

# Effect of Hot Spring Water on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat

Qian Yang, Jianfang Wang, Yifan Wang, Zixun Wang, Liyan Wang\*

Department of Biology, Dezhou University, Dezhou Shandong  
Email: wangly72@126.com

Received: Oct. 8<sup>th</sup>, 2017; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2017; published: Oct. 26<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

For studying the effect of hot spring water on wheat germination and wheat seedlings growth, "Jimai 22", was used. Four hot spring water treatments were set to investigate the effects of different concentrations of hot spring water on seed germination and seedling growth of wheat. Seeds germination percentage, germination energy, germination index, root length, stem length, antioxidative enzymes namely peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), and parameters of oxidative stress malondialdehyde (MDA) contents in wheat seedlings were measured. The results indicated that low concentration of hot spring water had activation effect on seed germination, root length and stem length during seed germination, while the effect on wheat seedling growth was not obvious. Low concentration of hot spring water caused notable changes on MDA, POD and SOD in wheat seedlings, while the activities of POD and SOD increased obviously under the highest concentration. The hot spring water concentration which influenced the germination and seedling growth of wheat was different, and the low concentration of hot spring water could affect the germination of wheat seeds.

## Keywords

Hot Spring Water, Wheat, Seed Germination, Growth

---

# 地热水对小麦种子萌发及生长的影响

杨倩, 王建芳, 王宜凡, 王子洵, 王丽燕\*

德州学院生命科学学院, 山东 德州  
Email: wangly72@126.com

---

\*通讯作者。

收稿日期：2017年10月8日；录用日期：2017年10月21日；发布日期：2017年10月26日

## 摘要

为探讨地热水处理对小麦萌发和生长的影响，以济麦22为材料，用不同稀释浓度地热水(1/4, 1/3, 1/2 稀释及完全地热水)处理小麦种子及幼苗，测定了小麦种子的发芽率、发芽势、发芽指数、根长、芽长及小麦幼苗的丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)及过氧化物酶(POD)活性。结果表明，一定低浓度的地热水可以促进小麦种子萌发及萌发期小麦幼苗的根长、芽长，高浓度地热水处理则抑制小麦种子萌发和幼苗生长，但对小麦苗期的生长影响不明显。随着地热水处理浓度的升高，小麦叶片中的MDA含量表现为升高趋势，同时SOD及POD活性升高。总之，影响小麦的萌发和幼苗生长的地热水浓度不同，较低浓度的地热水即可影响小麦种子萌发。

## 关键词

地热水，小麦，萌发，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

近年来，随着农村城镇化建设的进行，各农村联合小区的供暖方式由以往单个农户烧煤取暖的方式改为集中统一供暖，由于各联合小区远离城市中心的集中供暖设施，因此采用地热水供暖成为农村联合小区供暖的首选方式。地热水是从地下深层自然涌出地表或人工钻孔提取的地下热水，温度可达 50 度以上，含有丰富的矿物质。近年来，山东省探明的地热资源位居全国之首，越来越多的小区采用这一清洁能源供暖。德州主要热储为馆陶组含砾砂岩及砂砾岩层，井口水温 56℃，矿化度 4857 mg/L，水化学类型为 NaCl 型，水中含有硼、硅、锶、碘、溴等多种对人体健康有益的微量元素。其中偏硼酸含量 6.0~6.3 mg/L，偏硅酸含量 36.13~42.42 mg/L [1]。笔者调查发现，使用后的地暖水往往排放到农村的灌溉渠中，成为农民灌溉冬小麦的水源，有的农户将排放的地热水直接用于灌溉，有的则将地热水和用于灌溉的黄河水混合后用于灌溉。目前对于地热水的研究主要集中在资源的开发利用、对河流水质的影响等方面，但对作物生长和品质的影响尚未见研究报道。有研究表明地热水可能会影响河流水质[2]，农民的这些灌溉方式是否会影响小麦的生长急需研究。

小麦是我国第二大农作物，小麦种子萌发和早期幼苗生长是决定其能否在胁迫条件下生长、成熟的关键时期。本文以小麦为研究材料，探讨地热水对小麦种子萌发和生长的影响，以期地为地热水的合理利用提供理论依据。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 供试材料

