基重点科技攻关项目(FT201402)。

**作者简介** 张晓萍(1977—), 女, 山西祁县人, 助理研究员, 从事果树果蔬生理与分子生物学技术研究。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事果蔬采后生理与分子生物学研究。

**收稿日期** 2020-05-13; **修回日期** 2020-05-15

6 000、12 000 r/min 的超重力对 2 种胡萝卜种子分别处理 20、40、60 min, 将处理后的种子直播于大田中, 进行正常管理。待出苗 30 d 后, 分别对 2 种材料的功能叶片进行测定。采用酸性茚三酮比色法测定游离脯氨酸含量; 采用硫代巴比妥酸显色法测定丙二醛含量; 采用光化学-氮蓝四唑还原法测定超氧化物歧化酶活性; 采用紫外吸收法测定过氧化氢酶活性。

### 1.3 指标测定

**1.3.1 丙二醛含量的测定**<sup>[11]</sup>。分别称取受干旱胁迫的红萝卜、黄萝卜叶片 0.3 g, 剪碎于研钵中, 依次加入 2 mL 三氯乙酸和石英砂, 研磨成匀浆, 再加入 8 mL 三氯乙酸进一步研磨, 将匀浆倒入离心管, 在 4 000 r/min 的离心机下离心 10 min, 取上清液为样品提取液。取 2 mL 样品提取液, 加入 2 mL 三氯乙酸溶液, 在沸水浴中反应 15 min, 待冷却后, 用冷冻离心机进行离心。提取上清液, 最后测定 450、532 和 600 nm 波长下的吸光度。

$$\text{MDA}(\text{mmol/g}) = [6.452 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.559 \times A_{450}] \times [V_i / (V_s \times \text{FW})]$$

式中,  $V_i$  为提取液总体积 (mL);  $V_s$  为测定用提取液体积 (mL); FW 为样品鲜重 (g)。

**1.3.2 游离脯氨酸含量的测定**<sup>[12]</sup>。分别称取新鲜红萝卜、黄萝卜的功能叶片, 装入塑料袋中, 迅速带回实验室。称取 0.3 g 新鲜样品剪碎于研钵中, 依次加入乙醇和少量石英砂进行研磨, 研磨成匀浆后, 用刻度移液管移入到不同的具塞试管中, 然后向每个试管中分别加入 5 mL 3% 的磺基水杨酸溶液, 在 80~85 °C 的沸水浴中反应 10 min, 待冷却后, 提取脯氨酸滤液。接着吸取 2 mL 提取液, 依次加入 2 mL 冰醋酸以及 2 mL 酸性茚三酮试剂, 在沸水浴中加热 30 min, 溶液即呈红色。冷却后加入 4 mL 甲苯, 震荡静置, 取上清液于离心管中, 在 3 000 r/min 的冷冻离心机下离心 5 min。在比色杯中放 2 mL 上层脯氨酸红色甲苯溶液, 然后以甲苯溶液为空白对照, 在 520 nm 波长处的分光光度计上比色, 测定其吸光度。

$$\text{脯氨酸含量} = (C \times V_i) / (W \times V_s \times 10^6) \times 100\%$$

式中,  $C$  为从标准曲线上查得的 (或计算的) 脯氨酸重量 ( $\mu\text{g}$ );  $V_i$  为提取液总体积 (mL);  $V_s$  为测定时取用提取液体积 (mL);  $W$  为样品干重 (g)。

根据制作标准曲线的方法和要求, 制作出在 520 nm 下游离脯氨酸在不同浓度时的吸光值。标准曲线见图 1。

**1.3.3 超氧化物歧化酶活性的测定**<sup>[13]</sup>。在新鲜红萝卜、黄萝卜叶片为待测样品中分别取 0.1 g 于研钵中, 加入 1 mL pH 7.8 磷酸缓冲液, 在冰浴中研磨成匀浆以便提取 SOD; 重复 3 次, 在 1.5 mL 离心管中离心 (6 000 r/min) 15 min, 取中层滤液, 然后高速冰冻离心 (16 000 r/min) 20 min, 取上清液测酶活性。在 5 支试管中分别加入 5 mL NBT 反应液, 从 3 份酶液中各取 100  $\mu\text{L}$  分别加入 3 支中, 另外 2 支为对照, 1 支对照管放置于黑暗中作为参比; 另 1 支对照管和 3 支样品管在 25~30 °C 下光照处理, 20 min 后出现颜色变化, 用 560 nm 波长的光比色测定光密度。

