

黔中废弃煤矿区酸性排水污染特征及对作物种苗生长的影响

王 慧, 刘 方*

(贵州大学资源与环境工程学院, 贵阳 550003)

摘 要:通过对贵阳市花溪区麦坪乡废弃煤矿区酸性排水进行样品收集与分析,探讨煤矿酸性排水的污染特征及对作物种苗生长的影响。研究表明,在煤矿附近 50~350 m 距离内溪沟水 pH 变化达 2.35~6.3,污染物主要以 SO_4^{2-} 、Fe、Mn 为主;矸石堆洼地蓄积水完全抑制两种植物的萌发;距井口 50 m 溪沟水和距井口 30 m 农田水处理油菜都表现为种子发芽后发霉死亡;距井口 100 m 处溪沟水和距井口 30 m 农田水处理油菜和水稻的种子发芽率、幼苗鲜重和干重、发芽指数和简化活力指数与对照(蒸馏水处理)之间均存在极显著差异($P<0.01$)。煤矿酸性排水胁迫下,水稻各项指标变幅低于油菜,说明物种耐性强度为水稻>油菜。

关键词:煤矿酸性排水;水稻;油菜;萌发

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)06-1051-07

Pollution Characteristics of Acid Drainage Within an Abandoned Coal Mine Area in Central Guizhou Province and Its Effects on Plant Seedlings Growth

WANG Hui, LIU Fang*

(College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: Coal mine acid drainage was collected and analyzed in abandoned coal mine area from Maiping Township of Huaxi District, Guiyang City to study the pollution characteristics and its effects on the growth of plant seedlings. The results showed that pH value scope of the river was 2.35 ~ 6.30 and main pollutants in the river were SO_4^{2-} , Fe and Mn in 50~350 meters of distance away from coal mine wellhead. The germination test showed that seed germination of rice and rape was remarkably inhibited when the seeds were treated by accumulated water in the low-lying area of gangue yard. All rape seeds treated by river water in 50 meters of distance or paddy water in 30 meters of distance away from the coal mine wellhead were moldy and then died after germination. The values of germination energy, seedlings' fresh weight and dry weight, germination index and vigor index of two varieties treated by river water in 100 meters of distance or paddy water in 30 meters of distance away from coal mine wellhead reached significant difference level ($P<0.01$) compared with the control treatment (distilled water). The amplitude differences of index of rice seeds were lower than those of rape. The experiment data suggested that rice had stronger fastness than rape under the impact of coal mine acid drainage.

Keywords: coal mine acid drainage; rice; rape; germination

煤是贵州最重要的能源矿产,在贵州经济发展中具有显著作用^[1]。煤炭开采过程中产生大量煤矸石及

酸性排水,对周边溪流及农作物产生严重影响,成为当地的主要环境问题^[2-3]。目前,关于煤矿酸性排水对河流水质的影响研究得较多^[4-5],但对煤矿酸性排水影响作物种苗生长的研究相对较少,本实验以贵阳市花溪区麦坪乡废弃煤矿酸性排水为研究对象,以抗酸雨植物水稻和敏感性植物油菜的种子为试验材料^[6],研究煤矿酸性排水对其萌发过程的差异反应,旨在了解煤矿酸性排水对农作物的伤害机理,为煤矿区污染土

收稿日期:2010-12-02

基金项目:贵阳市科技局“阿哈水库流域煤矸石堆场植被恢复技术研究”[(2009)筑科农合同字第 3-041 号]

作者简介:王 慧(1982—),女,贵州安顺人,在读硕士,研究方向为环境污染控制技术。E-mail:wanghui2419@163.com

* 通讯作者:刘 方 E-mail:lfang6435@163.com

壤改良及治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究区所在地为贵州省贵阳市花溪区麦坪乡,该区属低山地貌,主要土壤类型为黄壤,山上生长有马尾松和油茶树。年平均气温 14.9℃,年降雨量为 1 100~1 200 mm^[7]。麦坪乡是花溪区的重要产煤区,历史上曾拥有大小煤窑 200 余口,1996 年该乡通过煤窑整治后还有 62 口,年产煤 70 余万 t。目前,麦坪乡仅存 22 口符合国家要求的煤井,年产量也降至 30 万 t。麦坪乡关闭的煤矿经过多年开采,废弃的煤矸石堆积对环境造成明显的影响^[8],其酸性排水直接影响到周围农田,导致当地农作物减产,废弃的煤矸石堆除占用大量土地外,矸石堆放过程中大量的重金属迁移又对周边农田产生严重的影响,对环境的污染和生态的破坏更为严重。