供试小麦品种为山东省农业科学院作物研究所育成、在山东种植面积较大的济麦 22，该品种具有高产、多抗特性。种子购自德州市种子公司，供试地暖水取自德州市郝王庄镇草屯社区取暖用地热水。

## 2.2. 种子发芽实验

选取饱满的小麦种子,用 0.5%的高锰酸钾表面消毒 5 分钟,自来水反复冲洗数次后,再用灭菌的去离子水反复冲洗,滤纸吸干种子表面水分。将种子置于铺有 2 层滤纸的培养皿(直径 9 cm)中,每皿摆放 30 粒种子,分别加入等量处理液至饱满为止,每个浓度均设 3 个重复,置于恒温培养箱中培养,培养温度为 23℃/25℃ (11 h 黑暗/12 h 光照),每日以培养液冲洗种子,并保持培养皿中溶液量不变。实验设计 5 个浓度水平, A 为去离子水处理,作为对照,地热水依次用去离子水稀释成 4 个不同浓度: 1/4 浓度地热水, 1/3 浓度地热水, 1/2 浓度地热水, 地热水, 分别标记为 B、C、D、E。

统计发芽数至第 7 天发芽基本结束为止,每天统计种子发芽数(以胚根突出达到小麦籽粒长度一半为标准),按如下公式分别计算发芽率、发芽势、发芽指数和相对伤害率[3]: 1. 发芽率(GR) = 萌发种子数/种子总数 × 100%, 2. 发芽势(GV) = 发芽达到高峰时(第二天)萌发种子数/种子总数 × 100%, 3. 发芽指数(GI) =  $\sum(Gt/Dt)$ (Gt 指在时间 t 日内的发芽数, Dt 指相应的发芽天数), 4. 相对伤害率 = (对照发芽率 - 处理发芽率)/对照发芽率 × 100%。

## 2.3. 地热水处理对小麦芽长和根长的影响

处理 7 天后,从每个培养皿中取出 10 株生长状态一致的幼苗,测定幼苗的芽长和根长。

## 2.4. 地热水处理对小麦苗期生长、MDA 含量、抗氧化酶活性的影响

将小麦种子消毒后,用去离子水催芽,5 天后挑选生长一致的幼苗移植到多孔培养盒中进行溶液培养,培养液分别与萌发时的处理液浓度一致,以 1/2Hoagland 溶液为对照 A,地热水处理组分别用 1/2Hoagland 溶液替代去离子水稀释为 1/4、1/3、1/2 浓度,处理 10 天后测量株高、根长,并进行以下生理指标的测定。

### 2.4.1. 小麦幼苗丙二醛含量的测定

采用李合生的方法[4],以  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{Fw}$  表示。

$\text{MDA} = [6.452(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450}]Vr/(Va\cdot Fw)$  样品式中, Vr: 提取液总体积(ml); Va: 测定用提取液体积(ml); Fw: 样品鲜重(g)。

### 2.4.2. 抗氧化酶活性的测定

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用 NBT 法[5],活性单位以抑制 NBT 光化还原的 50%为一个酶活性单位表示。按下式计算:

$$\text{SOD 活性} = [(A_0 - A_S) \times V_T] / (A_0 \times 0.5 \times F_w \times V_1)$$

A<sub>0</sub> 为照光对照管光吸收值, A<sub>S</sub> 为样品光的吸光值, V<sub>T</sub> 为样液总体积, V<sub>1</sub> 为测定时样品液体积, F<sub>w</sub> 为取材的鲜重。

过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法[5],以每分钟内 OD<sub>470</sub> 变化 0.01 为一个过氧化物酶活性单位(U), 过氧化氢酶活性 =  $(A_{470} \times V_T) / (0.01 \times W \times V_s \times t)$ 。

A<sub>470</sub>: 反应时间内 OD 变化值; V<sub>T</sub>: 提取液总体积(ml); W: 植物鲜重(g);

V<sub>s</sub>: 测定时所用酶液体积(ml); t: 反应时间(min)。

## 2.5. 数据分析

利用 Excel2013 软件进行数据分析。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 地热水对小麦种子萌发特性的影响