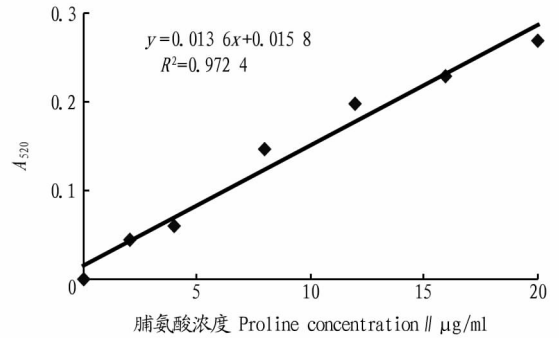


图 1 游离脯氨酸标准曲线

Fig.1 Standard curve of free proline

$$\text{SOD 活性} [U / (g \cdot h)] = [(A_0 - A_s) \times V_i \times 60] / (A_0 \times 0.5 \times \text{FW} \times V_s \times t)$$

式中,  $A_0$  为光下对照管吸光度;  $A_s$  为样品测定管吸光度;  $V_i$  为样品提取液总体积 (mL);  $V_s$  为测定时取粗酶液量 (mL);  $t$  为显色反应光时间 (min); FW 为样品鲜重 (g)。

**1.3.4 过氧化氢酶活性测定**<sup>[14]</sup>。称取待测新鲜红萝卜、黄萝卜叶片各 5 g, 置于研钵中, 加入 2~3 mL pH 7.0 磷酸缓冲液和少量石英砂研磨成匀浆, 倒入 25 mL 容量瓶中, 反复用缓冲液冲洗研钵, 定容到刻度, 混合均匀。将容量瓶静置在 5 °C 的冰箱中 10 min, 取上部的澄清液在 4 000 r/min 下离心 15 min, 5 °C 下保存备用上清液, 上清液为过氧化氢酶粗提液。取 10 mL 试管 3 支, 2 支作为样品测定管, 1 支为空白管, 每个试管依次加入 0.2 mL 粗酶液, 1.5 mL pH 7.8 磷酸缓冲液和 1.0 mL 蒸馏水。25 °C 预热, 依次加入 0.3 mL 0.1 mol 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 试剂每加入一个试管, 立即计时, 并迅速倒入石英比色杯中, 在 240 nm 下测定吸光值, 每隔 1 min 读 1 次, 共测 4 min, 最后计算酶活性。

$$\text{CAT 活性} [U / (g \cdot \text{min})] = (\Delta A_{240} \times V_i) / (0.1 \times V_s \times t \times \text{FW})$$

$$\Delta A_{240} = A_{s0} - [(A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}) / 3]$$

式中,  $A_{s0}$  为煮死酶液对照管吸光度;  $A_{s1}$ 、 $A_{s2}$ 、 $A_{s3}$  为样品测定管吸光度;  $V_i$  为酶提取液总体积 (mL);  $V_s$  为测定时酶液的体积 (mL); FW 为样品鲜重 (g)。

**1.4 数据处理** 采用 WPS 表格试验数据分析并绘制散点折线统计图; 采用 SAS 软件处理与统计分析进行数据方差分析; 利用字母标记法表示多重比较分析结果。

## 2 结果与分析

**2.1 超重力处理对 2 种胡萝卜幼苗丙二醛含量的影响** 由表 1 可知, 红萝卜的超重力处理结果显示, 3 000 r/min + 20 min 处理的丙二醛含量最大, 为 0.673 mmol/g, 与其他处理和对照间差异达显著水平。3 000 r/min + 40 min、6 000 r/min + 20 min、12 000 r/min + 20 min 处理的丙二醛含量低于对照。3 000 r/min + 40 min 处理的丙二醛含量最低, 为 0.33 mmol/g。3 000 r/min + 60 min、6 000 r/min + 40 min、12 000 r/min + 40 min 处理的丙二醛含量与对照间无显著差异。

