

潘平平 邓开野 关富华 等. 空调系统微生物种类分析及其温湿度控制[J]. 环境科学与技术 2014 37(4) 85-89. Pan Pingping, Deng Kaiye, Guan Fuhua, et al. Microbial species analysis and temperature and humidity control in air conditioning system[J]. Environmental Science & Technology 2014 37(4) 85-89.

空调系统微生物种类分析及其温湿度控制

潘平平¹, 邓开野^{2*}, 关富华², 丁力行²

(1.仲恺农业工程学院轻工食品学院; 2.仲恺农业工程学院人工环境与控制研究所 广东 广州 510225)

摘 要 :以空调通风系统内的积尘伴生微生物为研究对象,对细菌和真菌进行分类鉴定,并通过对其施加不同程度的温湿度干扰,研究空调系统微生物在不同温湿度条件下的生长状况。结果表明,空调通风系统中的积尘伴生细菌 G⁺细菌占 55% ,G⁻细菌占 45% ,且主要为致病菌,这些细菌在 20~35 ℃、30%~90% RH 范围内生长活跃,且随着温度升高和相对湿度增加生长繁殖明显加快,当相对湿度大于 80% 则更有利于细菌的生长。空调系统积尘伴生真菌有 6 种,曲霉属、青霉属、枝孢菌属为优势菌,这些真菌可引起过敏反应和霉变,在 15~30 ℃下生长活跃,且在高湿条件下生长良好,相对湿度大于 60%真菌生长迅速加快。因此,可通过调节温湿度来控制空调系统中的微生物污染,空调内部温度设置在 20~30 ℃,相对湿度设置 30%~60%,可从根本上破坏和消除微生物的滋生条件,有效抑制微生物的生长。

关键词 空调系统; 微生物污染; 温湿度

中图分类号 X172 文献标志码 A doi :10.3969/j.issn.1003-6504.2014.04.017 文章编号 :1003-6504(2014)04-0085-05

Microbial Species Analysis and Temperature and Humidity Control in Air Conditioning System

PAN Pingping¹, DENG Kaiye^{2*}, GUAN Fuhua², DING Lixing²

(1.College of Light Industry and Food ;2.Institute of Built Environment & Control ,Zhongkai University of Agriculture and Engineering ,Guangzhou 510225 ,China)

Abstract : Microbe associated with dust of the air-conditioning ventilation system as the research object was classified and identified. The bacterial and fungi growth in different temperatures and humidity were observed. Results showed that gram-positive bacteria accounted for 55% and gram-negative bacteria accounted for 45% in total bacteria , with pathogens as dominant species. The bacteria of air conditioning ventilation systems were active growth in the temperature range from 20 ℃ to 35 ℃ and the relative humidity range from 30% to 90%. When temperature and relative humidity increased , the growth of bacteria significantly speeded up. Moreover , the bacteria grew faster when the relative humidity was greater than 80%. Six kinds of fungi , which can cause allergic reactions and mildew , were detected in the air-conditioning ventilation systems , with *Aspergillus* , *Penicillium* and *Cladosporium* as the dominant bacteria strain. These fungi were actively growing with high humidity and temperature between 15 ℃ and 30 ℃. When the relative humidity was greater than 60% , the fungal growth accelerated rapidly. So the bacterial contamination of air-conditioning system can be controlled by adjusting the temperature and humidity. Internal temperature of air conditioning between 20~30 ℃ and relative humidity from 30% to 60% can effectively inhibit the growth of microorganisms by undermining and eliminating the breeding conditions for microorganisms fundamentally.

Key words : air conditioning system ; microbial contamination ; temperature and humidity

随着工业的快速发展和人民生活水平的提高,空调的使用越来越广泛。它不仅给人们的生活提供了舒适的环境,而且为工业生产、科学研究提供了必要的

温湿度条件。然而,空调所带来的室内微生物污染也是不可忽视的^[1]。近年来,国内外学者对空气调节系统内部的微生物污染状况进行了大量的研究,在空调的

《环境科学与技术》编辑部 (网址)http://tjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@126.com

收稿日期 2013-05-29,修回 2013-08-20

基金项目 国家自然科学基金项目资助(51178477)

作者简介 潘平平(1986-)女,在读硕士研究生,主要从事环境和食品微生物污染研究与控制 (电子信箱)panpingping1030@163.com * 通讯作者 (电话)020-89013233(电子信箱)dengkaiye1968@126.com。