1.2 样品采集与分析

本实验水样于 2010 年 4 月采集于贵阳市花溪区麦坪乡,水样采集以矿井为中心沿溪流方向,按离矿井口距离不同设置采样点,采集离矿井口 350 m 范围内的溪沟水体和引用酸性排水灌溉的农田水,所采水样用 0.45 μm 滤膜过滤后对其进行分析,pH 采用玻璃电极法测定,电导率采用电导率仪法测定,SO₄²⁻采用铬酸钡比色法测定,Fe、Mn 采用原子吸收分光光度法测定,Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr 等重金属用 ICP-MS 测定。

1.3 植物毒性试验

选取籽粒饱满、粒径大小相近的油菜和水稻种子,用 0.05% 的高锰酸钾溶液消毒 30 min,去离子水

漂洗数次后用吸水纸吸去种子表面的水分,从中取 20 粒均匀排列在直径 90 mm、铺有 2 层滤纸的培养皿中,用采集的水样进行培养,每处理 3 次重复,蒸馏水为对照,每天更换一次。把培养皿移至 GXZ 型光照培养箱,温度设定(25±0.5)℃,每天 12 h 光照培养,观察记录种子萌发和生长情况,第 7 d 测定幼苗鲜重及干重^[9]。发芽以突破种皮的胚轴长度达到种子自身的长度为标准,每天统计发芽的种子数^[9]。

实验测定指标:

①种子发芽势=发芽初期(规定日期内)正常发芽粒数/供检种子粒数×100,以第 3 d 发芽种子数计算。

②种子发芽率=发芽终期(规定日期内)全部正常发芽粒数/供检种子数×100,以第 7 d 发芽种子数计算。

③鲜重,电子天平直接称量 2 个品种幼苗鲜重。

④干重,将 2 个品种幼苗放置在 80℃的恒温箱中烘干至恒重,电子天平直接称重。

⑤发芽指数(GI)=Σ(Gt/Dt),Gt 为总的发芽粒数,Dt 为相应的发芽所需天数。

⑥简化活力指数(VI)=GI×S,S 为第 7 d 单株幼苗平均鲜重^[10]。

1.4 数据统计与分析

所有数据均采用 DPS 2000 统计软件包 Duncan 新复极差法分析^[11]。

2 结果与分析

2.1 废弃煤矿区酸性排水的污染特征

表 1 为所采集煤矿酸性排水的化学指标检测值,可知关闭煤矿区溪流水体中污染物浓度与矿进口距离有关:在关闭煤矿区附近 50~150 m 范围内,水体 pH 值达 2.35~5.18,SO₄²⁻、Fe、Mn 的浓度分别达

表 1 水化学指标检测值
Table 1 The detection of chemical index

取样地点	pH	电导率	SO ₄ ²⁻	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Cr
矸石堆场洼地积水	2.35	4 120	2 772.25	388.28	94.54	4.308	6.258	0.009	0.080	0.650	1.224
离井口 50 m 溪沟	2.94	3 550	2 090.75	231.92	5.27	0.032	0.197	0.001	0.002	0.004	0.044
离井口 100 m 溪沟	3.23	4 060	2 318.75	10.07	35.91	0.069	0.327	0.013	0.007	0.011	0.016
离井口 150 m 溪沟	5.18	1 460	551.50	26.58	9.15	0.060	0.043	0.001	0.001	0.001	0.002
离井口 350 m 溪沟	6.30	1 930	840.40	0.58	20.30	0.004	0.012	0.001	—	0.001	0.001
离井口 30 m 稻田	3.50	1 068	985.00	22.30	14.40	0.190	0.870	0.004	0.003	0.011	0.015
离井口 80 m 稻田	4.40	1 011	28.00	7.86	3.56	0.030	0.180	0.002	0.001	0.006	0.001
离井口 150 m 稻田	6.00	1 206	21.00	7.83	7.43	0.010	0.080	0.001	—	—	0.002
离井口 300 m 稻田	6.50	1 587	18.00	11.10	15.60	0.010	0.100	0.002	0.001	0.001	—

注:电导率的单位为 μS·cm⁻¹,pH 无量纲,其他均为 mg·L⁻¹,“—”为未检出。

551.50~2 772.25、10.07~388.28、5.27~94.54 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 随着距离的增加, 水体 SO_4^{2-} 、Fe、Mn 等浓度也不断下降。受煤矿酸性排水的影响, 煤矿区附近农田水受到一定程度的污染, 在 30~150 m 范围内, 其 pH 值达 3.50~6.00。