黄萝卜的超重力处理结果显示, 6 000 r/min + 60 min 处理的丙二醛含量最大, 为 0.885 mmol/g, 与其他处理和对照间的差异达显著水平。3 000 r/min + 20 min、3 000 r/min +

40 min、3 000 r/min+60 min、6 000 r/min+20 min、6 000 r/min+60 min、12 000 r/min+60 min 处理的MDA含量均高于对照,且3 000 r/min+40 min处理与对照无明显差异。6 000 r/min+40 min、12 000 r/min+20 min、12 000 r/min+40 min处理的MDA含量均低于对照,与对照间差异显著。6 000 r/min+40 min处理的丙二醛含量最低,为0.44 mmol/g。其中3 000 r/min+60 min处理与6 000 r/min+20 min处理间差异不显著;6 000 r/min+60 min处理与12 000 r/min+60 min处理间差异不显著;12 000 r/min+20 min处理与12 000 r/min+40 min处理间差异不显著。

表1 不同处理对2种胡萝卜幼苗的丙二醛含量的影响

Table 1 Effects of different treatments on the MDA content of red and yellow carrot seedlings mmol/g

编号 Code	处理 Treatments	红萝卜 Red carrot	黄萝卜 Yellow carrot
1	3 000 r/min+20 min	0.67±0.029 a	0.89±0.193 a
2	3 000 r/min+40 min	0.33±0.096 e	0.58±0.192 d
3	3 000 r/min+60 min	0.53±0.196 c	0.71±0.098 b
4	6 000 r/min+20 min	0.44±0.032 d	0.73±0.078 b
5	6 000 r/min+40 min	0.51±0.041 c	0.44±0.323 e
6	6 000 r/min+60 min	0.62±0.012 b	0.67±0.106 c
7	12 000 r/min+20 min	0.20±0.121 f	0.47±0.063 e
8	12 000 r/min+40 min	0.53±0.175 c	0.49±0.098 e
9	12 000 r/min+60 min	0.48±0.150 d	0.68±0.065 c
10	CK	0.51±0.196 c	0.58±0.178 d

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

2.2 超重力处理对2种胡萝卜幼苗游离脯氨酸含量的影响 由表2可知,红萝卜的超重力处理结果显示,3 000 r/min+20 min处理的游离脯氨酸含量最高,为1.77 μg/g,与12 000 r/min+20 min处理间无明显差异。与对照相比,3 000 r/min+60 min、6 000 r/min+40 min、6 000 r/min+60 min、12 000 r/min+40 min、12 000 r/min+60 min处理的游离脯氨酸含量降低,其中12 000 r/min+60 min处理的含量最低,为0.30 μg/g。3 000 r/min+40 min、6 000 r/min+20 min处理与对照间无明显差异,其他处理的游离脯氨酸含量都高于对照。

表2 不同处理对2种胡萝卜幼苗游离脯氨酸含量的影响

Table 2 Effects of different treatments on the free proline contents of red and yellow carrot seedlings μg/g

编号 Code	处理 Treatments	红萝卜 Red carrot	黄萝卜 Yellow carrot
1	3 000 r/min+20 min	1.77±0.071 a	5.97±0.076 a
2	3 000 r/min+40 min	0.68±0.045 b	1.77±0.064 e
3	3 000 r/min+60 min	0.31±0.010 d	2.46±0.007 c
4	6 000 r/min+20 min	0.66±0.223 b	1.41±0.127 f
5	6 000 r/min+40 min	0.37±0.010 d	1.26±0.071 f
6	6 000 r/min+60 min	0.32±0.012 d	1.51±0.017 f
7	12 000 r/min+20 min	1.74±0.067 a	1.98±0.103 d
8	12 000 r/min+40 min	0.42±0.016 cd	3.94±0.063 b
9	12 000 r/min+60 min	0.30±0.014 d	0.32±0.112 g
10	CK	0.60±0.024 b	1.23±0.023 f

