

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.01.021

## 梯度水分对鱼腥草生长及生理特征的影响

王晓鹏<sup>1,3\*</sup>, 叶梅荣<sup>1</sup>, 杨安中<sup>2</sup>, 孙震<sup>1</sup>, 张建<sup>1</sup>

(1. 安徽科技学院 生命科学学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽科技学院植物科学学院, 安徽 凤阳 233100; 3. 中国科学院 植物研究所 植被与环境变化重点实验室, 北京 100093)

**摘要:** 以不同的施水量, 模拟自然生境中林下鱼腥草不同水分条件, 设置了8个水分梯度, 研究梯度水分对鱼腥草生长和生理特征的影响, 以建立鱼腥草生态栽培模式。结果表明: 水分的减少或增加均显著减少生物量, 中度、重度干旱和水淹明显降低株高和叶面积指数。重度干旱显著提高根冠比。除轻度湿润组外, 水分的减少或增加, 均显著提高MDA含量; 与对照组相比, 各干旱处理组SOD和CAT活性和MDA含量明显增强; 除脯氨酸含量以外, 湿润各处理组CAT、POD、SOD活性和MDA含量均明显低于干旱各处理组; 水淹时, CAT、POD、SOD活性、MDA和脯氨酸含量均较低。说明中度干旱或中度湿润已对鱼腥草形成逆境胁迫。栽培鱼腥草的水分条件可以控制在轻度干旱和轻度湿润之间。

**关键词:** 梯度水分; 鱼腥草; 生理特征; 生态栽培模式

中图分类号: Q948.12 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)01-0107-06

## Moisture gradient affects the growth and physiological characteristics of *Houttuynia cordata*

WANG Xiao-Peng<sup>1,3\*</sup>, YE Mei-Rong<sup>1</sup>, YANG An-Zhong<sup>2</sup>,  
SUN Zhen<sup>1</sup>, ZHANG Jian<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China; 2. College of Plant Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China; 3. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** This study aims to determine effects of moisture gradient on the growth and physiological characteristics of *Houttuynia cordata* for developing an ecological cultivation pattern. Eight kinds of water treatments were conducted to simulate the dynamic change of soil water moisture in the natural habitat of forest. The results showed that biomass was significantly reduced by decrease or increase of moisture as compared to the control; plant height and LAI were inhibited under the condition of heavy drought, moderate drought and waterlogging; heavy drought significantly elevated the root to shoot ratio; decrease or increase of moisture all increased the content of MDA except light moisture group; compared with the control, the activity of SOD and CAT, as well as content of MDA were significantly increased under the condition of drought; the activity of CAT, POD, SOD and the content of MDA of moisture group were respectively lower than those of drought group except for content of proline. In particular, the activity of CAT, POD and SOD, the content of MDA and proline of waterlogging group were generally lower than those of others. *H. cordata* had been stressed by the condition of moderate drought or moderate moisture. In summary, light drought and light moist conditions were favorable for the cultivation of *H. cordata*.

**Key words:** gradient moisture; *Houttuynia cordata*; physiological characteristic; ecological cultivation pattern

收稿日期: 2011-04-12 修回日期: 2011-10-14

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金重点课题(KJ2010A079)[Supported by Key Item of Natural Scientific Foundation, Education Department of Anhui Province (KJ2010A079)]

作者简介: 王晓鹏(1968-), 女, 安徽安庆人, 硕士, 副教授, 主要从事植物学和生态学的教学与科研工作, (E-mail) wangxiaopeng2262@163.com.

\* 通讯作者 (Author for correspondence)