如表 1 所示, 1/4 浓度地热水处理促进了小麦种子的萌发, 随着地热水浓度的升高, 小麦种子的发芽率降低, 当用完全地热水处理时发芽率比对照降低 24.16%, 比 1/4 地热水处理降低 28.50%。同时, 由累积发芽率(图 1)可以看出, 1/4 浓度地热水处理条件下小麦种子发芽率高于对照, 在处理浓度为 1/3 地热水浓度时, 随着地热水处理浓度的升高, 萌发率降低。可见, 一定浓度的地热水可以促进小麦种子萌发, 而高浓度的地热水会抑制小麦种子的萌发。

发芽势可以表明种子出苗的整齐度, 由表 1 可以看出, 低浓度(1/4 浓度的地热水)可以明显提高小麦种子发芽势, 但随着地热水浓度的升高(1/3、1/2 及完全地热水), 发芽势呈现下降趋势。

发芽指数是表征外界胁迫对种子萌发胁迫高低的指标。如表 1 所示, 地热水处理条件下, 发芽指数的变化与发芽势结果一致。

1/4 浓度的地热水处理可以明显降低外源胁迫的伤害率, 当处理浓度高于地热水浓度的 1/3 时, 随着处理浓度的升高, 伤害率增加, 这可能与高浓度的地热水中所含的高浓度矿质离子所产生的胁迫有关。

#### 3.2. 地热水处理对小麦芽期生长的影响

小麦苗期的生长状况决定着小麦未来的生长势强弱, 萌发 7 d 后, 分别测定了不同处理条件下小麦幼苗的根长和芽长, 结果如图 2 所示, 与对照相比, 1/4 浓度地热水处理促进了小麦生长, 1/4 浓度地热水处理小麦根长和芽长的生长与对照相比差异不显著( $P > 0.05$ ), 而高于 1/2 浓度的地热水降低了小麦幼苗的生长, 且随着地热水浓度的增高, 幼苗的生长受到明显抑制。

#### 3.3. 地热水处理对小麦苗期生长的影响

将生长一致的小麦幼苗进行地热水处理, 地热水处理 10 天后测定小麦幼苗的生长, 结果如图 3 所示, 与对照相比, 1/4 -1/2 浓度的地热水处理未引起明显的生长差异, 根及地上部长度测定结果的差异不显著(数据未显示), 但完全地热水处理组的生长明显低于其他组。以上结果表明, 与小麦萌发期不同, 除完全地热水处理影响小麦幼苗生长外, 1/4-1/2 浓度的地热水处理不影响小麦苗期生长。

#### 3.4. 地热水处理对小麦幼苗 MDA 含量、SOD 及 POD 活性的影响

如图 4 所示, 1/4 浓度的地热水处理条件下, 小麦幼苗地上部 MDA 含量与对照相比略有降低, 但差异不明显, 随着地热水处理浓度的增高, MDA 含量增加, 当用完全地热水处理时, MDA 含量明显增加, 含量为对照组的 2.39 倍。

如图 5 所示, 1/4 浓度的地热水处理条件下, 小麦幼苗地上部 SOD 活性与对照相比略有降低, 但差异不明显( $P > 0.05$ ), 随着地热水处理浓度的增高, SOD 活性升高, 当用完全地热水处理时, SOD 活性明显降低, 约为对照组的 82.0%。

如图 6 所示, 1/4 浓度的地热水处理条件下, 小麦幼苗地上部 POD 活性与对照相比略有升高, 但差异不明显( $P > 0.05$ ), 随着地热水处理浓度的增高, POD 活性降低, 当用完全地热水处理时, POD 活性明显降低, 含量为对照组的 44.1%。