以《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)及农田灌溉水质标准(GB 5084—1992)为标准进行评价, 在关闭煤矿区附近 150 m 范围内, 溪流水体 pH 值较低, 水体出现明显酸化, pH 达 2.35~5.18, SO_4^{2-} 浓度达 551.5~2 772.25 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; Fe、Mn 浓度分别为 10.07~388.28 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、5.27~94.54 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 矸石堆场洼地蓄积水 Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr 浓度分别达 4.308、6.258、0.013、0.080、0.650、1.224 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 超过地表水环境质量标准 V 类水质或农田灌溉水质标准限值。受煤矿酸性排水的影响, 农田水体受到一定程度的污染, 煤矿区附近 30~80 m 范围内, 农田水体 pH 达 3.5~4.4。可见, 引用煤矿酸性排水为农田灌溉水会对水稻田产生一定程度的污染, 使农田水体 pH 降低, SO_4^{2-} 、Fe、

Mn 等含量增加。

2.2 废弃煤矿区酸性排水对植物种苗生长的影响

2.2.1 对水稻和油菜种子发芽的影响

发芽率是反映种子品质优劣的重要指标^[12]。由图 1 可知, 矸石堆洼地蓄积水处理水稻和油菜二者发芽势和发芽率均为零, 表现为种子发霉, 试验期结束未见萌动; 距进口 50 m 处溪沟水处理油菜和水稻种子前 3 d 有发芽现象, 到试验期结束完全发霉死亡; 在距井口 100 m 处, 溪沟水体处理二者两项指标与对照(蒸馏水处理)之间存在极显著差异 ($P < 0.01$), 油菜种子发芽后相继发霉死亡, 其中油菜二项指标降幅为 100%、35.48%, 水稻为 15%、15%, 降幅为油菜 > 水稻; 距井口 30 m 处, 受污染农田水体处理二者发芽势和发芽率与对照相比均达到极显著差异 ($P < 0.01$), 其中油菜发芽率为 0, 表现为种子发芽后随即发霉死亡, 随着离井口距离的增加, 溪沟水体和农田水体处理二者发芽势和发芽率均成增加趋势, 在距井口 150 m 处的溪沟水体处理油菜和水稻两项指标达最大值