水分是植物生长的一个重要限制因子。水分过多或过少,均会导致植物逆境伤害(Arora等,2002)。植物在逆境胁迫时,大量活性氧自由基在细胞内聚集,破坏细胞结构、功能(Fridovich,1975)。为防御活性氧伤害,植物体内存在着活性氧自由基清除系统能维持膜结构的完整性和防御活性氧自由基对膜脂的攻击伤害。其中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)等抗氧化酶系统通过协调作用有效地清除了 $\cdot O_2^-$ 、 $OH\cdot$ 、 $H_2O_2$ 等自由基,防御膜脂过氧化,使细胞膜免受其伤害。植物膜脂过氧化反应和保护酶系统的变化,已广泛应用于植物生理生态的研究(Bowler等,1992)。鱼腥草(*Houttuynia cordata*),为三白草科蕺菜属蕺菜(程用谦,1982;《安徽植物志》协作组,1986),多年生草本植物,全草药用,并可作为野菜食用。性寒味辛,具清热解毒、消痈排脓、利尿通淋等功能。国内对鱼腥草的化学成分、药理作用、临床应用、栽培鱼腥草的质量评价、结构植物学等方面均有相关研究(张剑等,2010;瞿万云,2010;边清泉等,2009;齐迎春等,1999;杨玉霞等,2003),但还未见其生态栽培相关研究的报道。鱼腥草原药和制剂在临

床上应用前景看好(李丹等,2010),目前国内外需求量逐年提高,大量人工生态栽培势在必行。在安徽大别山区的林间、林缘、路旁、田埂、田沟、水渠等地,鱼腥草都有自然分布,生境复杂多样,水分条件不一,生长态势差异明显。因此,为建立鱼腥草的生态栽培模式,探索其生长最适水分条件,非常必要。本研究通过盆栽沙培试验,用 Hoagland 营养液为基本营养元素,人工控制施水量,设置梯度水分条件,模拟自然生境中林下鱼腥草不同水分生长条件,研究不同水分条件下鱼腥草生长情况及叶片中 CAT、POD 和 SOD 活性、丙二醛(malondialdehyde, MDA)和脯氨酸(proline)含量,探明鱼腥草对水分变化的生理生态响应,确定栽培最佳水分条件,以建立与完善鱼腥草生态栽培模式。

## 1 材料与方 法

### 1.1 植物培养

供试材料鱼腥草种苗,采集于安徽省鹤落坪国家级自然保护区核心区大石屋冲林间自然分布种群,定植培养于安徽科技学院中药园荫棚内,并扩大培养。

表 1 营养液配比及梯度水分处理情况

Table 1 Mixture ratio of nutrient solution and gradient moisture to cultivate *Houttuynia cordata*

处理号 No. of treatment	水分体积 Volume of water (mL)	浓缩营养液体积 Volume of condensed nutrient solution (mL)	营养液配比 Mixture ratio of nutrient solution and gradient moisture	基质中水分含量 Content of water in sand (%)
重度干旱 HD	0	40	100 mL Hoagland 营养液—60 mL 水	15.6
中度干旱 MD	20	40	100 mL Hoagland 营养液—40 mL 水	16.0
轻度干旱 LD	40	40	100 mL Hoagland 营养液—20 mL 水	16.4
对照 CK	60	40	100mL Hoagland 营养液(CK)	16.8
轻度湿润 LM	80	40	100 mL Hoagland 营养液+20 mL 水	17.2
中度湿润 MM	100	40	100 mL Hoagland 营养液+40 mL 水	17.6
重度湿润 HM	120	40	100 mL Hoagland 营养液+60 mL 水	18.0
水淹 WL	水淹	40	100 mL Hoagland 营养液+足够水分	过饱和

### 1.2 试验设计

2010年3月上旬选定大小基本一致、带芽的根状茎栽培于大小一致、型号相同、带盘托的花盆(上口口径20 cm,底口径15 cm,高11 cm)中,其中水淹组花盆均套上相应大小水桶,以保证植株地下部分全部被水淹没。栽培基质为等量已洗净、消毒的河沙。缓苗期间,隔日每盆浇 Hoagland 营养液 100 mL,缓苗一周后置于遮雨荫棚中,进行水分处理,隔日浇灌。每个处理 15 个重复。水分处理通过一定梯度施水量来进行调控。先按 1 000 mL 的 Hoag-

land 营养液的无机盐及微量元素比例配置至 400 mL 的浓缩营养液,各处理中每次每盆均消耗 40 mL 浓缩营养液,依次以 CK 为对照,分别递增、递减 20 mL 水(水分处理具体措施如表 1),将 40 mL 浓缩营养液与相应处理的水混匀后浇灌。水分处理 60 d 后取样测试各形态指标和生理指标。

