

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

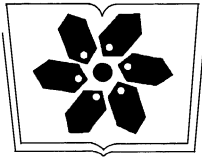
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例.....
..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀峰,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201210301505

高会玲, 刘金隆, 郑青松, 洪立洲, 王长海, 马梅, 赵世训, 郑春芳. 外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应. 生态学报, 2013, 33(6): 1935-1943.

Gao H L, Liu J L, Zheng Q S, Hong L Z, Wang C H, Ma M, Zhao S X, Zheng C F. Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1935-1943.

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用 及镉富集的调控效应

高会玲¹, 刘金隆¹, 郑青松^{1,*}, 洪立洲², 王长海¹, 马梅¹, 赵世训¹, 郑春芳³

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院 江苏省海洋生物学重点实验室, 南京 210095;

2. 江苏沿海地区农业科学研究所, 盐城 224002;

3. 浙江省海洋水产养殖研究所 / 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 温州 325005)

摘要:以两种菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)品系南芋2号(NY2)和南芋5号(NY5)为材料,研究了外源24-表油菜素内酯(24-EBL)对镉胁迫下菊芋幼苗干重、根冠比(R/S)、光合色素含量、叶片气体交换参数和水分利用效率(WUE)的调节效应,还测定了其不同器官的镉(Cd)含量。结果表明:在镉胁迫下,2种菊芋幼苗的干重、 R/S 、光合色素含量、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、WUE均呈下降趋势,而胞间二氧化碳浓度(C_i)升高。(2)与镉胁迫相比,胁迫下外源喷施 10^{-10} 、 10^{-9} 、 10^{-8} 、 10^{-7} mol/L 24-EBL作用下,两品系植株干重和 R/S 值均不同程度的上升,NY2、NY5的植株干重分别在 10^{-9} mol/L 24-EBL (EBL2)和 10^{-8} mol/L 24-EBL (EBL3)处理下达到最大值,分别增加50%和64%。镉胁迫下,外源24-EBL处理均提高菊芋的叶绿素(Chl)和类胡萝卜素(Car)含量, P_n 、 G_s 、 T_r 也由此得到不同程度的上升,而 C_i 均下降,NY5的 C_i 下降更显著。镉胁迫下,外源EBL2和EBL3作用下均不同程度地提高其WUE,NY5的WUE增幅远大于NY2。镉胁迫下NY5的新完全展开叶Cd含量的积累明显高于NY2;而EBL2处理下可降低NY2的新完全展开叶Cd含量,但EBL3却显著增加NY5的叶片Cd含量。镉胁迫下,喷施EBL2的NY2的不同器官、NY5根的Cd含量均显著下降,而NY5其他器官的Cd含量变化不显著。NY5不同器官的Cd含量均明显高于NY2。上述表明,24-EBL可明显提高菊芋的耐镉水平,主要是因为外源喷施24-EBL能显著促进其光合和提高水分利用效率,从而改善Cd胁迫下菊芋幼苗的生长;而24-EBL对菊芋NY5非气孔限制的更显著改善是其促进其光合、水分利用的重要原因,也是其对NY5的生长调控效果优于NY2的重要原因之一。结果还显示,菊芋NY5植株生物量大,从环境中提取Cd的能力较好,因此可作为重金属污染土壤的植物修复的材料来利用。

关键词:菊芋;幼苗;油菜素内酯;镉胁迫;生长;光合作用;镉含量

Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress

GAO Huiling¹, LIU Jinlong¹, ZHENG Qingsong^{1,*}, HONG Lizhou², WANG Changhai¹, MA Mei¹, ZHAO Shixun¹, ZHENG Chunfang³

1 Key Laboratory of Marine Biology of Jiangsu Province, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Agricultural Science Research Institute of Coastal Areas of Jiangsu, Yancheng 224002, China

3 Zhejiang Mariculture Research Institute, Zhejiang Province Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou

基金项目:江苏省农业科技自主创新资助项目(CX(12)1005-04);国家科技支撑资助项目(2011BAD13B09)

收稿日期:2012-10-30; **修订日期:**2013-01-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qszheng@njau.edu.cn

325005, China

Abstract: *Helianthus tuberosus* is well-known Asteraceae plant for its high environmental adaptation ability. It is easy to cultivate, which tempts gardeners to simply leave them completely alone to grow. However, growth and development of this plant is also sensitive to cadmium. In order to evaluate the regulation effects of brassinosteroid on plant cadmium resistance of *H. tuberosus*, this experiment studied the regulation effect of exogenous foliar spraying 24-brassinosteroid (24-EBL) on seedling dry weight, root shoot ratio (R/S), photosynthetic pigment content, leaf gas exchange parameters, water use efficiency (WUE), cadmium (Cd) content of two *H. tuberosus* varieties (NY2 and NY5) under 100 $\mu\text{mol/L}$ cadmium (Cd) stress. The results showed that: (1) Compared with control, the plant dry weight, R/S ratio, photosynthetic pigment content, net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr) and WUE were decreased, while the values of intercellular CO_2 concentration (C_i) were increased in NY2 and NY5 seedlings under Cd stress. (2) Compared to only Cd treatment, the plant dry weight and R/S ratio were increased to varying degrees with exogenous spraying different 24-EBL concentrations (10^{-10} , 10^{-9} , 10^{-8} , 10^{-7} mol/L) under Cd stress. 10^{-9} mol/L 24-EBL (EBL2) and 10^{-8} mol/L 24-EBL (EBL3) treatments made the dry weight of NY2 and NY5 peaked, and 50% and 64% higher than the values of only Cd stress treatment, respectively. (3) Compared to only Cd treatment, 24-EBL application increased the contents of both chlorophyll (Chl) and carotenoid (Car) in two *H. tuberosus* seedlings under Cd stress, and also increased their P_n , G_s , Tr in NY2. However, 24-EBL decreased the values of C_i in both *H. tuberosus* seedlings, and C_i decrease of NY5 showed more significantly than that of NY2. (4) Under Cd stress, 24-EBL increased the WUE values of NY2 and NY5 in varying degrees, respectively, and WUE increase of NY5 showed greater than that of NY2. (5) Under Cd stress, Cd accumulation in new expanded leaves of NY5 was much higher than that of NY2, and EBL2 reduced its Cd content of NY2, but EBL3 enhanced its Cd content of NY5. (6) Under Cd stress, foliar spraying 24-EBL significantly decreased Cd content in all of organs of NY2 and in root of NY5, but did not markedly affect Cd content in the other organs of NY5. Generally, the suitable concentration of 24-EBL could significantly improve cadmium resistance of *H. tuberosus*, and it was mainly due to improvement of photosynthesis and water use caused by 24-EBL. Furthermore, compared with NY2, the better amelioration of non-stomatal restrictions on the NY5 plant applied with 24-EBL leads to its better improvement of photosynthesis and WUE, and its higher growth stimulation under cadmium stress. The results that NY5 plants has much larger biomass, more Cd accumulation and better biomass increase applied with 24-EBL under cadmium stress than NY2 also implied that NY5 can be considered as an excellent candidate for phytoremediation of metal-contaminated soils.