过滤网、蒸发器、冷凝器、乘水盘、进出风口(栅栏)上均有不同种类微生物的检出,且有相关研究者指出,室内空气污染物约有 20%来自空调通风系统^[2-5]。由于目前大多数空调系统采用的是间歇运行的模式,停机期间,温度回升,凝结在盘管、冷凝器等部位上的水分(霜)开始蒸发,湿度也不断上升,导致空调内部长处于潮湿状态,这给微生物的繁衍提供了良好的场所。一些病原微生物(如致敏真菌、大肠杆菌等)进入空调系统后大量繁殖,产生致病菌体或有害代谢物,并随气流进入到室内,以微生物气溶胶的形式在空气介质中传播,给长期工作和生活 indoors 的人们的健康和食品的质量与安全造成极大的危害^[6-7]。因此,采用合适的手段控制其发生与传播,是当前亟待解决的重大科学问题。

目前对空调系统微生物的控制尚未有相当成熟的措施,研究上一般采用 5 种方法:加强对空调的清洗、过滤器滤除^[8]、紫外辐射、臭氧杀菌和纳米 TiO_2 光催化剂^[9]。这些措施的除菌效果都不错,其应用价值也一定程度上受到了人们的肯定,然而其局限性也是显而易见的。首先,这些技术手段主要针对分散式空调,难以推广到集中式空调系统上;其次,这些技术方法成本较高,普遍应用还难以实现;再次,这些技术方法忽略了环境对微生物的影响。如果能从微生物自身着手,全方位考虑破坏或消除其滋生的条件如温度、湿度等,切断空调系统所有潜在的污染传播途径,从根本上控制微生物滋生,对于解决空调系统微生物污染将具有十分重要的意义。

本研究以空调通风系统中的积尘伴生微生物为代表,对其进行分类鉴定,并探讨微生物的数量随不同温湿度处理变化的动态过程,进而建立空调系统积尘伴生微生物与温湿度之间的线性关系,为空调系统微生物污染的温湿度控制技术提供理论依据与实践基础。

1 材料与方法

1.1 对象

采取随机抽样的方法,对广州市内 6 家单位的空调通风系统取样,3 个大型超市 15 个点,3 个商务楼 15 个点。

1.2 材料

营养琼脂,沙氏琼脂,青岛海博生物技术有限公司;CX21FS1 型显微镜,日本 OLYMPUS 公司;LHS-100CH 型电热恒温恒湿培养箱,上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 样品采集

本研究以积尘伴生微生物为代表,拟选取空调系统通风系统中的积尘伴生微生物作为研究材料。参照《公共场所集中空调通风系统卫生规范》对空调过滤网内外侧、蒸发器、风机扇页表面以及通风管道内的积尘采用 Winttest 法(先用刷子刷掉再吸尘)取样,结合干燥法及沙土法,将原始积尘样品密封装于经灭菌处理的广口瓶中于室温环境下保存。

1.4 积尘样品中微生物的分析鉴定

将采集的积尘样品无菌操作称取 1 g,加入到 0.01% Tween-80 水溶液中,做 10 倍梯级稀释,取适宜稀释度的溶液 1 mL,倾注法接种到营养琼脂培养皿中,用作细菌培养,并将其置于 $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$ 培养 48 h,采用革兰氏染色法对细菌分类鉴定。取稀释溶液 1 mL 倾注法接种到沙氏琼脂培养皿中,做真菌培养,将其置于 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ 培养 5 d,利用电子显微镜根据形态鉴别到属,显微镜下观察采用乳酸石炭酸棉蓝染色法。

1.5 温湿度对空调系统中积尘伴生微生物生长的影响

从保存的空调系统积尘中称取等量的尘土,分别装入 50 mL 三角烧瓶中,用牛皮纸密封后放入恒温干燥箱中进行处理 24 h,模拟空调在不同的温湿度下开机 24 h 微生物的生长情况。

1.5.1 温湿度对细菌生长的影响

为了迎合细菌的生长条件,温度设置为 15、20、25、30、35、40、45、50 $^\circ\text{C}$;湿度设置为 30%、40%、50%、60%、70%、80%、90% RH。将处理后的样品移到无菌操作台中,根据需要分别加入不同量的无菌生理盐水,以达到不同的稀释倍数,摇匀,用无菌移液枪取 1 mL,倾注法分别接种至细菌培养皿,放入恒温培养箱中培养,细菌于 37 $^\circ\text{C}$ 培养 2 d。计算培养皿中的菌落数,记录结果并换算成 cfu/g。