### 1.3 试验方法

取植株的新鲜叶片和根系,用蒸馏水冲洗,再在 20 mmol·L<sup>-1</sup>乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)溶液中交换 30 min,以去除根系表面粘附的金属离子,

再用蒸馏水冲洗干净, 滤纸吸干表面水分, 测量株高、根长和地上部分、地下部分鲜重、每盆生物量及叶面积。收获时用 Li-3000A 叶面积仪 (Li-Cor, USA) 测量单株叶面积 (LA,  $\text{cm}^2$ ), 鲜重根冠比 = 地下部分鲜重 / 地上部分鲜重 (贺正山等, 2010)。

取植株相同部位的鲜叶片, 用于测定各项生理指标, 各指标均测定 3 个平行, 3 次重复。超氧化物歧化酶 (SOD) 采用氮蓝四唑 (NBT) 光还原法测定, 以抑制 NBT 光化还原的 50% 为一个酶活力单位 (U); 过氧化氢酶 (CAT) 采用紫外吸收法测定, 以  $\text{OD}_{240}$  每分钟减少 0.1 为一个酶活力单位 (U), 过氧化物酶 (POD) 采用愈创木酚法测定, 以  $\text{OD}_{470}$  每增加 0.1 为一个酶活力单位 (U), 酶活性均以  $\text{U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。丙二醛含量 (MDA) 用硫代巴比妥酸法测定, 单位为  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  (Wang 等, 2004), 游离脯氨酸含量采用磺基水杨酸-酸性茚三酮比色法测定, 单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  (李合生, 2004)。

#### 1.4 数据处理

Excel 2003 软件处理试验数据并作图, 并用 SPSS17.0 软件对数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 梯度水分对生长指标的影响

由表 2 可知, 与对照组 (CK) 相比, 各处理组的生物量明显降低 ( $P < 0.05$ ), 其中, 中度干旱和重度干旱处理组生物量最低, 且明显低于其他各处理组, 而湿润各处理组之间差异不明显, 暗示干旱明显抑制鱼腥草的生长, 而湿润抑制其生长的程度较低; 与对照组相比, 中度干旱、重度干旱和水淹处理组株高明显降低 ( $P < 0.05$ ), 且重度干旱明显低于水淹处理组, 其余各处理组与对照组相比差异不明显, 也暗示干旱明显抑制鱼腥草株高的伸长生长; 除轻度湿润组外, 各处理组的叶面积指数与对照组相比显著降低 ( $P < 0.05$ ); 重度干旱处理组的根冠比明显高于对照组和其他各处理组, 且对照组和其他各处理组间无显著性差异; 各处理组间根长差异性不显著 ( $P < 0.05$ )。综上所述, 随着水分的减少或增加, 鱼腥草的生物量明显降低, 且重度干旱更明显抑制地上部分的生长。

表 2 梯度水分对鱼腥草形态指标的影响

Table 2 Effects of gradient moisture on the morphologic indexes in growth of *Houttuynia cordata*

处理号 No. of treatment	生物量 Biomass (g)	株高 Plant height (cm)	根长 Root length (cm)	叶面积指数 Leaf area index	根冠比 Root shoot ratio
重度干旱 HD	8.15 ± 1.14d	2.99 ± 0.30e	3.02 ± 0.59	0.63 ± 0.52d	3.37 ± 0.86a
中度干旱 MD	7.48 ± 1.31d	3.76 ± 0.25de	3.40 ± 0.23	1.79 ± 0.31bc	1.57 ± 0.52b
轻度干旱 LD	15.63 ± 1.71bc	5.48 ± 0.41abc	3.14 ± 0.24	2.77 ± 0.60b	0.94 ± 0.10b
对照 CK	20.97 ± 1.22a	5.91 ± 0.21ab	3.03 ± 0.17	4.01 ± 0.38a	1.09 ± 0.10 b
轻度湿润 LM	12.00 ± 1.05bc	5.72 ± 0.33 abc	3.43 ± 0.60	3.59 ± 1.21a	0.95 ± 0.30 b
中度湿润 MM	12.55 ± 1.85bc	6.63 ± 0.32a	3.43 ± 0.38	2.52 ± 0.59b	0.83 ± 0.07 b
重度湿润 HM	10.47 ± 1.99cd	5.06 ± 0.32bc	4.08 ± 0.44	1.50 ± 0.53bc	0.97 ± 0.22 b
水淹 WL	10.79 ± 1.00bc	4.55 ± 0.72cd	3.64 ± 0.45	1.41 ± 0.45bc	0.91 ± 0.16 b

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Different letters indicate significant difference between treatments at  $P < 0.05$ . The same below.