Key Words: *Helianthus tuberosus* L.; seedlings; brassinosteroid; cadmium stress; growth; photosynthesis; cadmium content

油菜素甾醇类化合物(brassinosteroids, BRs)是迄今为止国际上公认的活性最高、最广谱的一类植物生长激素,植物经极低浓度处理便能表现出显著的生理效应^[1-2]。在 BRs 中,油菜素内酯(Brassinolide, BL)是首先被分离和鉴定的^[3]。BRs 具有促进茎细胞伸长和分裂、抑制根的生长和促进木质部分化等生理效应^[1]。还有研究表明,BRs 可诱导核酸和蛋白质的合成^[4]、活化一些酶的活性^[5]、提高光合作用^[6]、增加坐果率^[7]。毋庸置疑,迄今 BRs 很多的生理调控作用尚不清楚^[2]。很多推测认为 BRs 诱发的这些变化主要是一些特异基因的抑制和去抑制产生的调节作用^[1]。BRs 也积极参与植物对生物胁迫和非生物胁迫的抗性反应。在非生物胁迫方面,诸多文献报道 BRs 参与了高温、低温、涝、干旱、盐渍和重金属等胁迫^[8]。

镉(Cd)毒害在当前是一个愈来愈严峻的环境和农业问题^[9],Cd 对植物的毒害及其耐性机理的研究也是国内外的热点之一^[10]。虽然 Cd 不是植物生长所必需的元素,由于其亲水特性,在植物体内容易累积造成毒害,从而抑制细胞乃至整个植株的生长。Cd 影响植物必需元素和水分的吸收、运输和利用、降低光合作用^[6,11]、影响酶活性^[5,9,11],最终导致植株褪绿、枯萎,甚至死亡。Cd 对植物生长的抑制目前也没有完全清楚,

有研究表明其毒害机理很可能是因为 Cd 和巯基、羧基的结合,或者 Cd 直接取代这些酶活性中心的金属元素如锌(Zn)等^[12]。

目前,BRs 对镉胁迫调节效应方面的研究主要集中在小萝卜^[13-14]、芥菜^[6]、番茄^[1,15]、菜豆^[16] 抗氧化方面, Hayat 等^[15] 不仅就 28-高表油菜素内酯(28-HBL)和 24-表油菜素内酯(24-EBL)对镉胁迫下和非镉胁迫下番茄的生长、光合作用、碳氮代谢关键酶活力,还对其经济产量、品质等指标作了系统性的研究。上述众多研究表明,BRs 可显著提高镉胁迫下植物的抗氧化水平、提高其硝酸还原酶(NR)和碳酸酐酶(CA)的活性,提高脯氨酸含量、保护光合机构、改善光合作用,促进细胞伸长,从而提高植物的耐镉性,改善植物的生长、品质和产量。总体来说,其研究报告文献很少,也缺乏深入性、系统性的研究。因此,本研究以耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱、分布广泛且生物量很大的菊科(Asteraceae)植物菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)的不同生态型品系南芋 2 号(NY2)和南芋 5 号(NY5)为材料,探讨不同浓度的 24-EBL 对不同品系菊芋幼苗生长、光合作用、水分利用和叶片 Cd 累积等的调节效应并比较其差异,阐述其相关调节机制,以期为全面深入探讨 BRs 生理调节机制提供必要的理论基础,也为目前重金属污染日益严重的土壤上的菊芋栽培种植及其经济开发利用提供有益的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菊芋材料为不同品系的南芋 2 号(NY2)和南芋 5 号(NY5),采自南京农业大学江苏大丰“863”中试基地。

1.2 试验处理

选取具有芽眼的菊芋块茎,洗干净后切取芽眼部分播种于装有石英砂的周转箱中,周转箱中存有一定深度的营养液,放入培养箱中黑暗催芽 7 d,选取长势一致的幼苗移栽至装有 20 目石英砂的塑料钵置于玻璃温室中,采用 1/2 Hoagland 营养液浇灌,自然光照培养 10 d,然后转入不同处理组。处理组设置如下:(1)1/2 Hoagland 营养液+喷施去离子水(对照 Control);(2)1/2 Hoagland 营养液+100 $\mu\text{mol/L}$ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ +喷施去离子水(Cd 处理);(3)1/2 Hoagland 营养液+100 $\mu\text{mol/L}$ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ +喷施 10^{-10} mol/L 24-EBL(Cd+EBL1 处理);(4)1/2 Hoagland 营养液+100 $\mu\text{mol/L}$ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ +喷施 10^{-9} mol/L 24-EBL(Cd+EBL2 处理);(5)1/2 Hoagland 营养液+100 $\mu\text{mol/L}$ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ +喷施 10^{-8} mol/L 24-EBL(Cd+EBL3 处理);(6)1/2 Hoagland 营养液+100 $\mu\text{mol/L}$ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ +喷施 10^{-7} mol/L 24-EBL(Cd+EBL4 处理)。每个处理 6 盆,每盆 2 株。处理期间每隔 1 d 更换处理液,于每天傍晚叶面喷施等量的去离子水或不同浓度的 24-EBL,以叶面刚好完全打湿为标准,各处理(含对照)均含有 0.5% (体积分数) Tween-20(购自美国 Sigma 化学公司)作为展开剂,以便其在叶片上的粘附。处理 21 d 后采样进行指标测定。整个培养期间温度为(25.0 \pm 4.0) $^{\circ}\text{C}$ (白天),(22.0 \pm 2.0) $^{\circ}\text{C}$ (夜间),相对湿度(55.2 \pm 10.3)% (白天)及(58.1 \pm 6.2)% (夜间)。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 植株生物量测定和根冠比(R/S)的计算