1.5.2 温湿度对真菌生长的影响

为了迎合真菌的生长条件,温度设置为 15、20、25、30、35、40、45、50 $^\circ\text{C}$;湿度设置为 50%、60%、70%、80%、90% RH。将处理后的积尘样品无菌操作称取 1 g,加入到 0.01% Tween-80 水溶液中,做 10 倍梯级稀释,取适宜稀释度 1 mL 倾注法接种平皿,然后将接种真菌的沙氏琼脂培养基平皿置 28 $^\circ\text{C}$ 培养 5~7 d。计算培养皿中的菌落数,记录结果并换算成 cfu/g。

真菌主要是霉菌和少量的酵母菌,本研究主要针对霉菌。霉菌在同一培养基上的菌落形态和颜色等特征是相对稳定的,用肉眼观察菌落形态、颜色、以及在培养基上的颜色等,可直接用接种环挑取生长 3~4 d 的霉菌菌落在显微镜下观察,并纪录。显微镜下观察采用乳酸石炭酸棉蓝染色法。

2 结果与分析

2.1 空调系统微生物污染的实测结果

2.1.1 细菌的检测结果

由表 1 可知,通过革兰氏染色法对空调通风系统中积尘伴生细菌进行检测,其中 G⁺细菌占 55%,G⁻细菌占 45%,就形态来说,球菌为优势菌。这与侯娟娟^[10]对西安市某公共场所集中式通风空调系统的测试结果中革兰氏阳性细菌占细菌总数的 53%,革兰氏阴性细菌占细菌总数的 47%基本一致。

革兰氏染色法的鉴定结果显示细菌种类主要有大肠杆菌属、葡萄球菌属、链球菌属、奈瑟菌属,图 1 为检测出来的以上 4 种细菌的显微结构图。周世宁等^[11]

对香港地区空调室内环境微生物调查表明,空调室内气传细菌主要有葡萄球菌、微球菌、芽孢杆菌,其中葡萄球菌的检出率达 79%。不同地区因气候、环境等因素的不同,空调通风系统中细菌的种类也会有所不同。

表 1 空调通风系统中的积尘伴生细菌检测结果
Table 1 Test result of the dust associated bacteria in air-conditioning ventilation system

项目	分类	百分比/%
细菌	G ⁺	55
	G ⁻	45
	大肠杆菌属	31
	葡萄球菌属	28
	链球菌属	22
	奈瑟菌属	15
	其他	4

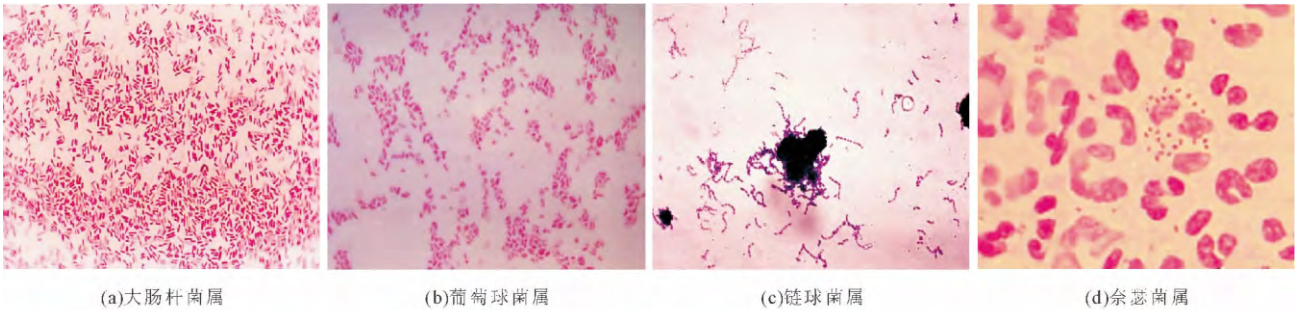


图1 空调通风系统中积尘伴生细菌的显微结构图
Fig.1 The microstructure of the dust associated bacteria in air-conditioning ventilation system

2.1.2 真菌的检测结果

由表 2 可知,采用乳酸石炭酸棉蓝染色法对空调通风系统中积尘伴生真菌进行检测,共发现 6 种真菌:曲霉属、青霉属、枝孢菌属、链格孢属、木霉属、毛霉属。其中以曲霉属、青霉属、枝孢菌属为优势菌属。图 2 为曲霉、青霉、枝孢霉的显微结构图。Pasanen 等^[12]对 24 所安装机械通风的家庭风管积尘调查发现,积尘中的真菌主要是枝孢菌属、青霉属、曲霉属和酵母菌;卢振等^[13]对哈尔滨两栋高层公共建筑送风管道的检测表明,风管积尘中的真菌主要是枝孢菌属、青霉属、曲