### 2.2 梯度水分对叶片 CAT、POD、SOD 活性的影响

从图 1 看出, 随着水分减少, CAT 活性显著增强, 依次比对照组增强 2.22、2.85、3.42 倍; 水分增加时, 各处理组 CAT 活性稍有增强, 但与对照组无显著性差异。水分减少至轻度干旱时, POD 活性显著降低, 但当水分亏缺到重度干旱时, POD 活性急剧增强, 达  $231.52 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ; 轻度湿润时, POD 活性显著降低到最低点, 仅  $37.11 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ; 湿润各处理组 POD 活性普遍较低, 且显著低于对照组和干旱各处理组。除水淹组外, 与对照组相比, 各处理组 SOD 活性均显著性升高, 轻度干

旱时 SOD 活性最强, 达  $620.18 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ ; 水淹时 SOD 活性最低, 仅  $27.77 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ , 其他水湿状态的各处理组之间 SOD 活性无显著性差异。因此, SOD 活性对逆境胁迫更具敏感性。

### 2.3 梯度水分对叶片 MDA 含量的影响

丙二醛 (MDA) 是自由基对细胞膜脂进行过氧化伤害的最终产物之一, 其含量变化可表示脂质过氧化的程度 (Tang 等, 2007)。因而, MDA 的含量是间接反映细胞膜脂过氧化伤害水平的重要指标。从图 2 看出, 除了轻度湿润组外, 梯度水分使叶中各处理间 MDA 含量均显著高于对照组。随着水分减

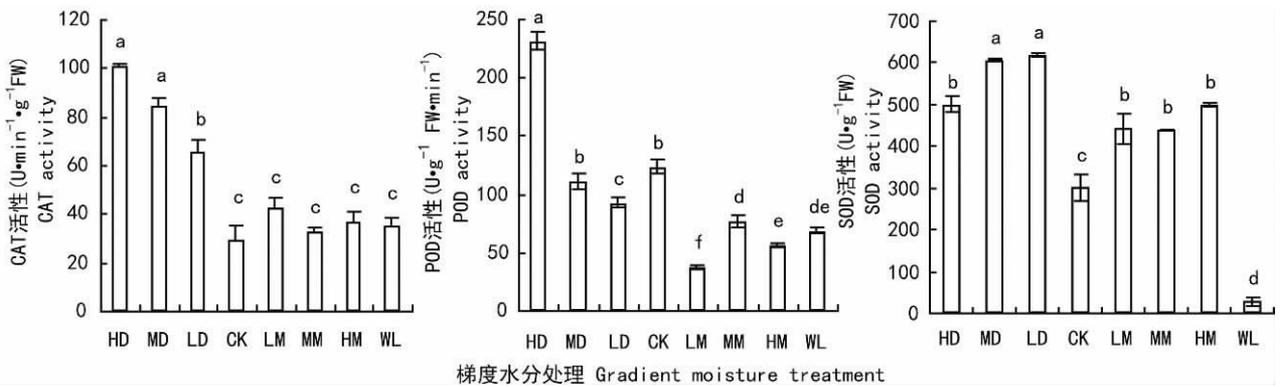


图 1 梯度水分处理对叶片 CAT、POD、SOD 活性的影响

Fig. 1 Effects of gradient moisture treatment on CAT, POD, SOD activity in the leaves

少,MDA 含量持续大幅上升,依次比对照组增加 2.53、2.76、3.01 倍;中度湿润时,MDA 含量急剧增加,比对照组提高 1.99 倍;重度湿润时,MDA 含量稍有下降,比对照组提高 1.90 倍。总的看来,干旱条件下 MDA 含量普遍高于水湿条件。说明干旱对鱼腥草的伤害更明显。