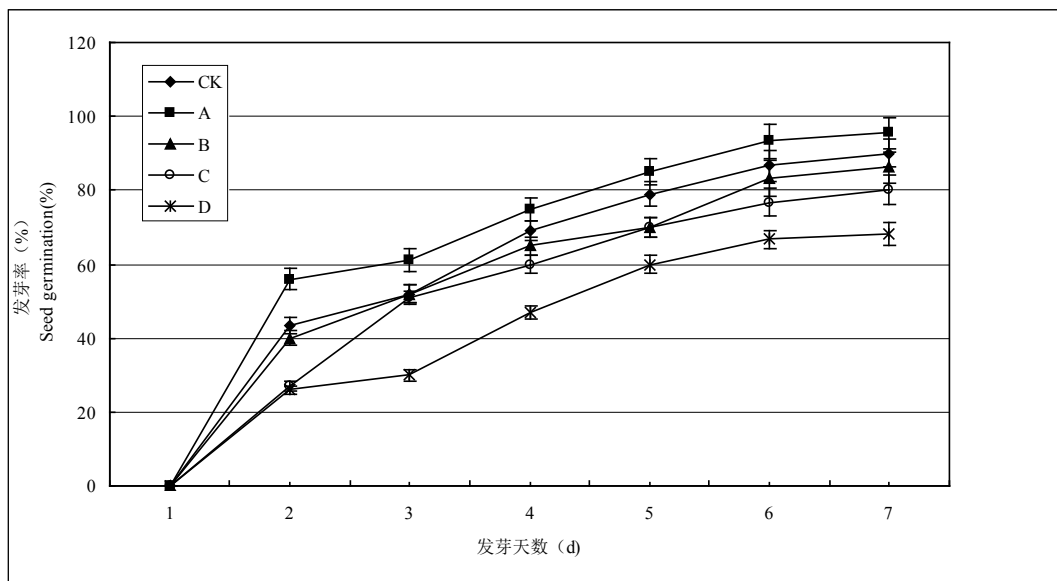
### 4. 讨论

种子的发芽势、发芽率可以反映出种子的发芽速度和整齐度, 因此常被用作评价种子发芽的指标, 小麦种子的萌发及萌发时期的生长状况直接影响小麦的生长和产量[6]。已有的研究表明盐渍、重金属处

**Table 1.** Effect of hot spring water on seed germination percentage, germination energy, germination index and Relative injury rate of wheat

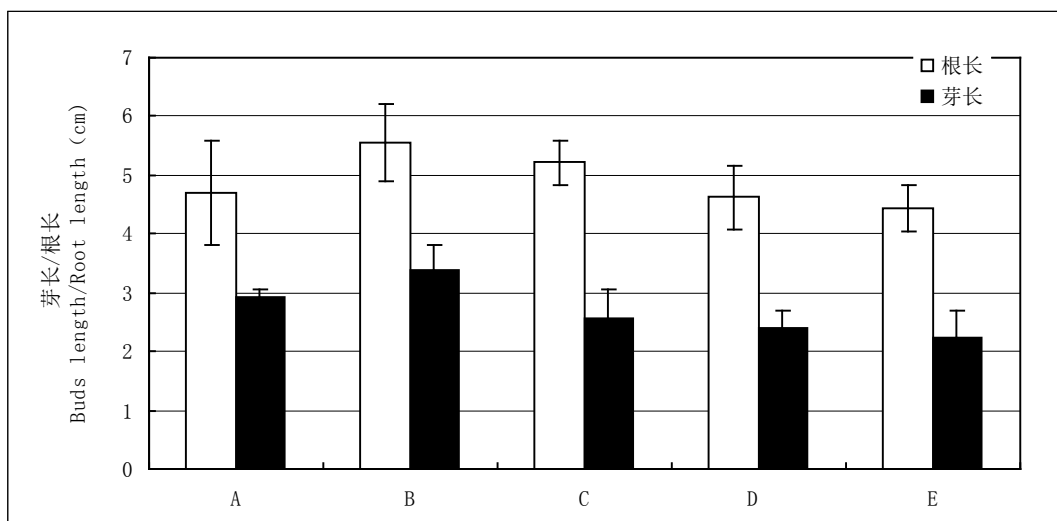
**表 1.** 地热水对小麦种子发芽率、发芽势、发芽指数和相对伤害率的影响

地热水浓度	发芽率(%)	发芽势(%)	发芽指数	相对伤害率(%)
A	89.97 ± 3.27	43.27 ± 1.20	10.72 ± 0.25	0
B	95.43 ± 2.13	56.01 ± 2.31	12.00 ± 0.42	-6.06
C	86.27 ± 2.01	40.03 ± 1.26	10.71 ± 0.17	4.11
D	80.21 ± 1.46	27.05 ± 0.89	9.86 ± 0.37	10.85
E	68.23 ± 1.32	26.07 ± 0.24	8.57 ± 0.24	24.16