霉属、链格孢属和无孢属。

表 2 空调通风系统中的积尘伴生真菌检测结果
Table 2 Test result of the dust associated fungi in air-conditioning ventilation system

项目	分类	百分比/%
真菌	曲霉属	30.2
	青霉属	28.6
	枝孢菌属	26.7
	链格孢属	4.5
	木霉属	3.8
	毛霉属	3.2
	其他	3.0

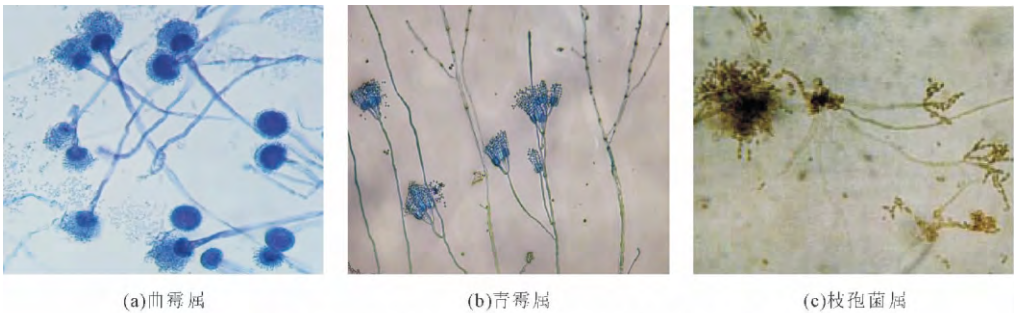


图2 空调通风系统中积尘伴生真菌的显微结构图
Fig.2 The microstructure of the dust associated fungi in air-conditioning ventilation system

2.2 温湿度对空调通风系统中积尘伴生微生物生长的影响

2.2.1 温湿度对细菌数量的影响

图 3 反映了温湿度对积尘伴生细菌数量变化的影响,由图 3 可以看出,在 30%~90%的相对湿度范围内,15~35℃之间,细菌数量随温度升高而逐渐增多,20~35℃之间,生长速度明显加快,35℃时达到最高;当温度达到 40℃时,细菌的数量比 35℃时有所下降,到 45℃和 50℃时,由于温度较高,细菌的数量急剧减少,低于 15℃各相对湿度下细菌的数量。同一温度条件下,相对湿度越高积尘伴生细菌数量越多,超过 80%时,细菌数量上升幅度最大。由此可看出,空调系统内的细菌主要是嗜温嗜湿微生物,它们在 20~35℃下生长活跃,当温度超过 40℃时将基本生长繁殖速度急剧下降,且在高湿条件下生长良好,相对湿度大于 80%则更有利于细菌生长。

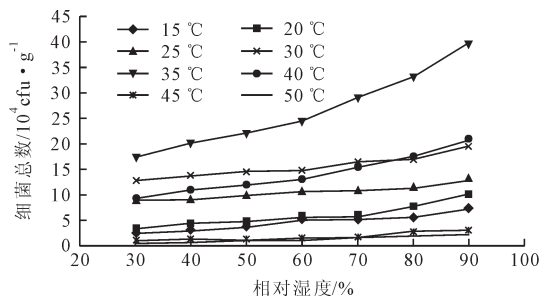


图3 温湿度变化对细菌数量的影响
Fig.3 Effect of temperature and humidity changes on the number of bacteria

2.2.2 温湿度对真菌数量的影响

图 4 为温湿度对真菌数量影响的折线图,可看出,在 50%~90%的相对湿度范围内,15~30℃之间,真菌数量随温度升高而逐渐增多,30℃时达到最高;当温度达到 35℃时,细菌的数量有所下降,低于 30℃时的数值,在 35℃到 50℃之间,随着温度的升高,真菌的数量逐渐减少,低于 15℃各相对湿度下真菌的数量。同一温度条件下,在 50%和 60%的相对湿度下,真菌数量基本一致且较低;当相对湿度大于 60%时,