将菊芋幼苗从砂中取出,先用自来水缓慢冲洗根部的砂粒,再用 20 mmol/L $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 交换 15 min 以除去根表面吸附的 Cd^{2+} ^[17],再用去离子水洗净,最后用无灰滤纸吸干。分别将地上部和地下部装入信封袋中,经 110 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 15 min 后于 70 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,称其干重,计算地上部与地下部的干重比值得到 R/S。

1.3.2 光合色素含量及其比值的测定和计算

采用王学奎^[18]方法进行测定和计算其新完全展开叶的叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)、叶绿素(Chl)和类胡萝卜素(Car)等光合色素含量,并计算其比值得到叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量(Chl a/Chl b)和叶绿素含量/类胡萝卜素含量(Chl/Car)。

1.3.3 气体交换参数的测定

采用美国 LI-COR 公司的 LI-6400 XT 便携式光合仪测定系统,在处理的第 20 天(晴天)9:00—11:00 期

间测定其新完全展开叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)。

1.3.4 水分利用效率(WUE)的计算及镉(Cd)含量的测定

新完全展开叶的水分利用效率(WUE)计算公式为: $WUE = P_n / T_r$ [19]。Cd 含量测定方法如下:将烘干的菊芋叶片磨碎后过 40 目不锈钢筛,采用体积 $HNO_3:HClO_4(3:1)$ 消化,利用电感耦合等离子体广谱发生仪(ICP-AES)测定样品中的 Cd 含量 [20],每个样品重复 3 次。

1.4 数据处理与统计分析

利用 Microsoft Excel、SPSS17.0 软件进行数据的统计和相关性分析,采用 Duncan 新复极差测验法($P < 0.05$)进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度的 EBL 对镉胁迫下菊芋幼苗生长的影响

与各自对照相比,100 $\mu\text{mol/L}$ Cd 胁迫下,菊芋 NY2 与 NY5 的植株地上部和根部干重均显著下降,根冠比也均显著下降,整株干重水平上分别下降 51% 和 52%,而 NY2 根冠比下降要比 NY5 更显著。外源喷施不同浓度的 EBL 均能提高 Cd 胁迫下的植株干重,Cd 胁迫下,外源喷施 10^{-10} 、 10^{-9} 、 10^{-8} 、 10^{-7} mol/L EBL(即依次为 EBL1、EBL2、EBL3 和 EBL4),NY2 植株干重分别提高 29%、50%、30% 和 18%;NY5 植株干重分别提高 45%、48%、64% 和 33%。与单独 Cd 胁迫下相比,喷施 EBL2 和 EBL3 条件下,NY2 根冠比分别提高 101% 和 74%,NY5 根冠比分别提高 25% 和 46% (图 1)。

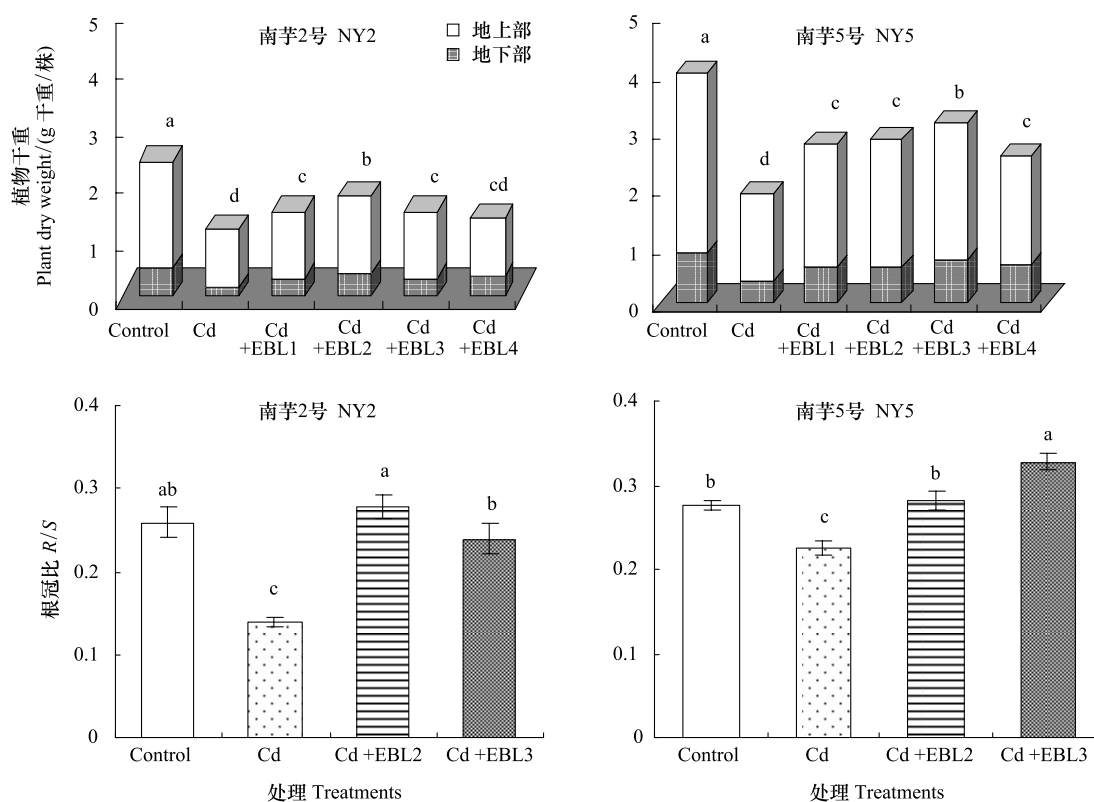


图 1 不同浓度的 24-EBL 对镉胁迫下菊芋幼苗干重和根冠比的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of 24-EBL on dry weight and R/S of *H. tuberosus* seedlings under cadmium stress