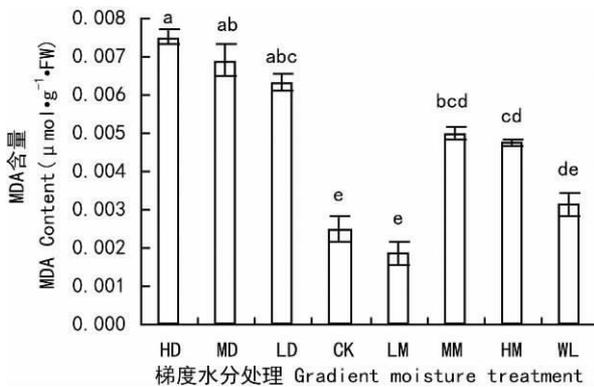


图 2 梯度水分处理对丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effects of gradient moisture treatment on MDA content in the leaves

#### 2.4 梯度水分对叶片脯氨酸含量的影响

脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质,使植物保持一定的含水量和膨压,以维持细胞的水分平衡(Bajji 等,2001;孔德鑫,2010)。从图 3 看出,水分减少时,只有重度干旱时,脯氨酸含量显著增加,高出对照组 3.00 倍,其他处理组与对照组相比,虽有所增加,但无显著性差异,这暗示鱼腥草对水分减少表现出一定的耐受性;随着水分的增加,轻度湿润和中度湿润处理组的脯氨酸含量均显著高于对照组,依次是对照组的 4.01、3.39,而重度湿润和水淹处理组与对照组相比差异不明显。总之,水分轻度

增加时,鱼腥草脯氨酸含量明显增加,并随着水分的逐渐增多,呈下降趋势。

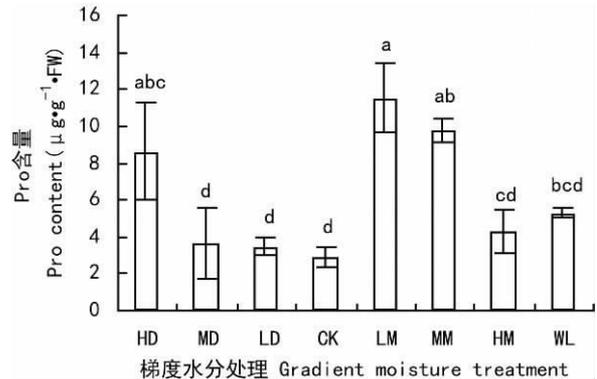


图 3 梯度水分处理对脯氨酸含量的影响

Fig. 3 Effects of gradient moisture treatment on Pro content in the leaves

### 3 结论和讨论

一般认为,阴湿环境有利于鱼腥草的生长。在我国长江流域及其以南地区,鱼腥草常生于沟边、溪边和林下湿地上(程用谦,1982)。安徽大别山鹞落坪自然保护区林间、林缘、路旁、田埂、田沟、水渠等地,均有野生自然分布。本研究结果显示:干旱、潮湿与水淹等多种水分条件均显著减少鱼腥草生物量;中度、重度干旱、水淹时,株高显著降低;重度干旱时,根冠比显著提高。说明中度干旱乃至重度干旱已对鱼腥草构成胁迫伤害,只有通过消耗一部分光合作用产物参与应激与修复逆境伤害,如株高降低,叶面积指数减少,可导致蒸腾量减少,以应对干旱;且重度干旱时,实际上已形成盐伤害(Hegedus

等,2001),鱼腥草在重度干旱时形成较大的根冠比,有利于提高根系吸收面积、增加吸水,降低蒸腾作用,从而增强抗旱能力。水分饱和时,根系缺氧,光合效率受到影响(Vartapetian 等,1997),从而影响到生物量、株高及叶面积指数。