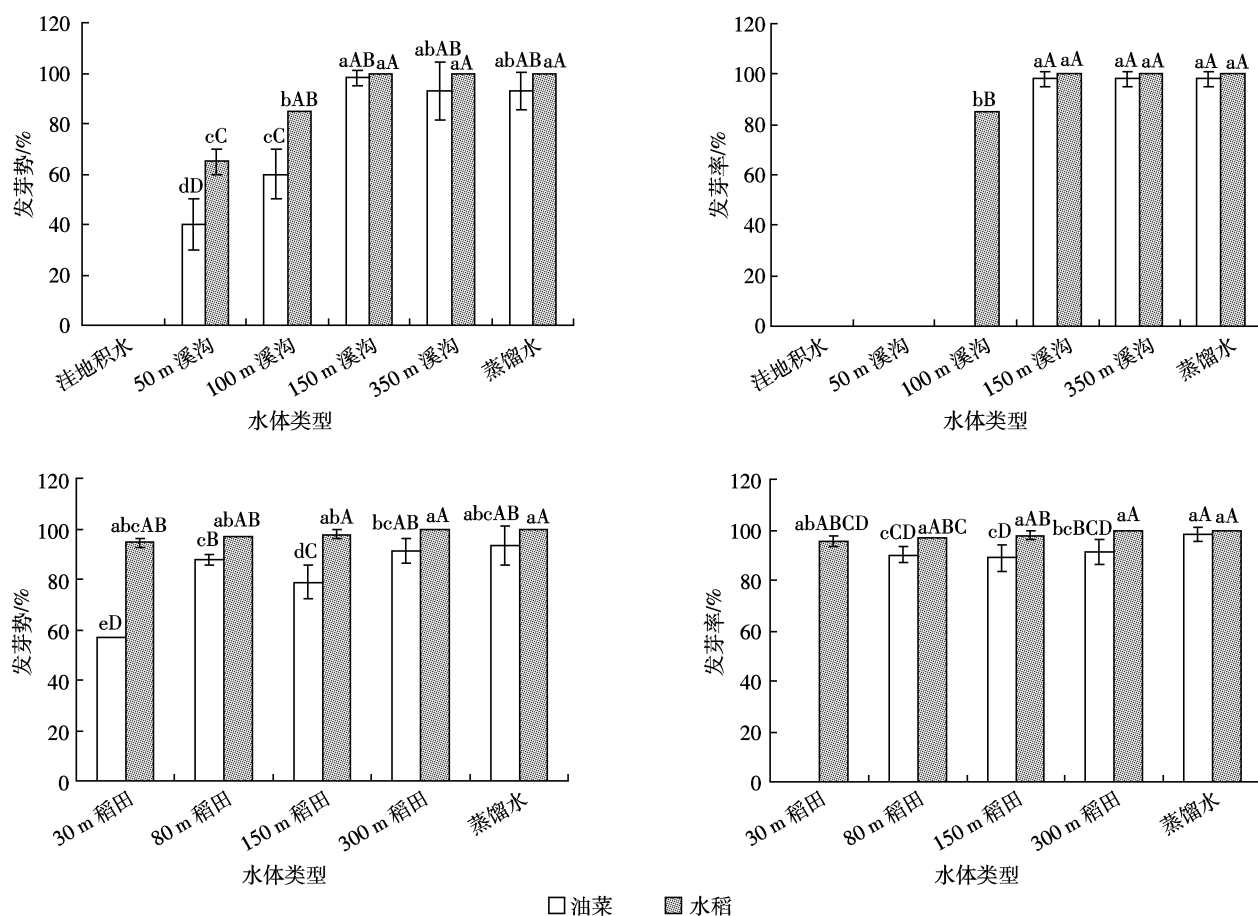


图1 煤矿区酸性排水对油菜和水稻发芽的影响

Figure 1 Effect of coal mine acid drainage on rape and rice germination energy

98%。

2.2.2 对水稻和油菜根长和芽长的影响

由图 2 可知,随着距井口距离的增加,溪沟水和农田水处理二者根长和芽长呈逐渐增加趋势,在距井口 100 m 处,溪沟水体处理二者两项指标与对照(蒸馏水处理)之间存在极显著差异($P<0.01$),两项指标降幅水稻分别为 93.73%、49.77%,油菜为 100%、100%;距井口 30 m 处,农田水处理二者两项指标与对照(蒸馏水处理)之间存在极显著差异($P<0.01$),农田水处理水稻两项指标降幅分别为 71.12%、16.96%,油菜为 100%、100%,降幅油菜>水稻。

2.2.3 对水稻和油菜幼苗鲜重和干重的影响

由图 3 可知,不同处理对油菜和水稻的鲜重和干重的影响与对照相比均达极显著水平($P<0.01$)。在距井口 100 m 处,溪沟水体处理二者两项指标与对照(蒸馏水处理)之间存在极显著差异($P<0.01$),水稻两项指标降幅分别为 62.56%、65.85%,油菜为 100%、100%;在距井口 30 m 处,受污染农田水处理水稻和

油菜与对照(蒸馏水处理)存在极显著差异($P<0.01$),溪沟和农田水处理二者降幅均为油菜>水稻。之后,随着与井口距离的增加,二者幼苗鲜重和干重呈增加趋势,距井口 300 m 处,溪沟水体处理油菜和水稻两项指标均达最大值(油菜为 0.041 5、0.003 5 g,水稻为 0.021 6、0.004 1 g)。

2.2.4 对水稻和油菜发芽指数和活力指数的影响

发芽指数与活力指数是反映种子活力的综合指标,活力低的种子抗逆能力弱,而且出苗率也低,种子活力比常规发芽率的测定更可以反映种子在实际条件下萌发速度和整齐度以及幼苗健壮生长的潜势^[12]。由图 4 可知,无论是溪沟水还是农田水处理油菜和水稻两项指标变化与发芽率变化近同,在距井口 100 m 处,溪沟水体处理二者两项指标与对照(蒸馏水处理)之间存在极显著差异($P<0.01$),水稻两项指标降幅分别为 7.13%、64.44%,油菜为 61.64%、100%,均与对照(蒸馏水处理)差异明显,但降幅为油菜>水稻。在距井口 80 m 处,农田水处理二者两项指标与对