字母不同表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 不同浓度的 EBL 对镉胁迫下菊芋幼苗新完全展开叶光合色素含量和构成的影响

与对照相比,Cd 胁迫下,菊芋 NY2 与 NY5 叶片中的叶绿素(Chl)含量分别降低 52% 和 49%,类胡萝卜素(Car)含量分别下降 48% 和 44%。而外源 EBL 均提高其 Chl 和 Car 含量。镉胁迫下,外喷 EBL2、EBL3,NY2

的 Chl 含量依次增加 50% 和 39%, Car 含量依次增加 66% 和 43%; 而 NY5 的 Chl 含量依次增加 8% 和 37%, Car 含量依次增加 16% 和 45% (图 2)。

与对照相比, Cd 胁迫下, 菊芋 NY2 的 Chl a/Chl b 与 Chl/Car、NY5 的 Chl/Car 均显著下降, NY5 的 Chl a/Chl b 下降不显著。而外源 EBL 均提高菊芋 NY2 与 NY5 的 Chl a/Chl b 比值, 而 Chl/Car 则显下降趋势 (图 2)。

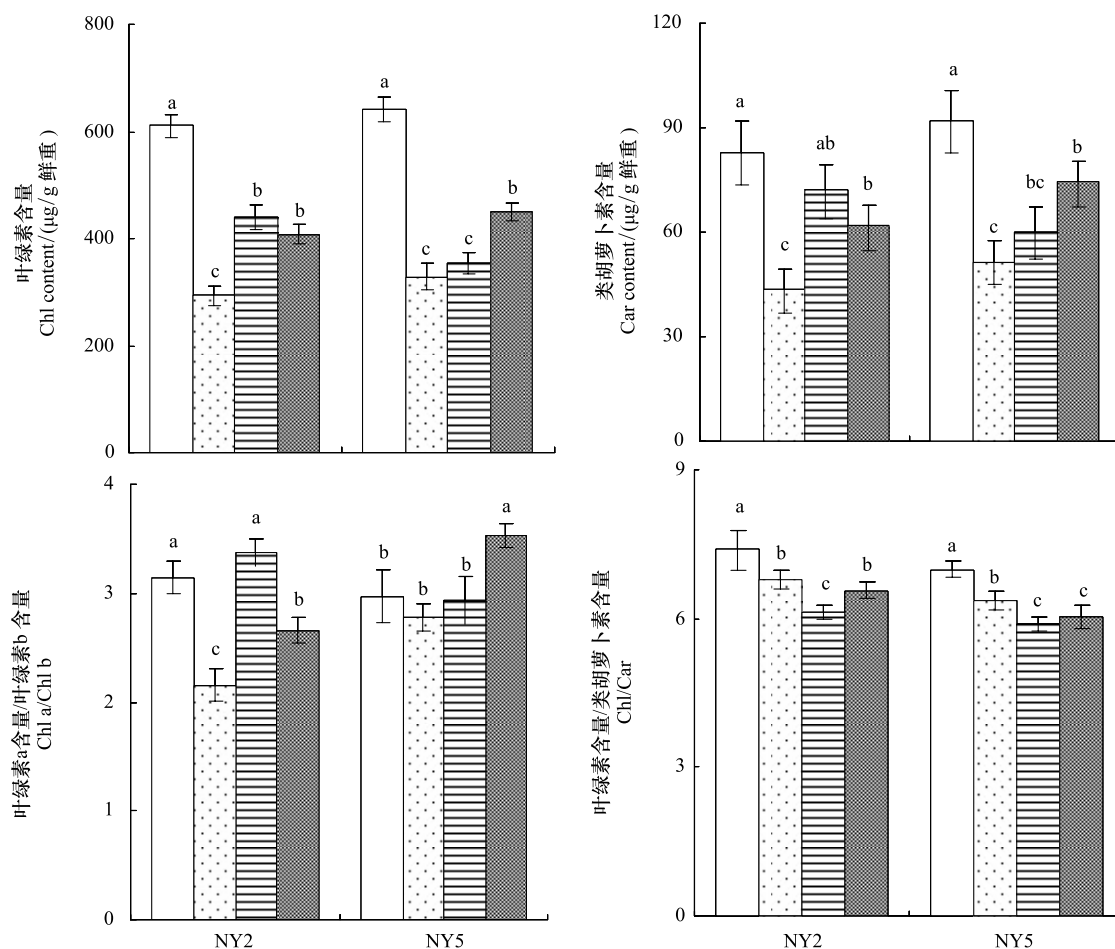


图 2 不同浓度的 24-EBL 对镉胁迫下光合色素含量和构成的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of 24-EBL on photosynthetic pigment contents and their ratios of *H. tuberosus* seedlings under cadmium stress

同一簇 (品系) 内, 字母不同表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 不同浓度的 EBL 对镉胁迫下菊芋幼苗新完全展开叶光合特性参数的影响

与对照相比, 100 $\mu\text{mol/L}$ Cd 处理下, 两菊芋品系幼苗叶片的净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (T_r) 均明显下降, NY2 的这 3 个指标的降幅显著大于 NY5 的; 而外喷 EBL2 和 EBL3 条件下, P_n 、 G_s 、 T_r 均得到不同程度的上升。Cd 胁迫下, 两菊芋品系幼苗的胞间二氧化碳浓度 (C_i) 均显著上升, 外源 EBL2、EBL3 处理下, 两菊芋的 C_i 均下降, NY5 的 C_i 下降更显著 (图 3)。