**Figure 1.** Effect of hot spring water on cumulative seed germination percentage of wheat

**图 1.** 地热水处理对小麦种子累积发芽率的影响

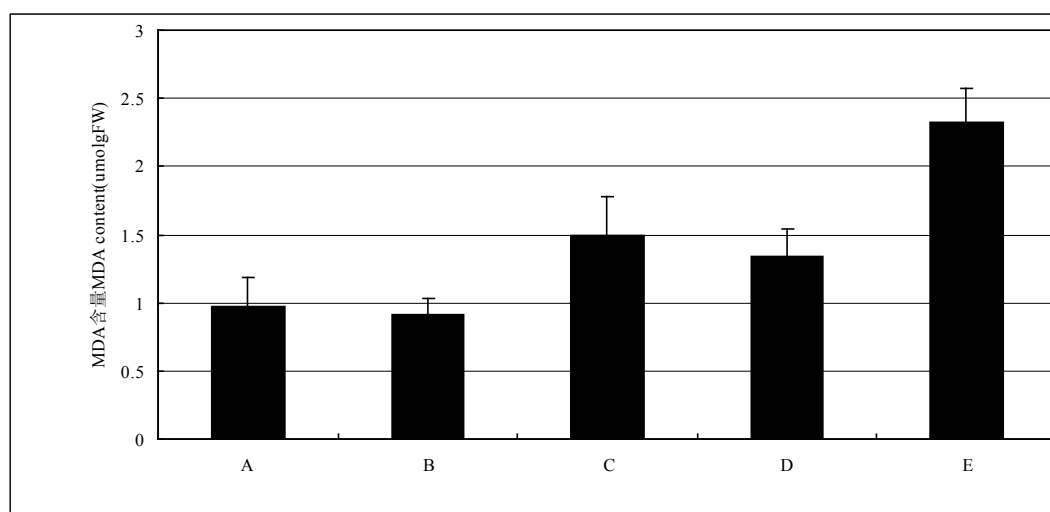


**Figure 2.** Effect of hot spring water on growth of wheat seedlings during the period of germination

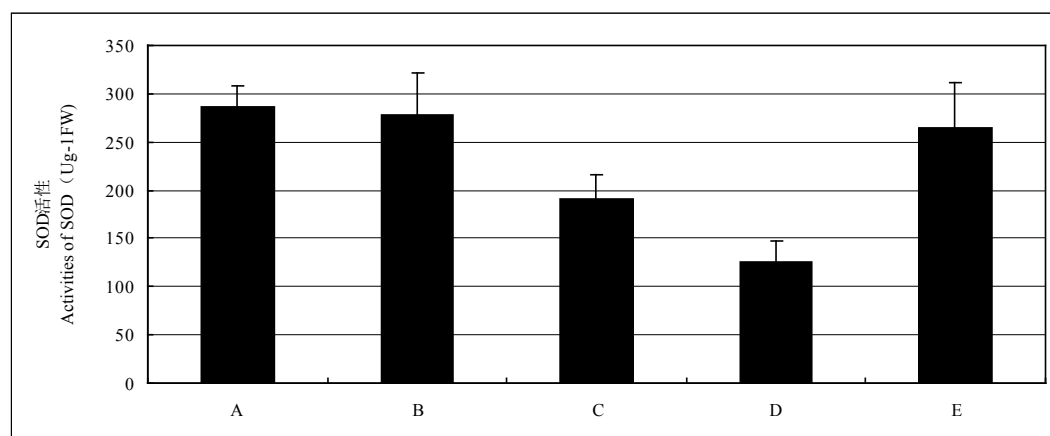
**图 2.** 地热水处理对小麦萌发型生长的影响



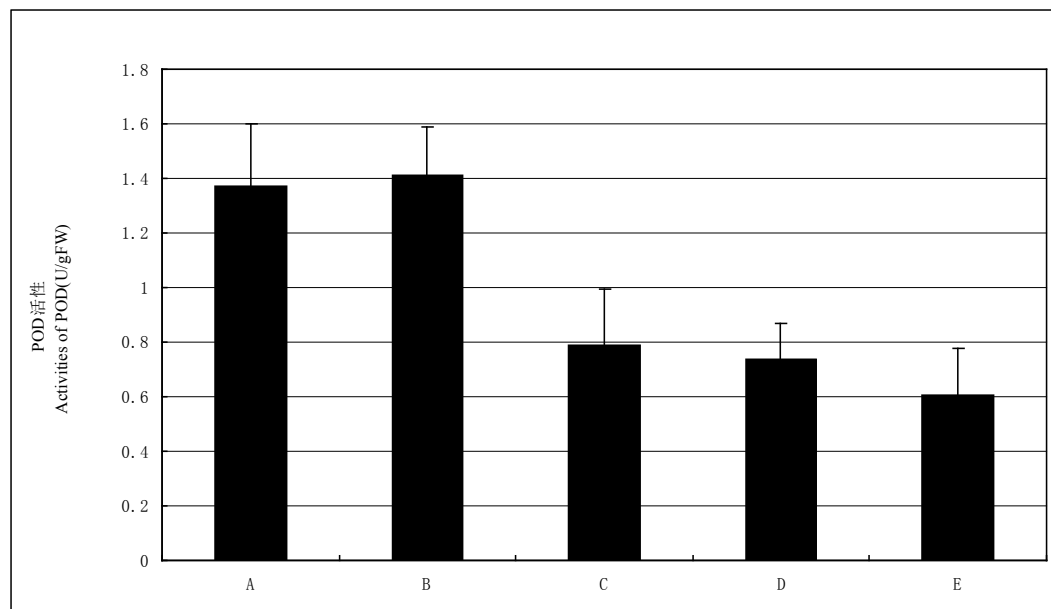
**Figure 3.** Effect of hot spring water on growth of wheat seedlings  
**图 3.** 不同浓度地热水处理对小麦幼苗生长的影响



**Figure 4.** Effect of hot spring water on MDA contents of wheat seedlings  
**图 4.** 地热水处理对小麦幼苗地上部 MDA 含量的影响



**Figure 5.** Effect of hot spring water on SOD activity of wheat seedlings  
**图 5.** 地热水处理对小麦幼苗 SOD 活性的影响



**Figure 6.** Effect of hot spring water on POD activity of wheat seedlings  
**图 6.** 地热水处理对小麦幼苗 POD 活性的影响

理是影响小麦等植物种子萌发的重要因素。本实验结果表明，低浓度(1/4 浓度)的地热水可以明显提高小麦种子发芽势、发芽率及发芽指数，但超过 1/3 浓度的地热水则使小麦萌发能力降低，这与我们以前的研究结果一致，即低浓度的重金属处理可以促进小麦种子萌发，而较高浓度则出现抑制效应[7]。