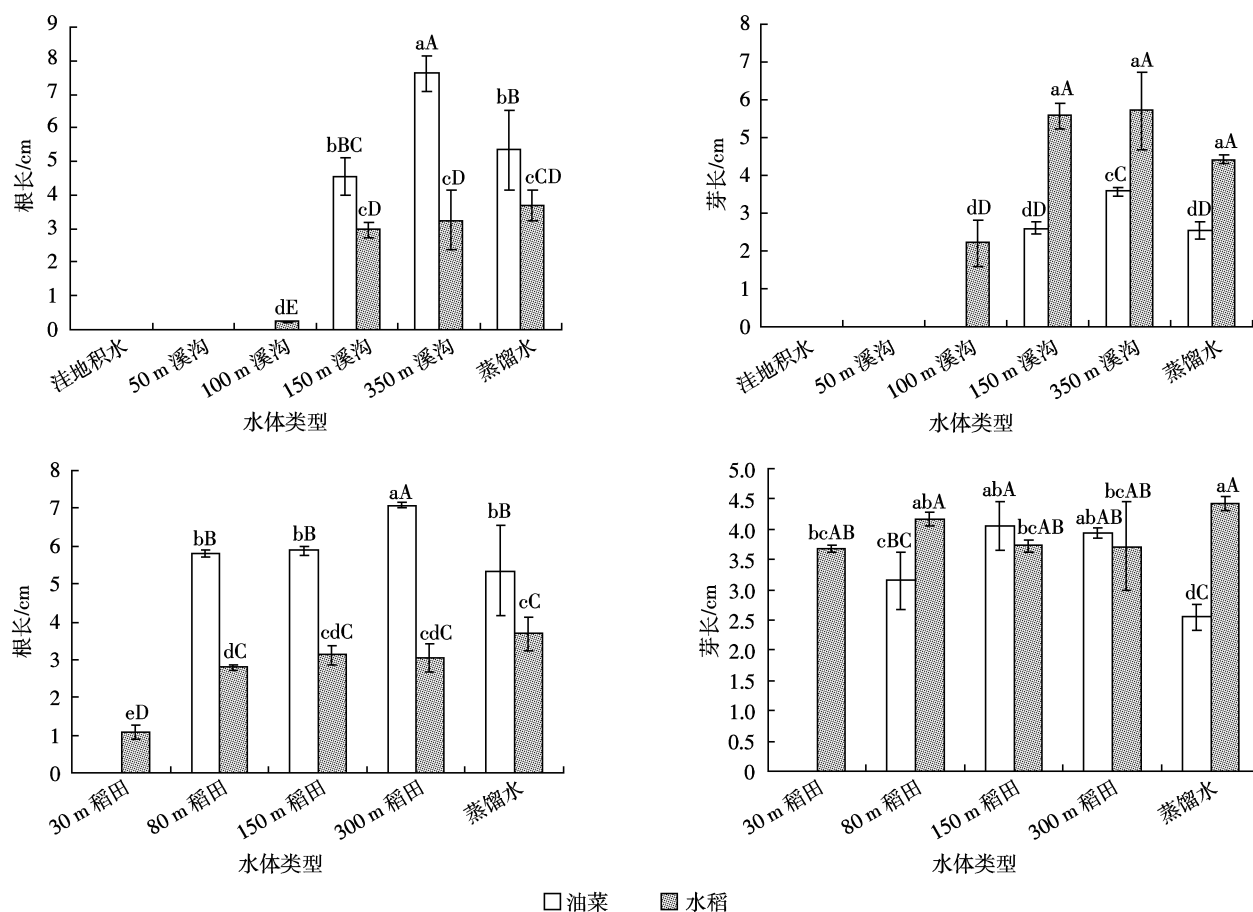


图 2 煤矿区酸性排水对油菜和水稻根长和芽长的影响

Figure 2 Effect of coal mine acid drainage on roots and buds long of rape and rice