2.4 不同浓度的 EBL 对镉胁迫下菊芋新完全展开叶水分利用效率 (WUE) 和镉 (Cd) 含量的影响

Cd 胁迫下显著降低了 NY2 和 NY5 的叶片 WUE, 分别下降 23% 和 59%; 而外源 EBL2 和 EBL3 作用下均不同程度地提高了菊芋幼苗叶片的 WUE, NY2 分别增加 23% 和 15%, NY5 分别增加 75% 和 80% (图 4)。Cd 胁迫下, NY5 的叶片 Cd 含量的积累明显高于 NY2, 与仅仅 Cd 处理相比, EBL 处理下 NY2 的叶片 Cd 含量有下降趋势, 其中 EBL2 处理的下降达到显著水平, 下降 36%; 而 EBL 处理下 NY5 的叶片 Cd 含量有增加趋势,

其中 EBL3 处理的增加达到显著水平,增加 10% (图 4)。

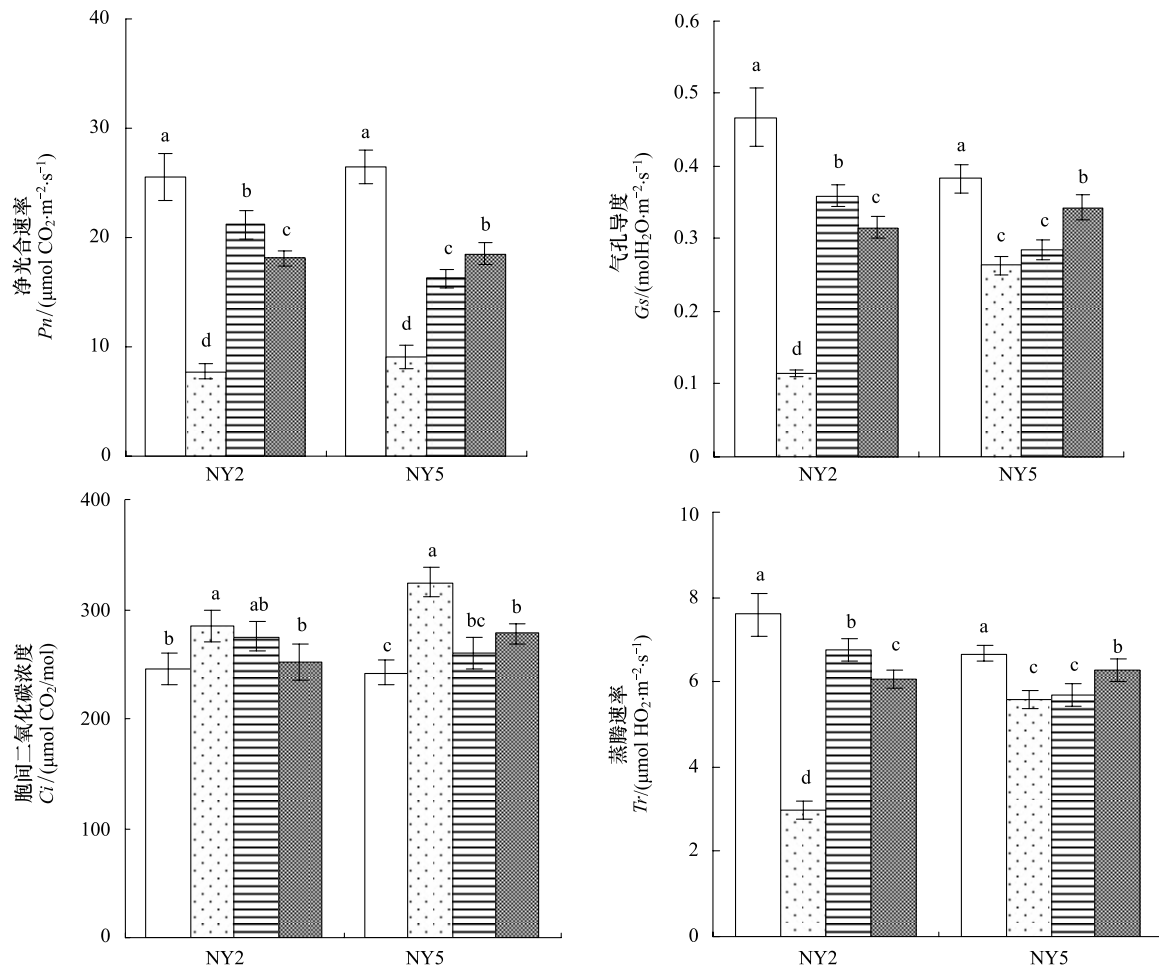


图 3 不同浓度的 24-EBL 对镉胁迫下菊芋光合特性参数的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of 24-EBL on photosynthetic characteristic parameters of *H. tuberosus* seedlings under cadmium stress

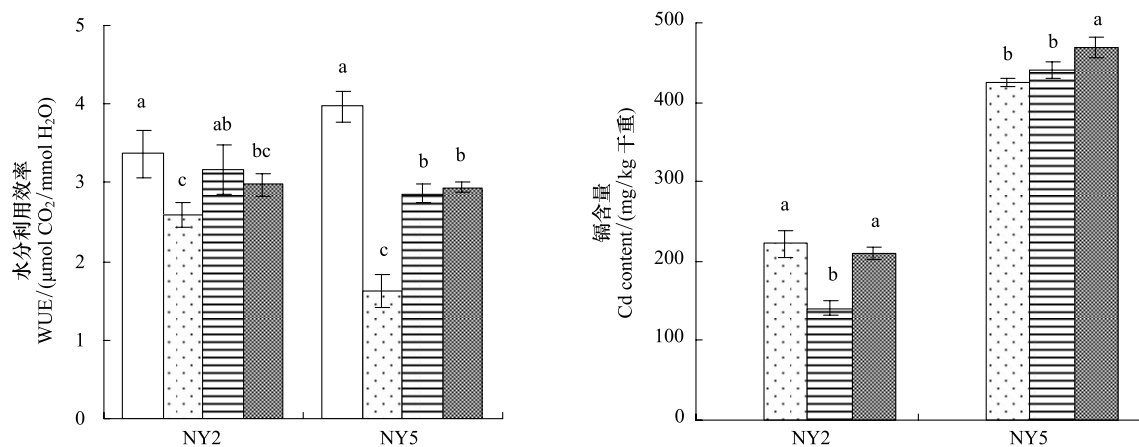


图 4 不同浓度的 EBL 对镉胁迫下新完全展开叶的水分利用效率 (WUE) 和 Cd 含量的影响

Fig. 4 Effects of different concentrations of EBL on water use efficiency (WUE) and Cd content of new full expanded leaves of *H. tuberosus* seedlings under cadmium stress