小麦在幼苗阶段对盐胁迫反应最敏感，该阶段是筛选品种耐盐性的关键时期[8]。在干旱、盐渍等胁迫条件下，植物细胞内自由基的代谢会产生大量活性氧，当活性氧的积累超过伤害阈值时，会引起细胞膜脂过氧化反应从而产生 MDA，导致 MDA 含量升高并对细胞膜系统造成伤害，从而损害植物的生长[9][10]。MDA 是膜脂过氧化分解的重要产物，其含量的高低可以反映细胞膜过氧化损伤的程度和作物对逆境条件的抵抗能力[11]。Bowler 等[12]研究表明，植物在低温、干旱、高盐分等逆境条件下，膜脂过氧化作用的进程都可以增强。本实验结果表明，1/4 浓度的地热水处理条件下，小麦幼苗地上部 MDA 含量与对照相比略有降低，但差异不明显，随着地热水处理浓度的增高，MDA 含量增加，当用完全地热水处理时，MDA 含量明显增加，含量为对照组的 2.39 倍，可见较高浓度的地热水对细胞膜系统造成伤害。胁迫条件下，植物能通过有效增加清除活性氧的抗氧化防御系统而增加对外界胁迫的适应，抗氧化防御系统主要包括过氧化物酶、超氧化物歧化酶等，他们能降低膜脂过氧化水平，从而使膜受伤害的程度减轻[13]，SOD 和 POD 是活性氧清除酶系统中重要的保护酶，其活性的变化能反映细胞清除活性氧的能力[14]。大量研究表明，小麦在水分胁迫下，抗氧化酶的活性呈上升的趋势[15][16]。本实验结果表明，当地热水稀释四倍，即为 1/4 浓度时，可以有效促进 SOD 以及 POD 活性，但当浓度升高时没有表现出两者活性的增加，这可能是由于小麦对水分胁迫十分敏感，起初酶活性升高是受低浓度胁迫自身调节所致，随着胁迫浓度的升高，其受伤害程度增大，不能再有效的产生抗氧化酶。