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

黄萝卜的超重力处理结果显示,3 000 r/min+20 min处理的游离脯氨酸含量最大,与其他处理间差异极显著。6 000 r/min+20 min、6 000 r/min+40 min、6 000 r/min+60 min处理与对照间差异不显著。与对照相比,3 000 r/min+20 min、3 000 r/min+40 min、3 000 r/min+60 min、12 000 r/min+20 min、12 000 r/min+40 min处理植株的游离脯氨酸含量显著升高,最大含量为5.97 μg/g。而12 000 r/min+60 min处理的游离脯氨酸的含量最小,为0.32 μg/g。

2.3 超重力处理对2种胡萝卜幼苗超氧化物歧化酶活性的影响 由表3可知,红萝卜的超重力处理结果显示,所有处理的超氧化物歧化酶的活性都低于对照,且对照与其他处理相比均显著升高,其中3 000 r/min+20 min处理与对照差异未达显著水平。3 000 r/min+40 min、3 000 r/min+60 min、6 000 r/min+20 min处理间差异不显著;6 000 r/min+20 min、6 000 r/min+40 min与12 000 r/min+20 min、12 000 r/min+40 min处理间差异显著;12 000 r/min+60 min处理的超氧化物歧化酶活性最低,为200.18 U/g。

表3 不同处理对2种胡萝卜超氧化物歧化酶活性的影响

Table 3 Effects of different treatments on SOD activity of red and yellow carrots U/g

编号 Code	处理 Treatments	红萝卜 Red carrot	黄萝卜 Yellow carrot
1	3 000 r/min+20 min	472.55±9.57 a	550.38±10.65 b
2	3 000 r/min+40 min	422.27±7.25 b	449.00±8.46 c
3	3 000 r/min+60 min	396.00±6.32 b	379.67±6.98 d
4	6 000 r/min+20 min	385.81±6.28 b	311.54±4.82 e
5	6 000 r/min+40 min	336.45±3.41 c	279.28±3.26 ef
6	6 000 r/min+60 min	332.67±3.14 c	264.86±2.78 f
7	12 000 r/min+20 min	236.00±2.21 d	261.46±2.75 f
8	12 000 r/min+40 min	232.59±1.87 d	213.80±1.98 g
9	12 000 r/min+60 min	200.18±1.08 e	210.59±1.71 g
10	CK	500.33±10.46 a	603.13±14.88 a

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

黄萝卜的超重力处理结果显示,对照的超氧化物歧化酶活性最高,为603.13 U/g,与其他处理间差异达显著水平。6 000 r/min+20 min、6 000 r/min+40 min、6 000 r/min+60 min、12 000 r/min+20 min处理间的超氧化物歧化酶活性差异不显著,而6 000 r/min+20 min与6 000 r/min+40 min处理间差异不显著;12 000 r/min+40 min与12 000 r/min+60 min处理间差异不显著。

2.4 超重力处理对2种胡萝卜幼苗过氧化氢酶活性的影响 由表4可知,红萝卜的超重力处理结果显示,对照的过氧化氢酶活性最高,为20.04 μg/(g·min),与其他处理间差异显著。3 000 r/min+40 min处理与3 000 r/min+60 min处理间的过氧化氢酶活性差异不显著;6 000 r/min+20 min处理与6 000 r/min+40 min处理间差异不显著;6 000 r/min+60 min处理与12 000 r/min+20 min处理间差异不显著。12 000 r/min+60 min处理的过氧化氢酶活性最低,与12 000 r/min+40 min处理间差异不显著。