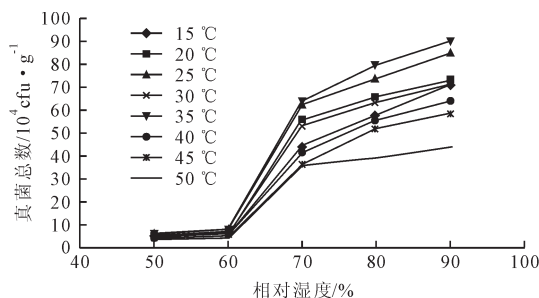


图4 温湿度变化对真菌数量的影响
Fig.4 Effect of temperature and humidity changes on the number of fungi

真菌数量急剧上升,且相对湿度越高积尘伴生真菌数量越多。由此可看出空调系统内的真菌主要是嗜温嗜湿微生物,它们在 15~30℃下生长活跃,且在高湿条件下生长良好,相对湿度小于 60%则不利于真菌生长。

3 结论与讨论

本研究通过建立可控温湿度参数模拟空调内部环境,研究了不同温湿度条件下空调通风系统中积尘伴生微生物的生长变化情况。采用革兰氏染色方法鉴定得出,空调系统积尘伴生细菌中革兰氏阳性细菌占 55%革兰氏阴性细菌占 45%,且主要是致病菌,如大肠杆菌属、金黄色葡萄球菌属、链球菌属、奈瑟菌属等,这些细菌在 20~35℃、30%~90% RH 范围内,生长活跃,且随着温度升高和相对湿度增加,生长繁殖明显加快,当相对湿度大于 80%时更有利于细菌生长。空调系统积尘伴生真菌主要有曲霉属、青霉属、枝孢菌属、链格孢属、木霉属、毛霉属 6 种,优势菌属为曲霉属、青霉属、枝孢菌属,这些真菌都能够引起过敏反应并会导致霉变,在 15~30℃下生长活跃,且在高湿条件下生长良好,相对湿度大于 60%真菌生长迅速加快。由研究结论可看出,温湿度对空调系统微生物的生长繁殖有重要影响,将空调内部的温度设置在 20~30℃,相对湿度设置在 30%~60%,可从根本上破坏和消除微生物的滋生条件,有效抑制其生长,并大大减少积尘中的微生物及其代谢产物通过空调送风传播到室内大气的机会,为控制室内空气污染的产生和传播提供一种有效途径,同时,这在一定程度上也为空调系统微生物污染温湿度控制技术提供了理论支持。

【参考文献】

- [1] 郑徐滨. 地铁客车空调系统设计参数分析[J]. 铁道车辆, 2000, 38(S1): 55-57.
Zheng Xubin. Analysis of metro air conditioning system design parameters[J]. Rolling Stock, 2000, 38(S1): 55-57. (in Chinese)
- [2] 戴若林, 李念平, 关军, 等. 空调系统维护管理对室内空气污染物浓度的影响[C]. 全国暖通空调制冷 2004 年学术文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004: 194-201.
Dai Ruolin, Li Nianping, Guan Jun, et al. Effect of Air Conditioning System Maintenance and Management on Indoor Air Pollutant Concentrations[C]. National HVAC in 2004 Academic Anthology, Beijing: China Architecture and Building Press, 2004: 194-201. (in Chinese)
- [3] 陈晓阳, 江亿, 李震. 湿度独立控制空调系统的工程实践[J]. 暖通空调, 2004, 34(11): 103-109.
Chen Xiaoyang, Jiang Yi, Li Zhen. Project practice with an independent humidity control air conditioning system [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2004, 34(11): 103-109.