干旱时鱼腥草 CAT 活性显著增强,与文献报道稍有不同(杨玉兰等,2010;张盼盼等,2010)的。他们发现,随着干旱胁迫程度的加剧,CAT 活性先增强,然后下降至叶子枯黄。笔者认为,鱼腥草 CAT 活性与 SOD、POD 活性与其生物学特性有关。轻度干旱时,SOD 活性增强,重度干旱时,SOD 活性下降,POD 活性增强,与文献报道一致(Ozkur 等,2009;Chandra 等,2010)。轻度干旱时,主要是 SOD 催化  $\cdot O_2^-$  形成  $H_2O_2$  和  $O_2$ ,以清除氧自由基,而重度干旱时,SOD 活性虽然下降,但仍保持较高的水平,产生的  $H_2O_2$  需 POD 和 CAT 协同作用予以清除,转化为水和分子氧(Liochev 等,2010),POD 活性的表达有一定的滞后效应。

鱼腥草脯氨酸含量对干旱的变化不敏感,与张显强等(2004)对鳞叶蕨的研究结果一致。随着干旱程度的加剧,MDA 含量显著增加,与杨玉兰等(2010)报道的结果一致。干旱使鱼腥草细胞膜脂过氧化,细胞严重受损。可见,干旱对鱼腥草的生长已构成了严重胁迫。轻度湿润时,MDA 含量比对照组略低,但脯氨酸含量最高。可能通过脯氨酸来调整细胞的渗透压和水分平衡,说明鱼腥草对轻度湿润水分条件适应性较强。中度湿润和重度湿润时,MDA 含量上升。原因是根系缺氧、代谢受阻,细胞中积累较多的自由基,过氧化导致膜伤害(汪贵斌等,2009)。而随着水分的进一步增多,脯氨酸含量呈下降趋势,与贾国梅等(2009)报道的结果一致。

与对照组相比,湿润各处理组 CAT 活性没有显著的差异,与 Yin 等(2009)的报道不同。这可能与鱼腥草的生物学特性和 POD 低水平表达、SOD 高水平表达有关。SOD 活性增强,在根系缺氧时,SOD 活性能将  $\cdot O_2^-$  转化成  $H_2O_2$  和  $O_2$ ,根系缺氧得以缓解。

值得注意的是:水淹处理组。SOD 活性最低,与 Zheng 等(2009)报道一致,而 CAT 活性、POD 活性、MDA 含量均处于较低水平,与汪贵斌等(2009)报道不同。同时,生物量、株高、叶面积指数及根冠比也处于较低水平。可能由于氧自由基过氧化导致细胞质膜损伤、破裂,逐渐形成了通气组织,使根系

缺氧大为缓解,SOD、CAT、POD 活性降低,MDA 含量下降;同时也可能与鱼腥草生物学特性有关。因而,鱼腥草在自然生境中有选择湿地、阴暗环境的倾向,但明显影响生长。

综上所述,生物量、株高和叶面积指数均受到了梯度水分处理的影响。CAT、POD 和 SOD 活性和 MDA 含量均不同程度地受到了梯度水分处理的影响。除脯氨酸含量以外,湿润各处理组的其他生理指标均明显低于干旱各处理组。水淹时,各项生理指标均较低。在本研究中,中度干旱或中度湿润的水分条件已对鱼腥草形成逆境胁迫。综合各项指标,在沙培条件下,栽培鱼腥草较适宜的水分条件可以控制在轻度干旱和湿润之间。

致谢 在论文撰写和修改过程中得到了中国科学院植物研究所植被与环境变化重点实验室马克平研究员和张守仁研究员的指导;试验过程中得到安徽科技学院实验中心、中药基地、SPF 基地、园艺基地的老师和 2007 级生物科学专业的杨义文、程龙同学以及 2009 级生物科学专业的吴红森、王磊等同学的帮助,在此一并表示感谢!