总之，低浓度的地热水可促进小麦的萌发和幼苗的生长，这可能与地热水含有较高浓度的硼、硅、锶、碘、溴等多种微量元素有关，但随着地热水浓度的增高则表现出渗透胁迫，结合以上数据，可以采用将地热水用可浇灌用水稀释的方法用于农业生产，但我们的实验仅对地热水的短期处理进行了研究，长期使用地热水是否会对农业生产产生影响？是否会影响农作物的品质？基于目前地热水的大量使用，这方面的问题亟待进一步研究。

## 基金项目

山东省自然科学基金(ZR2013CL006), 山东省高等学校科技计划项目(J13LE12)。

## 参考文献 (References)

- [1] Yan, S.Q., Liu, G.Y., Meng, Q.F., *et al.* (2001) Geothermal Resources Characteristics and Its Exploitation Future in Dezhou City. *Geology of Shandong*, **17**, 48-52.
- [2] Zhang, Q. and Tan, H.B. (2014) Impacts of Typical Harmful Elements in Geothermal Water on River Water Quality in Tibet. *Water Resources Protection*, **30**, 23-29.
- [3] Wang, L.Y. (2010) Effects of Exogenous Silicon on Germination of Glycine Soja under Salt Stress. *Soybean Science*, **29**, 906-908.
- [4] Li, H.S. (2000) Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment. Higher Education Press, Beijing, 167-168.
- [5] Zhang, Z.L. (2016) Experimental Guide Book to Plant Physiology. Higher Education Press, Beijing, 100-101, 125-126, 218-219.
- [6] Li, L., Mao, H.L., Shen, X.Y., *et al.* (2013) Effect of Detergent on Seed Germination and Growth and Some Biochemical Genetic Index of Wheat. *Journal of Toxicology*, **27**, 54-57.
- [7] Wang, L.Y. and Zheng, S.Y. (2009) Effect of Cadmium, Lead and Their Combined Pollution on Seed Germination of Wheat. *Journal of Triticeae Crops*, **29**, 146-148.
- [8] Meng, X.H., Liu, Y.G., Zhang, Y.M., *et al.* (2015) Responses of Antioxidant Properties and Root Activity of Different Wheat Varieties to Salt Stress at Seedling Stage. *Journal of Triticeae Crops*, **35**, 1168-1175.
- [9] Huang, C.B., Zeng, F.J. and Lei, J.Q. (2014) Comparison of Drought Resistance among Three Callignum in the Southern Fringe of the Taklamakan Desert. *Acta Prataculturae Sinica*, **23**, 136-143.
- [10] Dacosta, M. and Huang, B.R. (2007) Changes in Antioxidant Enzyme Activities and Lipid Peroxidation for Bentgrass Species in Response to Drought Stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **132**, 319-326.
- [11] Larson, R.A. (1988) The Antioxidants of Higher Plants. *Phytochemistry*, **27**, 969-978.
- [12] Bowler, C., Van Montagu, M. and Inze, D. (1992) Superoxide Dismutase and Stress Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, **43**, 83-116.
- [13] Sairam, R.K., Vasanthan, B. and Arora, A. (2011) Calcium Regulates Gladiolus Flower Senescence by Influencing Antioxidative Enzymes Activity. *Acta Physiologiae Plantarum*, **33**, 1897-1904.
- [14] Wang, Y., Di, X.Y., Ma, J.P., *et al.* (2009) Drought Resistance of Seedlings of Eight Provenances of Chinese Pine. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, **29**, 46-50.
- [15] Zhang, X.H., Huang, C.L., Shen, Y.Y., *et al.* (2001) Research Progress in Plant Drought-Resistant Gene-Engineering. *Biotechnology Information*, **4**, 21-25.
- [16] Fei, M.H. (2011) Effect of Water Stress on Seeding Growth and Antioxidant Ability of Wheat. *Journal of Jilin Normal University*, **32**, 43-44.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

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

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)