- 109.(in Chinese)
- [4] 丁力行, 严汉彬. 空调系统微生物二次污染与控制研究进展[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2010, 23(1): 68-71.
Ding Lixing, Yan Hanbin. Progress on secondary contamination and control in air-conditioning systems[J]. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2010, 23(1): 68-71.(in Chinese)
- [5] 张桂荣, 李敏霞, 郝长生. 温湿度独立控制在医院建筑中的应用研究[J]. 建筑热能通风空调, 2008, 27(4): 37-39.
Zhang Guirong, Li Minxia, Hao Changsheng. Study on independent temperature and humidity control applied in hospital building[J]. Building Energy & Environment, 2008, 27(4): 37-39.(in Chinese)
- [6] 朱晓斌. 空调参数对送风管道积尘伴生微生物生长影响的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
Zhu Xiaobin. Effect of Air Conditioning Parameters on Microbial Growth in Dust Accumulated in Supply Air duct[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009.(in Chinese)
- [7] 沈晋明, 许钟麟. 空调系统的二次污染与细菌控制[J]. 暖通空调, 2002, 32(5): 30-33.
Shen Jinming, Xu Zhonglin. Secondary contamination and bacterial control in air conditioning systems[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2002, 32(5): 30-33.(in Chinese)
- [8] Martin M, Hans P, Bettina N, et al. Capability of air filters to retain airborne bacteria and molds in heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) systems [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health 2001, 203 (5): 401-409.
- [9] 李定坚. 纳米 TiO_2 光催化杀菌技术在水体中的应用及其杀菌机理探讨[D]. 广州: 暨南大学, 2004.
Li Dingjian. Application of Photocatalytic Bactericidal Technology of Nano- TiO_2 in Water and the Investigation of the Bactericidal Mechanism[D]. Guangzhou: Jinan University, 2004.(in Chinese)
- [10] 侯娟娟. 通风空调系统污染调查及其微生物特性实测调查[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
Hou Juanjuan. Field and Analysis for Microbial Contamination and Characteristics of Ventilated Systems in Air Conditioning [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2009.(in Chinese)
- [11] 周世宁, 陈维田, Burnett J, 等. 空调室内环境的气传微生物[J]. 环境科学学报, 1997, 17(4): 498-500.
Zhou Shining, Chen Weitian, Burnett J, et al. A study of microorganisms in air-conditioned indoor [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1997, 17(4): 498-500.(in Chinese)
- [12] A L Pasanen, P Kalliososki, P Pasanen, et al. Laboratory studies on the relationship between fungal growth and atmospheric temperature and humidity [J]. Environment International, 1991, 17: 225-228.
- [13] 卢振, 张吉礼, 曹达君, 等. 公共建筑集中空调系统微生物及颗粒物测试分析[J]. 暖通空调, 2007, 37(1): 103-107.
Lu Zhen, Zhang Jili, Cao Dajun, et al. Testing and analysis for microbes and particles in central air conditioning systems of public buildings[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2007, 37(1): 103-107.(in Chinese)

(上接第56页)

- [30] 黄化刚, 李廷轩, 杨肖娥, 等. 植物对铅胁迫的耐性及其解毒机制研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 696-704.
Huang Huagang, Li Tingxuan, Yang Xiao'e, et al. Research advances in plant lead tolerance and detoxification mechanism[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 696-704.(in Chinese)
- [31] Scandalios J G. Oxygen stress and superoxide dismutases [J]. Plant Physiology, 1993, 101(1): 7-12.
- [32] 张玉秀, 金玲, 冯珊珊, 等. 镉对镉超累积植物龙葵抗氧化酶活性及基因表达的影响[J]. 中国科学院研究生院学报, 2013, 30(1): 11-17.
Zhang Yuxiu, Jin Ling, Feng Shanshan, et al. Effects of Cd on activity and gene expression of antioxidant enzymes in hyperaccumulator *Solanum nigrum* L[J]. Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2013, 30(1): 11-17.(in Chinese)
- [33] 任安芝, 高玉葆, 刘爽. 青菜幼苗体内几种保护酶的活性对 Pb, Cd, Cr 胁迫的反应研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(4): 510-512.
Ren Anzhi, Gao Yubao, Liu Shuang. Response of some protective enzymes in *Brassica chinensis* seedlings to Pb^{2+} , Cd^{2+} and Cr^{6+} stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(4): 510-512.(in Chinese)
- [34] 高菲菲. Cu, Zn, Cd, Pb 对三种豆科植物生长的影响及其吸附性能的研究[D]. 辽宁: 东北大学, 2008: 53-54.
Gao Feifei. Effects of Cu, Zn, Cd and Pb on the Growth of Three Leguminous Plants and the Metal-absorption Abilities of the Plant[D]. Liaoning: Northeastern University, 2008: 53-54.(in Chinese)
- [35] 贾文娟. 镉胁迫对盐芥种子萌发, 幼苗生长及抗氧化酶的影响[D]. 吉林: 东北师范大学, 2012: 42-43
Jia Wenjuan. Effects of Cadmium on Seed Germination, Seeding Growth and Antioxidant System of *Thellungiella hallophila* [D]. Jilin: Northeast Normal University, 2012: 42-43.
- [36] 郑世英, 王丽燕, 商学芳, 等. Cd^{2+} 胁迫对玉米抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 江苏农业科技, 2007(1): 36-37.
Zheng Shiyang, Wang Liyan, Shang Xuefang, et al. Effects of Cd^{2+} stress on antioxidant enzyme activity and content of MDA of maize[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2007(1): 36-37.(in Chinese)