#### 参考文献:

- 安徽植物志协作组. 1986. 安徽植物志(第 2 卷)[M]. 北京:中国展望出版社
- 程用谦. 1982. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,20:81
- 李合生. 2004. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社
- Arora A, Sairam RK, Srivastava GC. 2002. Oxidative stress and anti-oxidative systems in plants[J]. *Curr Sci*, **82**(10):1 227-1 238
- Bajji M, Lutts S, Kinet JM. 2001. Water deficit effect on solution contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum*) cultivars performing differently in arid conditions[J]. *Plant Sci*, **160**:669-681
- Bian QQ(边清泉), Li TD(李天东), He ZJ(何志坚), et al. 2009. Simultaneous determination of three effective components in *Houttuynia cordata*(鱼腥草中 3 种有效成分含量的测定)[J]. *Chin J Anal Lab*(分析试验室), **28**(5):57-60
- Bowler C, Van MM, Inze D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, **43**:83-116
- Chandra A, Dubey A. 2010. Effect of ploidy levels on the activities of 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase, superoxide dismutase and peroxidase in *Cenchrus* species grown under water stress [J]. *Plant Physiol Biochem*, **48**:27-34
- Fridovich I. 1975. Superoxide dismutase[J]. *Ann Rev Biochem*, **44**:147-159
- He ZS(贺正山), Cai ZQ(蔡志全), Cai CT(蔡传涛). 2010. Effect of water and nitrogen on photosynthetic characteristics and growth of *Rauwolfia vomitoria*(不同水分和施氮量对催吐

- 萝芙木光合特性和生长的影响[J]. *Chin J Eco-Agr*(中国生态农业学报), **18**(4):758—764
- Hegedus A, Erdei S, Horváth G. 2001. Comparative studies of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detoxifying enzymes in green and greening barley seedlings under cadmium stress[J]. *Plant Sci*, **160**:1 085—1 093
- Jia GM(贾国梅), Zhang HY(张红燕), Han JC(韩京成), et al. 2009. Effects of soil water contents on the eco-physiological characteristics of Bermuda grass Leaves(土壤含水量对狗牙根叶片生理生态指标的影响)[J]. *Res Soil Water Conserv*(水土保持研究), **16**(5):199—202
- Kong DX(孔德鑫), Liang HL(梁惠凌), Wei JQ(韦记青), et al. 2010. Effect of soil drought stress on growth and some physiological properties of *Abrus mollis* seedlings(土壤干旱胁迫对毛鸡骨草幼苗生长及某些生理特性的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(4):521—525
- Li D(李丹), Li L(李力), Zhang LH(张柳红). 2010. Experimental study on anti-cytomegalovirus effect of active ingredients in *Houttuynia*(鱼腥草有效成分抗巨细胞病毒的实验研究)[J]. *Matern Child Health Care Chin*(中国妇幼保健), **36**:5 463—5 464
- Liochev SI, Fridovich I. 2010. Mechanism of the peroxidase activity of Cu,Zn superoxide dismutase[J]. *Free Radical Biol Med*, **48**:1 565—1 569
- Ozkur O, Ozdemir F, Bor M, et al. 2009. Physiochemical and antioxidant responses of the perennial xerophyte *Capparis ovata* to drought[J]. *Environ Exp Bot*, **66**:487—492
- Qi YC(齐迎春), Tian GZ(田国政), Hu C(胡诚). 1999. Study of quality comparison of cultivating and wild *Houttuynia cordata*(栽培与野生鱼腥草质量比较研究)[J]. *Spe Wild Econ Animal Plant Res*(特产研究), **4**:26—27
- Qu WY(瞿万云), Tan ZW(谭志伟), Yu AN(余爱农), et al. 2010. Analysis of the chemical constituents of volatile oil from *Houttuynia cordata* in Enshi mountainous area(恩施山区鱼腥草挥发油的化学成分分析)[J]. *J Hubei Univ Nation: Nat Sci Edi*(湖北民族学院学报·自然科学版), **28**(1):6—9, 36
- Tang T, Shi S, Li D, et al. 2007. Physiological and biochemical responses of *Scytonema javanicum*(*Cyanobacterium*) to salt stress [J]. *J Arid Environ*, **71**(3):312—320
- Vartapetian BB, Jackson MB. 1997. Plant adaptation to anaerobic stress[J]. *Ann Bot*, **79**: 3—20
- Wang GB(汪贵斌), Cai JF(蔡金峰), He XH(何肖华). 2009. Effects of water logging stress on morphology and physiology of *Camptotheca acuminata*(涝渍胁迫对喜树幼苗形态和生理的影响)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报), **33**(1):134—140
- Wang SH, Yang ZM, Yang H. 2004. Copper induced stress and antioxidative responses in roots of *Brassica juncea*[J]. *Bot Bull Acad Sin*, **45**(3):203—212
- Yang YL(杨玉兰), Tang JH(唐加红), Liu D(刘丹), et al. 2010. Effects of drought stress on the protective enzyme activity and membrane lipid peroxidation of Ningnuomai 1(干旱胁迫对宁糯麦1号膜脂过氧化及保护酶活性的影响)[J]. *Crops*(作物杂志), **5**:43—47
- Yang YX(杨玉霞), Wu W(吴卫), Zheng YL(郑有良), et al. 2003. Study on comparative anatomy of different population of *Houttuynia*(蕺菜属不同居群间比较解剖学研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **23**(5):429—435
- Yin DM, Chen SM, Chen FD, et al. 2010. Morpho-anatomical and physiological responses of two *Dendranthema* species to water-logging[J]. *Environ Exp Bot*, **68**:122—130
- Zhang J(张剑), Zeng HY(曾虹燕), Huang Y(黄炎), et al. 2010. Extraction of flavonoid from *Houttuynia cordata* by ultrasound and its anti-oxidation(超声波协同提取鱼腥草黄酮及其抗氧化性)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(1):141—144
- Zhang PP(张盼盼), Feng BL(冯佰利), Wang PK(王鹏科), et al. 2010. Leaf senescence and protective enzyme system of broom-corn millet under drought condition(干旱条件下糜子叶片衰老与保护酶活性变化)[J]. *Agric Res Arid Areas*(干旱地区农业研究), **28**(2):99—108
- Zhang XQ(张显强), Luo ZQ(罗在柒), Tang JG(唐金刚), et al. 2004. Effect of high temperature and drought stress on free proline content and soluble sugar content of *Taxiphyllum taxirameum*(高温和干旱胁迫对鳞叶蕨游离脯氨酸和可溶性糖含量的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **24**(6):570—573
- Zheng CF, Jiang D, Liu FL, et al. 2009. Effects of salt and water-logging stresses and their combination on leaf photosynthesis, chloroplast ATP synthesis, and antioxidant capacity in wheat [J]. *Plant Sci*, **176**:575—582