2.5 24-EBL 对镉胁迫下 NY2 和 NY5 不同器官 Cd 含量的影响

镉胁迫下,喷施 24-EBL(EBL2 或 EBL3),NY2 的不同器官、NY5 根的 Cd 含量均显著下降,而 NY5 茎、叶片和叶柄 Cd 含量变化均未达显著水平。NY5 不同器官的 Cd 含量均明显高于 NY2(图 5)。

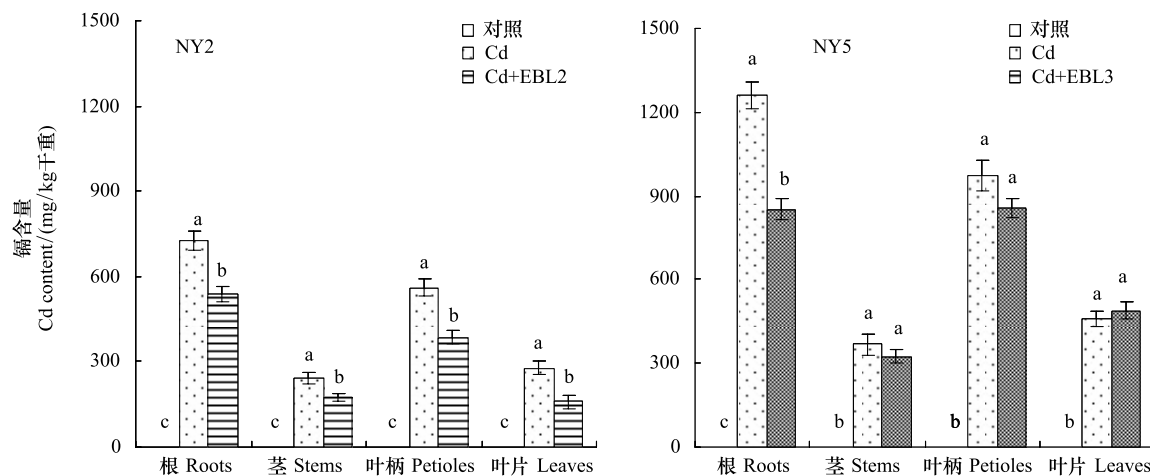


图 5 不同浓度的 EBL 处理对镉胁迫下 NY2 和 NY5 不同器官 Cd 含量的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of EBL on Cd content in different organs of NY2 and NY5 seedlings under cadmium stress

3 讨论

Rady^[16]研究表明,1 mmol/L Cd 胁迫下,5 $\mu\text{mol/L}$ 24-EBL 喷施作用下显著增强了菜豆植株的生长发育。而同样浓度 Cd 胁迫下,喷施 1.0、2.0、3.0 $\mu\text{mol/L}$ 的 24-EBL 和 28-HBL 均能显著缓解萝卜种子的萌发抑制,且萌发率随两种 BL 浓度增加而升高;两种 BL 也均能显著提高 Cd 胁迫下萝卜幼苗的生长,尤其在 3.0 $\mu\text{mol/L}$ BL 浓度下增加效果最为显著,在同等浓度下,28-HBL 提高幼苗生长的效应要高于 24-EBL^[13]。Hayat 等^[15]在番茄上也发现类似的效应,但 10^{-8} mol/L 水平下,24-EBL 比 28-HBL 有更好的缓解 Cd 毒害的效果。本研究发现,100 $\mu\text{mol/L}$ Cd²⁺胁迫下,NY2 和 NY5 的植株干重分别下降 51% 和 52%,也就是说,在幼苗期两菊芋品系耐 Cd 能力从生物量的数据上来看差不多。但外源不同浓度 24-EBL 对其生长调节效应有共性,也有差异,即共性是 10^{-10} 、 10^{-9} 、 10^{-8} 、 10^{-7} mol/L 24-EBL 对 Cd 胁迫下的两品系菊芋生长均有促进效应,而差异在于,缓解 Cd 胁迫的最适浓度不一样,NY2 和 NY5 的 24-EBL 喷施最适浓度分别是 10^{-9} 和 10^{-8} mol/L(即论文中表述的 EBL2 和 EBL3),本研究还显示,外源 24-EBL 对 NY2 的促进效应总体上来说不如对 NY5 的来的明显。

Cd 胁迫显著降低植物的光合作用,损害光合器官、抑制色素合成和 RuBP 羧化酶活性、影响碳固定、叶绿素 Hill 反应和 PSI 和 PS II 活力,增加非光学猝灭等,降低叶片中的气孔导度和叶肉导度,减少 CO₂ 吸收,干扰气孔的开放从而影响植物的生长发育^[11,21-22]。Hasan 等^[1]研究发现,在土壤中施加不同浓度 Cd,可显著降低番茄幼苗的 Chl 含量,而叶面喷施 10^{-8} M 28-HBL 或 24-EBL 能明显缓解此伤害效应。在 12 mg/kg Cd 处理下,番茄幼苗 *Pn*、*Tr*、*Ci*、*Gs* 均明显下降,而外源喷施 28-HBL 或 24-EBL 均可明显缓解了 Cd 对光合的抑制作用。Anuradha 和 Rao^[23]研究表明 1 mmol/L Cd 胁迫下,萝卜幼苗的 Chl、Car 含量及 *Pn* 显著降低,24-EBL 处理后减轻了这种抑制作用,其中 1.0 $\mu\text{mol/L}$ 24-EBL 分别使 Chl 和 Car 含量增加了 43% 和 31%,*Pn* 提高了 67%;2.0 $\mu\text{mol/L}$ 24-EBL 分别使 Chl 和 Car 含量增加了 115% 和 62%,*Pn* 提高了 122%。Farquhar 等^[24]认为当 *Ci* 与 *Pn* 变化方向相同,两者都减小时可认为光合速率的下降主要是气孔导度的降低引起的,否则是叶肉细胞光合活性降低,即非气孔因素导致的。因此可以认为 Cd 胁迫下番茄幼苗光合的下降^[1]主要是来自气孔限制,而 24-EBL 正是通过缓解这一气孔限制提高其光合作用,从而增强番茄的耐 Cd 性。本研究结果表明,Cd 胁迫可显著降低了两菊芋品系幼苗的 *Pn*、*Tr*、*Gs*,但 *Ci* 上升,尤其是 NY5 品系 *Ci* 上升很显著,表明 Cd 胁迫