黄萝卜的超重力处理结果显示,对照的过氧化氢酶活性

最高,为  $21.53 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{min})$ ,与其他处理间差异显著。 $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+40 \text{ min}$ 、 $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+60 \text{ min}$ 、 $6\ 000 \text{ r}/\text{min}+40 \text{ min}$ 、 $6\ 000 \text{ r}/\text{min}+60 \text{ min}$  处理与  $12\ 000 \text{ r}/\text{min}+20 \text{ min}$  处理间的过氧化氢酶活性差异不显著; $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+20 \text{ min}$  处理与  $6\ 000 \text{ r}/\text{min}+20 \text{ min}$  处理间差异不显著。 $12\ 000 \text{ r}/\text{min}+60 \text{ min}$  处理的过氧化氢酶活性最低,为  $10.06 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{min})$ ,与  $12\ 000 \text{ r}/\text{min}+40 \text{ min}$  处理间差异不显著。

表 4 不同处理对 2 种胡萝卜过氧化氢酶活性的影响

Table 4 Effects of different treatments on CAT activity of red and yellow carrots  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{min})$

编号 Code	处理 Treatments	红萝卜 Red carrot	黄萝卜 Yellow carrot
1	3 000 r/min+20 min	11.89±0.18 b	12.09±0.22 b
2	3 000 r/min+40 min	10.27±0.16 c	11.75±0.25 c
3	3 000 r/min+60 min	10.65±0.15 c	11.09±0.24 c
4	6 000 r/min+20 min	9.19±0.15 d	12.08±0.22 b
5	6 000 r/min+40 min	9.25±0.14 d	11.11±0.25 c
6	6 000 r/min+60 min	8.32±0.12 e	11.77±0.23 c
7	12 000 r/min+20 min	8.31±0.12 e	11.44±0.20 c
8	12 000 r/min+40 min	6.49±0.10 f	10.55±0.18 d
9	12 000 r/min+60 min	6.19±0.10 f	10.06±0.16 d
10	CK	20.04±1.12 a	21.53±1.21 a

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

### 3 结论与讨论

近年来,随着科学技术的发展,超重力在农业领域中的研究越来越受到人们的关注。超重力技术是在微重力的基础上发展起来的,是对微重力的进一步研究。该试验分别对 2 种材料的 MDA、Pro、SOD、CAT 活性生理指标进行测定,经过超重力处理后,4 项指标均受到严重影响。

通过测定 MDA 含量来间接了解膜系统受损的程度和植物的抗逆性<sup>[15]</sup>。该试验结果显示,适合的超重力处理可以提高 2 种胡萝卜幼苗的抗逆性,丙二醛含量的测定结果显示,2 种胡萝卜最佳超重力处理是在  $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+20 \text{ min}$  条件下。 $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+20 \text{ min}$  处理的丙二醛的含量均高于对照和其他处理,说明超重力小时会减小对抗逆性的破坏。在正常条件下,植物体内游离脯氨酸的含量降低,但在逆境条件下,体内游离脯氨酸的含量增加<sup>[16]</sup>。该试验结果显示,经过超重力处理后,与对照相比,2 种胡萝卜中脯氨酸的含量有升高也有降低,因此还需要进一步研究适合的胡萝卜超重力处理方法。

(上接第 57 页)

的效果。该试验只对平菇的覆土施肥栽培效应进行了研究,对其他食用菌品种和覆土材料还需进一步深入研究。

### 参考文献

[1] 许月明.平菇优良菌株的筛选[J].中国食用菌,2013,32(3):16-18.  
 [2] 刘遂飞,王小妮,何煦,等.平菇栽培后期不同基质覆土增产效果研究[J].北方园艺,2014(1):143-145.  
 [3] 裴悦珩.平菇发酵料覆土高产栽培技术[J].中国园艺文摘,2010(4):117-118.  
 [4] 杨辉德,秦春娥.平菇不同覆土方式的比较试验[J].食用菌,2007(2):43-44.