(上接第 52 页 Continue from page 52)

- (1):138—140
- Wang WL(王文莉), Zhao LY(赵兰勇), Feng Z(丰震), et al. 2005. Studies on pollen microscopic morphology and cultivars classification in pingyin rose(平阴玫瑰花粉亚显微形态及品种分类研究)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **32**(3):527—530
- Wang XL(王勋陵), Ma J(马骥). 1999. A study on leaf structure and the diversity of xerophytes ecology adaptation(从旱生植物叶结构探讨其生态适应的多样性)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **19**(6):787—792
- Xiao W(肖雯). 2002. Microstructures in the nutritional organs of five halophytes(五种盐生植物营养器官显微结构观察)[J]. *J Gansu Agri Univ*(甘肃农业大学学报), **37**(4):421—427
- Yang YX(杨玉霞), Wu W(吴卫), Zheng YL(郑有良), et al. 2004. Advances in studies on safflower(*Carthamus Tinctorius*) (红花研究进展)[J]. *J Sichuan Agric Univ*(四川农业大学学报), **22**(4):365—369
- Yao MM(姚苗苗), Ren AN(任爱农), Dong ZC(董仲才). 2010. RP-HPLC determination of safflorin A and safflower yellow A in *Carthamus tinctorius*(RP-HPLC法同时测定红花中羟基红花黄色素 A 与红花黄色素 A 的含量)[J]. *Chin J Pharm Anal*(药物分析杂志), **30**(2):89—91
- Ye ZW(叶子葳), Yan MT(严慕婷), Ye CX(叶创兴), et al. 2010. Leaf structure of *Avicennia marina* and its ecological adaptability(红树植物白骨壤叶片的解剖结构及其生态适应性)[J]. *Guihaia*(广西植物), **30**(2):174—176
- Zhu YJ(朱宇旌), Zhang Y(张勇), Hu ZZ(胡自治), et al. 2001. Studies on the microscopic structure of *Puccinellia tenuiflora* roots under different salinity stress(小花碱茅根适应盐胁迫的显微结构研究)[J]. *Chin J Grass*(中国草地), **23**(1):37—401