迫对菊芋幼苗光合下降中,非气孔限制占据主要因素,外源 24-EBL 处理均降低 NY2 和 NY5 的 C_i ,而 NY5 的 C_i 下降更显著,说明 24-EBL 可通过缓解菊芋幼苗非气孔限制,改善其光合作用,这也很可能是 24-EBL 对 NY5 镉毒害的缓解作用更显著的重要原因之一。

植物在遭受 Cd 胁迫后会抑制其生长发育、代谢,同时植物也演变出一系列抵御 Cd 毒害的机制,例如通过植物腺体排 Cd;或质膜将 Cd 排出体外;还可以将 Cd 区隔化封存于液泡中等^[25-26],还有研究表明植物还可以产生许多螯合蛋白质如金属硫蛋白(MT)、植物螯合肽(PCs)、谷胱甘肽(GSH)、及一些逆境蛋白(如热激蛋白 hsp)等将有毒性的 Cd 转变为无毒性的形态^[27-28]。Arasimowicz-Jelonek 等^[29]指出,Cd 胁迫下,外源信号分子 NO 处理能缓解 Cd 对植物的毒害,同时 NO 促进植物体内 Cd 含量积累,可能是由于 NO 能提高细胞壁果胶和半纤维素含量,使 Cd 沉积在细胞壁解毒;或者是 NO 参与生长素(IAA)平衡的调节;也可能是 NO 处理下使植株体内茈白植物络合素(PCs)含量增加,以便螯合有毒的 Cd。李萍等^[30]研究发现细胞分裂素类物质 6-苄氨基嘌呤(6-BA)和激动素(KT)能增强根系活力,提高植物的蒸腾作用和光合作用,从而促进植物对 Cd 的吸收。Gao 等^[31]在柠檬酸对龙葵镉胁迫的调节效应研究中也发现,柠檬酸显著提高镉胁迫下龙葵的抗氧化酶的活力,从而促进其生长;同时柠檬酸导致介质酸化,龙葵体内镉富集显著增加。本研究显示,在镉胁迫下,NY5 的新完全展开叶 Cd 含量为 NY2 的 1.9 倍,且在各自最佳浓度 24-EBL 作用下,NY2 体内的 Cd 含量明显下降,而 NY5 则进一步明显提高,说明与 NY2 相比,NY5 的功能叶片具有累积 Cd 的特性,很可能其体内很可能产生一系列上述的耐镉机制,将体内 Cd 解毒或者区域(隔)化,使得细胞质、功能细胞器中的 Cd 浓度有效的下降,从而缓解 Cd 对其自身的伤害。而 NY2 的功能叶片通过排 Cd 机制将 Cd 排出体外,降低体内的 Cd 含量,从而保护植株免受伤害。NY2 的这种现象与 Rady 研究的结果^[20]相一致。进一步对整株器官水平上的 Cd 分布研究表明,24-EBL 的调控下,NY5 地上部的 Cd 含量的降幅明显低于 NY2,而 NY5 叶片的 Cd 含量还有上升的趋势。因此,两种菊芋对 Cd 的吸收累积具有明显的种间差异性,且 NY5 的 Cd 富集效应显著高于 NY2,并且均超过 100 mg/kg DW(Cd 超富集植物临界值^[32]),与 Chen 等^[33]最近的研究相一致。近年来已发现遏蓝菜、宝山莖菜、商陆、紫苏等具有超富集 Cd 的能力,但是这些超富集植物绝大多数生长缓慢,植株矮小,地上部的生物量小,很难进行大面积污染土壤的修复工作^[34-35]。本研究可以得出,菊芋生物量大,且富集 Cd 的能力强,且 NY5 明显优于 NY2,应用 NY5 修复 Cd 污染具有较大的潜力与可行性。

24-EBL 外源喷施能显著提高光合色素含量、促进光合和提高水分利用效率,从而改善 Cd 胁迫下菊芋幼苗的生长;其中 24-EBL 对菊芋非气孔限制的改善是其促进菊芋光合、改善其生长的重要原因。结果还显示,与 NY2 相比,24-EBL 很可能有效的促进 Cd 在 NY5 体内的区隔化或形态转化,降低 Cd 对功能细胞器和酶等大分子的毒害,从而更显著的改善其植株生长,且菊芋 NY5 本身植株生物量大,而从环境中提取 Cd 的能力又好,因此作为重金属污染土壤的植物修复的材料,其前景较好。还需要深入全面鉴定其作为生物修复材料的可行性;从细胞和分子生物学的角度上去进一步探讨 NY5 富集 Cd 的生物学机制。同时,镉胁迫下,24-EBL 对菊芋 NY5 光合的改善并不优于 NY2,但是 NY5 的生物量的促进却明显优于 NY2 等都有待深入研究。

References:

- [1] Hasan S A, Hayat S, Ahmad A. Brassinosteroids protect photosynthetic machinery against the cadmium induced oxidative stress in two tomato cultivars. *Chemosphere*, 2011, 84(10): 1446-1451.
- [2] Choudhary S P, Yu J Q, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K, Tran L P. Benefits of brassinosteroid crosstalk. *Cell*, 2012, 17(10): 594-605.
- [3] Grove M D, Spencer G F, Rohwedder W K, Mandava N, Worley J F, Warthen Jr J D, Steffens G L, Flippin-Anderson J L, Cook Jr J C. Brassinolide, a plant growth promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature*, 1979, 281: 216-217.
- [4] Khrpach V, Zhabinskii V, Groot A D. Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of Botany*, 2000, 86(3): 441-447.
- [5] Hasan S A, Hayat S, Ali B, Ahmad A. 28-Homobrassinolide protects chickpea (*Cicer arietinum*) from cadmium toxicity by stimulating antioxidants. *Environmental Pollution*, 2008, 151(1): 60-66.
- [6] Hayat S, Ali B, Hasan S A, Ahmad A. Brassinosteroids enhanced the level of antioxidants under cadmium stress in *Brassica juncea*. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 60(1): 33-41.
- [7] Ali B, Hayat S, Hasan S A, Ahmad A. Effect of root applied 28-homobrassinolide on the performance of *Lycopersicon esculentum*. *Scientia Horticulturae*, 2006, 110(3): 267-273.