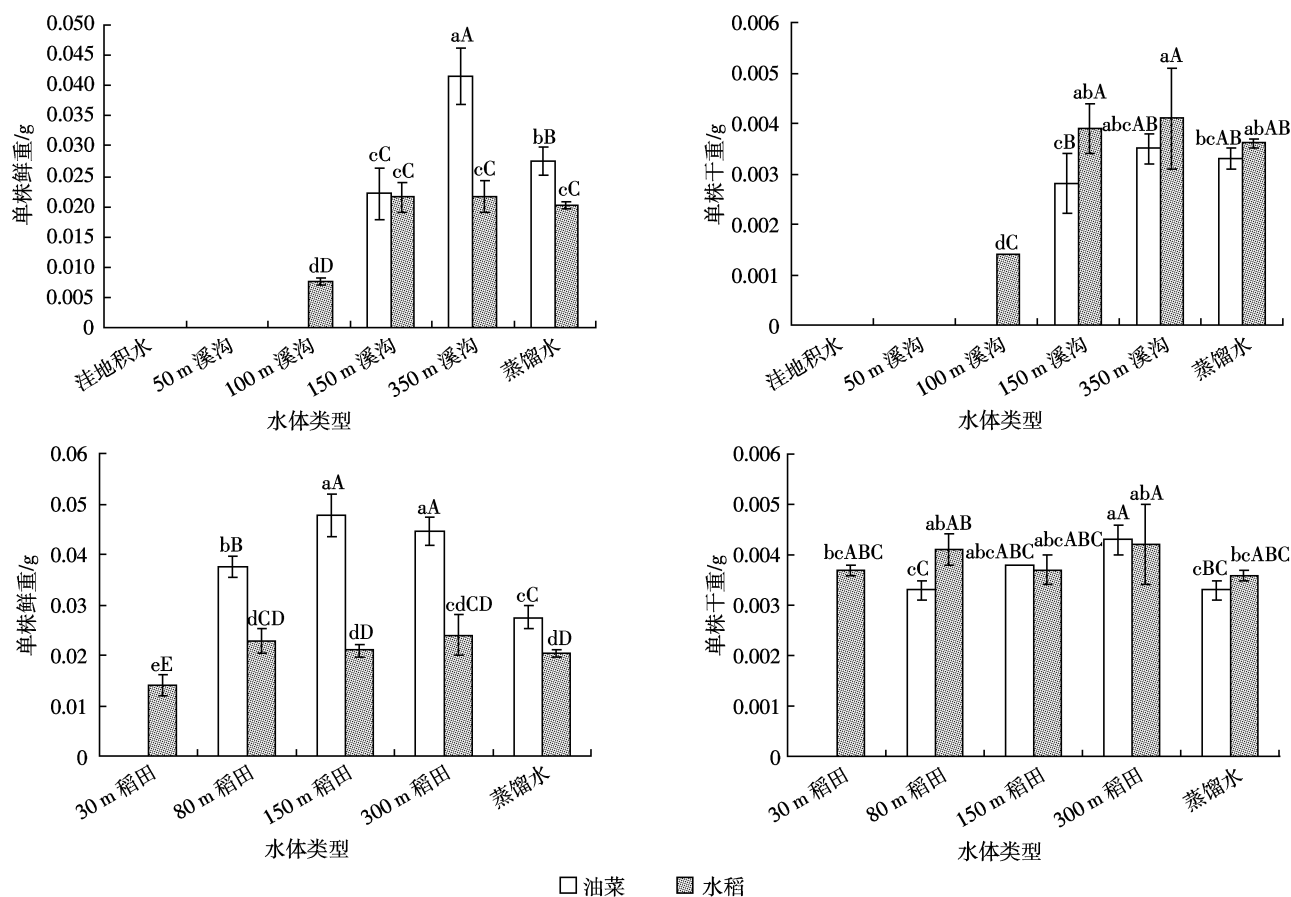


图3 煤矿区酸性排水对油菜和水稻单株鲜重和干重的影响

Figure 3 Effect of coal mine acid drainage on seedlings' fresh weight and dry weight of rape and rice

照(蒸馏水处理)之间存在极显著差异($P<0.01$),同样与对照(蒸馏水处理)差异明显,且降幅为油菜>水稻(油菜为50.74%、76.37%,水稻为45.59%、50.63%)。

3 讨论

(1)矸石堆洼地积水处理油菜和水稻均不发芽,从理化指标来看,矸石堆洼地蓄积水有pH低、其他重金属含量高等特点,造成这种毒害效应的原因可能是酸强度过高或者重金属的影响^[4],引起胚细胞死亡。

(2)随着距井口距离的增加,溪沟水和农田水处理二者各项指标均呈逐渐增加趋势,从处理理化指标来看,随着距井口距离的增加,溪沟水和农田水pH逐渐增加,说明处理液pH可能是影响二者根长及芽长的主要因素^[10]。溪沟水和农田水处理油菜和水稻各指标与对照相比降幅均为油菜>水稻,说明水稻耐性大于油菜。

(3)有研究表明,在酸胁迫下,水稻阈限为pH 3.0~3.5,油菜为pH 3.5~5.0^[10],可见无论是溪沟水和还是农田水处理油菜和水稻影响其幼苗萌发及生长的

原因也可能是pH或者其他微量元素^[13-15]。距井口350 m溪沟水处理有部分种子萌发和生理指标高于对照(蒸馏水处理),可能是煤矿酸性排水中的元素为植物种苗生长提供营养。

4 结论

(1)在关闭煤矿区周围150 m范围内,酸性排水pH变化范围达2.35~5.18,主要污染物为 SO_4^{2-} 、Fe、Mn。 SO_4^{2-} 变化范围达551.5~2 772.25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,Fe、Mn浓度分别为10.07~388.28 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、5.27~94.54 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$;矸石堆场洼地蓄积水Cu、Zn、Pb、Cd、As、Cr浓度分别高达4.308、6.258、0.013、0.080、0.650、1.224 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,超过地表水环境质量标准V类水质或农田灌溉水质标准限值,属劣V类水体。随着距离的增加,水体 SO_4^{2-} 、Fe、Mn等浓度也不断下降。

(2)受煤矿酸性排水的影响,农田水体受到一定程度的污染,煤矿区附近30~80 m范围内,农田水体pH达3.5~4.4,水体pH降低, SO_4^{2-} 、Fe、Mn等含量增加。

(3)矸石堆洼地蓄积水完全抑制两种植物的萌发;