超氧化物歧化酶(SOD)活性与植物的衰老和抗逆性密切相关,是植物体内的重要保护酶之一<sup>[17]</sup>。而过氧化氢酶是植物体内普遍存在的酶,对植物的呼吸作用和光合作用的形成有影响。CAT 活性可以反映某一时期植物体内的代谢及抗逆性的变化<sup>[18]</sup>。该试验结果显示,超重力处理后,2 种胡萝卜幼苗叶片中的 SOD 和 CAT 活性均低于对照;对照的活性最高,与其他处理间差异达显著水平,表明 2 种胡萝卜材料经超重力处理后,基因表达和代谢过程都发生了变化,各材料的代谢水平也发生变化,但随着时间的推移,其代谢趋势变化与对照差异较大。而  $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+40 \text{ min}$  与  $3\ 000 \text{ r}/\text{min}+60 \text{ min}$  处理、 $12\ 000 \text{ r}/\text{min}+40 \text{ min}$  与  $12\ 000 \text{ r}/\text{min}+60 \text{ min}$  处理间差异不显著,表明 2 种胡萝卜在相同转速但分钟数不同的条件下,对不同作物的影响是相同的。

该研究结果显示,超重力处理对红萝卜和黄萝卜的生理生化活性都有影响,利用一定的超重力处理可提高 2 种胡萝卜幼苗的抗逆性。因此,在农业生产中,利用合适的超重力大小以及适当的时间可以增强 2 种胡萝卜的抗逆性,减少逆境对植物的伤害。

### 参考文献

[1] 程智慧.蔬菜栽培学总论[M].北京:科学出版社,2010.  
 [2] 卢育华.蔬菜栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2000.  
 [3] 张雅稚.胡萝卜的营养保健功能及产品开发利用[J].中国食物与营养,2009(6):41-42.  
 [4] 汪隆植,何启伟.中国萝卜[M].北京:科学技术文献出版社,2005.  
 [5] 陈建峰.超重力技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2002.  
 [6] 刘有智.超重力化工过程与技术[M].北京:国防工业出版社,2009:1-7.  
 [7] 郭锴,柳松年,陈建峰,等.超重力工程技术应用的新进展[J].化工进展,1997(1):1-4.  
 [8] 官益豪,黄卫星,肖泽仪,等.超重力技术及其应用研究进展[J].化工机械,2005,32(1):55-59.  
 [9] 邹海魁,邵磊,陈建峰.超重力技术进展——从实验室到工业化[J].化工学报,2006,57(8):1810-1815.  
 [10] 李忠娟.航天育种研究动态与展望[J].江西农业科技,2003(3):43-44.  
 [11] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版西安公司,2000:196-197.  
 [12] 张殿忠,汪沛洪,赵会贤.测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J].植物生理学通讯,1990(4):62-65.  
 [13] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.  
 [14] 胡景江,逢煊明.基础生物化学实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1986:92-93.  
 [15] 康志钰,王建军.超重力处理对小麦种子发芽特性及产量性状的影响[J].云南农业大学学报,2011,26(1):134-138.  
 [16] 段智英,杨致芬.超重力处理对番茄幼苗生长和理化指标的影响[J].中国农业科技导报,2010,12(1):123-127.  
 [17] 杨美红,郭春绒,董宽虎,等.超重力处理对苜蓿幼苗抗盐性的影响[J].中国农学通报,2005,21(11):16-18.  
 [18] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.

[5] 王倩,田益华,朱燕华,等.泥炭覆土时的含水量对双孢蘑菇产量及质量的影响[J].食用菌学报,2015,22(4):44-48.  
 [6] 赵嘉菱,韦锦范,USMAN R,等.不同覆土材料对印度丽蘑子实体生长和营养成分的影响[J].食用菌学报,2019,26(3):58-64.  
 [7] 李长喜,李巨,王文成,等.含氨基酸水溶肥用于发酵料栽培平菇的效果实验[J].中国食用菌,2016,35(6):67-68.  
 [8] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].北京:高等教育出版社,2000:137-138,145-148,201-202.  
 [9] 竹玮,龚凤萍,段庆虎,等.添加不同氮源对棉籽壳发酵后熟化栽培平菇的影响[J].中国食用菌,2019,38(9):33-36.  
 [10] 胡素娟,段亚魁,康源春,等.2 种基质对平菇胞外酶活性、产量及品质的影响[J].河南农业科学,2018,47(3):96-99.