- [8] Bajguz A, Hayat S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47(1): 1-8.
- [9] He J Y, Ren Y F, Wang Y Y, Li Z J. Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 522-528.
- [10] Gill S S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, 48(12): 909-930.
- [11] Zheng A Z. Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) roots. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 483-488.
- [12] Smeets K, Ruytinx J, Semane B, Belleghem F V, Remans T, Sanden S V, Vangronsveld J, Cuypers A. Cadmium induced transcriptional and enzymatic alterations related to oxidative stress. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 63(1/3): 1-8.
- [13] Anuradha S, Rao S S R. The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. *Plant Soil and Environment*, 2007, 53(11): 465-472.
- [14] Sharma I, Pati P K, Bhardwaj R. Regulation of growth and antioxidant enzyme activities by 28-homobrassinolide in seedlings of *Raphanus sativus* L. under cadmium stress. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 2010, 47(3): 172-177.
- [15] Hayat S, Alyemeni M N, Hasan S A. Foliar spray of brassinosteroid enhances yield and quality of *Solanum lycopersicum* under cadmium stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2012, 19(3): 325-335.
- [16] Rady M M. Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(2): 232-237.
- [17] Yang X E, Long X X, Ye H B, He Z L, Calvert D V, Stoffella P J. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). *Plant and Soil*, 2004, 259: 181-189.
- [18] Wang X K. The Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: Higher Education Press, 2006, 280-282.
- [19] Simioni G, Le Roux X, Gignoux J, Walcroft A S. Leaf gas exchange characteristics and water- and nitrogen-use efficiencies of dominant grass and tree species in a West African savanna. *Plant Ecology*, 2004, 173(2): 233-246.
- [20] Shahram N, Ramezani K, Franceous B, Shahrokh N, Hamed P. The effect of cadmium on growth and antioxidant responses in the safflower (*Carthamus tinctorius* L.) callus. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2012, 36(2): 145-152.
- [21] Ci D W, Jiang D, Wollenweber B, Dai T B, Cao W X. Cadmium stress in wheat seedlings: growth, cadmium accumulation and photosynthesis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2010, 32(2): 365-373.
- [22] Li M, Zhang L J, Tao L, Li W. Ecophysiological responses of *Jussiaea repens* to cadmium exposure. *Aquatic Botany*, 2008, 88(4): 347-352.
- [23] Anuradha S, Rao S S R. Effect of 24-epibrassinolide on the photosynthetic activity of radish plants under cadmium stress. *Photosynthetica*, 2009, 47(2): 317-320.
- [24] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 617-645.
- [25] Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 2001, 212(4): 475-486.
- [26] Sanità di Toppi L, Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 1999, 41(2): 105-130.
- [27] Yadav S K. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 2010, 76(2): 167-179.
- [28] Sanità di Toppi L, Pawlik-Skowrońska B, Vurro E, Vattuone Z, Kalinowska R, Restivo F M, Musetti R, Skowroński T. First and second line mechanisms of cadmium detoxification in the lichen photobiont *Trebouxia impressa* (Chlorophyta). *Environmental Pollution*, 2008, 151(2): 280-286.
- [29] Arasimowicz-Jelonek M, Floryszak-Wieczorek J, Gwozdz E A. The message of nitric oxide in cadmium challenged plants. *Plant Science*, 2011, 181(5): 612-620.
- [30] Li P, Guo X F, Xu L L, Wang Y L, Zhao X L. Influence of exogenous cytokinins on uptake and translocation of cadmium in corn seedlings. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(1): 119-122.
- [31] Gao Y, Miao C Y, Mao L, Zhou P, Jin Z G, Shi W J. Improvement of phytoextraction and antioxidative defense in *Solanum nigrum* L. under cadmium stress by application of cadmium-resistant strain and citric acid. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 181(1/3): 771-777.
- [32] Tang Y T, Qiu R L, Zeng X W, Ying R R, Yu F M, Zhou X Y. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and growth stimulation in *Arabis paniculata* Franch. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 66(1): 126-134.
- [33] Chen L, Long X H, Zhang Z H, Zheng X T, Rengel Z, Liu Z P. Cadmium accumulation and translocation in two Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars. *Pedosphere*, 2011, 21(5): 573-580.
- [34] Zhao F J, Lombi E, McGrath S P. Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant and Soil*, 2003, 249(1): 37-43.
- [35] Xie H L, Chen A, P, Zhang F Y, Xiong Y, Chen Y L, Liu J, Zhou L Y, Lin R Y. Physiological response of *Perilla frutescens* (L.) Britt. to cadmium. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(3): 672-675.

参考文献:

- [9] 何俊瑜, 任艳芳, 王阳阳, 李兆君. 不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应. *生态学报*, 2011, 31(2): 522-528.
- [11] 郑爱珍. 镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响. *生态学报*, 2012, 32(2): 483-488.
- [17] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2006, 280-282.
- [30] 李萍, 郭喜丰, 徐莉莉, 王玉林, 赵秀兰. 细胞分裂素类物质对玉米幼苗镉吸收和转运的影响. *水土保持学报*, 2011, 25(1): 119-122.
- [35] 谢惠玲, 陈爱萍, 张凤英, 熊颖, 陈艳玲, 刘杰, 周丽英, 林瑞余. 紫苏对不同浓度镉胁迫的生理响应. *中国生态农业学报*, 2011, 19(3): 672-675.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenzhe, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元