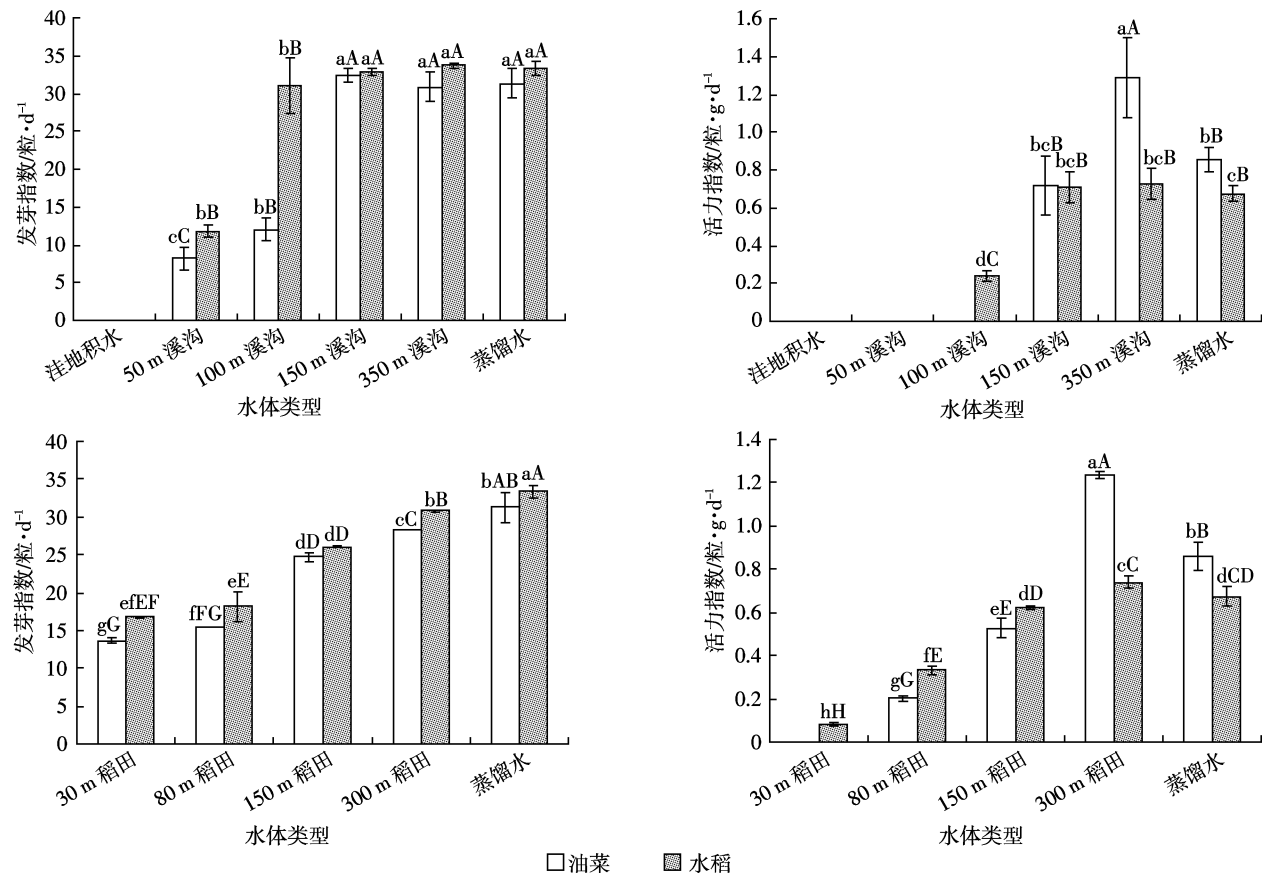


图4 煤矿区酸性排水对油菜和水稻发芽指数和活力指数的影响

Figure 4 Effect of coal mine acid drainage on germination index and vigor index of rape and rice

距井口 50 m 溪沟水和距井口 30 m 农田水处理油菜都表现为种子发芽后继而发霉死亡;在距井口 100 m 处,溪沟水体处理油菜和水稻发芽率、发芽势、幼苗鲜重、干重、发芽指数和活力指数与对照(蒸馏水处理)之间均存在极显著差异($P<0.01$);距井口 30 m 处,农田水处理油菜和水稻发芽率、发芽势、幼苗鲜重、干重、发芽指数和活力指数与对照(蒸馏水处理)之间同样存在极显著差异($P<0.01$)

参考文献:

- [1] 倪师军, 李 珊, 李泽琴, 等. 矿山酸性废水的环境影响及防治研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(5): 502-508.
NI Shi-jun, LI Shan, LI Ze-qin, et al. Progress in the research of acid mine drainage impact and remediation[J]. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(5): 502-508.
- [2] 岳 梅, 赵峰华, 任德怡. 煤矿酸性水水化学特征及其环境地球化学信息研究[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(3): 46-49.
YUE Mei, ZHAO Feng-hua, REN De-yi. The environment geochemistry information of the coal mine acid mining drainage[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2004, 32(3): 46-49.
- [3] Hazen J M, Williams M W, Stover B, et al. Characterisation of acid mine drainage using a combination of hydrometric, chemical and isotopic analyses, Mary Murphy mine Colorado[J]. *Environ Geochem Health*, 2002, 24: 1-22.
- [4] 邓为难, 刘 方, 张 玲, 等. 麦坪乡关闭煤矿区河流底泥污染物释放对上覆水水质的影响[J]. 广西轻工业, 2009, 122(1): 81-82.
DENG Wei-nan, LIU fang, ZHANG ling, et al. Effect of contaminant release from river bottom overlying water quality in a abandoned coal mine at Maiping village[J]. *Guangxi Journal of Light Industry*, 2009, 122(1): 81-82.
- [5] 宋晓梅, 周晓燕. 煤炭开采对矿区环境的影响及保护对策[J]. 环保技术, 2004, 23(1): 5-7.
SONG Xiao-mei, ZHOU Xiao-yan. The effect and protective counter-measures of coal mining on mine area environment[J]. *Coal Technology*, 2004, 23(1): 5-7.
- [6] 冯宗炜, 曹洪法, 周修萍, 等. 酸沉降对生态环境的影响及其恢复技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 2-3.
FENG Zong-wei, CAO Hong-fa, ZHOU Xiu-ping, et al. The Effect of acid precipitation on environment and its recovery technology[M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1999: 2-3.
- [7] 魏 巍, 刘 方, 向仰州. 贵阳市花溪麦坪煤矿废弃地植被调查与分析[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2009, 26(2): 132-135.
WEI Wei, LIU Fang, XIANG Yang-zhou. The vegetation investigation and analysis of coal mine abandons in Maiping of Huaxi District[J].

- Journal of Guizhou University(Natural Science)*, 2009, 26(2):132-135.
- [8] 黄婷, 董召荣, 宋贺, 等. 模拟酸雨对紫花苜蓿种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 种子, 2007, 26(4):21-24.
- HUANG Ting, DONG Zhao-rong, SONG He, et al. Effects of simulated acid rain on seed germination and seedling physiological characteristics of *Medicago sativa*[J]. *Seed*, 2007, 26(4):21-24.
- [9] 孟红梅, 韩多红, 李彩霞, 等. 酸雨对板蓝根种子萌发的影响[J]. 种子, 2007, 26(8):5-7, 12.
- MENG Hong-mei, HAN Duo-hong, LI Cai-xia, et al. Effects of simulated acid rain on seed germination of *isatis indigotica* fort[J]. *Seed*, 2007, 26(8):5-7, 12.
- [10] 曾庆玲, 张光生, 沈东兴, 等. 水稻与油菜种子萌发对酸雨的胁迫反应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5):921-925.
- ZENG Qing-ling, ZHANG Guang-sheng, SHEN Dong-xing, et al. Effect of acid rain on germination of rice and rape [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(5):921-925.
- [11] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002:35-46.
- TANG Qi-yi, FENG Ming-guang. Practical application of statistics analysis and data treatment system[M]. Beijing: Science Press, 2002: 35-46.
- [12] 陶丽华, 杨国栋, 周青. 不同水稻品种种子萌发对酸雨胁迫的响应[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(3):566-569.
- TAO Li-hua, YANG Guo-dong, ZHOU Qing. Responses of seed germination of different varieties of rice to the acid rain stress [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3):566-569.
- [13] 陶玲, 任军, 祝广华, 等. 重金属对植物种子萌发的影响研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊):52-57.
- TAO Ling, REN Jun, ZHU Guang-hua, et al. Advance on the effects of heavy metals on seed germination[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl):52-57.
- [14] 韩多红, 孟红梅. 重金属镉对阿尔冈金和金皇后种子发芽和出苗的影响[J]. 种子, 2006, 25(10):71-72.
- HAN Duo-hong, MENG Hong-mei. Effects of cadmium on Algonquin and Golden-Empress seeds germination and seedling growth[J]. *Seed*, 2006, 25(10):71-72.
- [15] 朱子清, 肖昕, 魏欣, 等. 重金属 Pb、Zn、Cd 对小麦出芽的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16):7378-7379.
- ZHU Zi-qing, XIAO Xi, WEI Xin, et al. Influences of Pb, Zn, Cd on budding of wheat[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2009, 37(16):7378-7379.