

# 不同水分处理对水芹生长及产量的影响

龙梦千<sup>1</sup>, 冯洁<sup>1</sup>, 李振东<sup>1</sup>, 黄凯丰<sup>1</sup>, 朱俊豪<sup>2</sup>, 何佩云<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学生命科学学院 贵阳 550001; 2. 贵州松树湾生态科技农业发展有限公司 贵阳 550001)

**摘要:** 为了明确不同水分处理对水芹生长及产量的影响, 以大叶水芹为试验材料, 设置了干旱、干旱复水、湿润、水淹等 4 个水分处理, 研究了其对水芹根系形态、抗氧化酶活性及产量的影响。结果表明, 在水淹处理下, 水芹株高、总叶绿素含量、类胡萝卜素含量、根系活力、地上部分干生物量以及产量均最高, 分别达到 36.17 cm、3.44 mg·g<sup>-1</sup>、0.38 mg·g<sup>-1</sup>、0.50 μg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>、0.67 g、11 913.75 kg·hm<sup>-2</sup>; 在湿润处理下根系总长度、表面积、体积均最大, 分别达到 299.06 cm、101.61 cm<sup>2</sup> 和 5.46 cm<sup>3</sup>; 在干旱处理下 POD 活性达到最高, 为 4 120.00 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>。综上所述, 水淹处理时大叶水芹具有较好的长势和较高的产量。

**关键词:** 水芹; 干旱胁迫; 产量; 根系形态; 抗氧化酶

中图分类号: S645.9

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)05-081-04

## Different water treatments affect growth and yield of watercress

LONG Mengqian<sup>1</sup>, FENG Jie<sup>1</sup>, LI Zhendong<sup>1</sup>, HUANG Kaifeng<sup>1</sup>, ZHU Junhao<sup>2</sup>, HE Peiyun<sup>1</sup>

(1. School of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, Guizhou, China; 2. Guizhou Songshuwan Ecological Science and Technology Agriculture Development Co. Ltd, Guiyang 550001, Guizhou, China)

**Abstract:** Four water treatments, namely drought, drought rehydration, wetting and flooding, were set up to study the effects of different water treatments on root morphology, antioxidant enzyme activity and yield of watercress. The results show that under waterlogging treatment, plant height, total chlorophyll content, carotenoid content, root activity, above-ground biomass and yield of watercress were the highest, 36.17 cm, 3.44 mg·g<sup>-1</sup>, 0.38 mg·g<sup>-1</sup>, 0.50 μg·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, 0.67 g, 11 913.75 kg·hm<sup>-2</sup>, respectively. The maximum root length, surface area and volume were 299.06 cm, 101.61 cm<sup>2</sup> and 5.46 cm<sup>3</sup> under wetting treatment, respectively. POD content reached the highest under drought treatment, which was 4 120.00 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. In conclusion, the watercress has better growth and higher yield under waterlogging treatment.

**Key words:** Watercress; Drought stress; Yield; Root morphology; Antioxidant enzyme

水芹别名楚葵、牛草、刀芹、水英等, 为多年生草本植物, 伞形花科, 是我国特色传统水生蔬菜之一<sup>[1-2]</sup>。水芹的可食用茎、叶中含有蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质、黄酮类、酚类等物质, 具有抗炎、抗氧化等医疗保健功效, 是一种药食同源的蔬菜<sup>[3-5]</sup>。此外, 水芹还具有独特的口感和风味, 在我国市场深受欢迎。目前, 水芹的栽培方式有水田栽培和旱地栽培(湿润栽培)两种模式, 其中水田栽培是指在栽培过程中, 保持田内 3~20 cm 深的明水, 而旱地栽培只需要在栽培过程中保持土壤表面湿润<sup>[6]</sup>, 湿润栽培不仅减少了水芹的栽培用水, 而且改变了水芹只能在水田种植的传统栽培方式, 为水芹

能够在全国各地种植创造了条件。石如琼等<sup>[7]</sup>研究表明, 土壤水分控制在 80%~90%时, 较适合水芹生长, 当土壤水分低于该范围时, 水芹的产量则表现为逐渐下降的趋势<sup>[7]</sup>。大叶水芹为一种新型的水芹栽培种, 相比野生水芹, 其黄酮、膳食纤维和硒含量更高, 是一种优质的保健蔬菜<sup>[8-9]</sup>。前人的研究多为水分处理下水芹产量和品质的变化, 目前鲜有揭示水分处理对水芹的形态和生理的影响, 并且大叶水芹为优质的种植品种, 为了明确大叶水芹对水分的响应, 以其为试验材料, 试验设置了水淹、湿润、干旱、干旱复水 4 个处理, 探究大叶水芹在不同供水条件下形态、生理及产量的变化, 以期水芹的高

收稿日期: 2021-04-17; 修回日期: 2022-03-29

基金项目: 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2020]12-10 号); 贵阳市白云区科技计划项目(野生蔬菜资源收集、鉴定及配套技术研究与示范)

作者简介: 龙梦千, 男, 在读本科生, 主要从事蔬菜栽培的相关研究。E-mail: 2516399177@qq.com

通信作者: 何佩云, 女, 教授, 研究方向为植物生理生态。E-mail: 2899147978@qq.com

产及节水栽培提供部分技术支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于2020年8月18日在贵州师范大学荞麦遗传育种研究所的温室内进行,供试水芹材料为大叶水芹,由贵州师范大学荞麦遗传育种研究所选育。供试土壤为黄壤土,土壤速效磷、速效钾、铵态氮和有机质的含量( $w$ ,下同)分别为:29.48、17.36、27.45、43.36  $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

### 1.2 试验设计

试验共设置干旱(保持土壤含水量在60%~65%)、干旱复水(当土壤含水量达到干旱水平时,补水使其恢复到湿润水平)、湿润(保持土壤含水量在80%~85%)、水淹(保持土壤表面有5~7 cm深明水,土壤含水量为100%)等4个处理。水芹采用花茎移栽方式,移栽于面积为 $0.25\text{ m}^2$ 、深0.35 m的组合式塑料盆中,株距为 $0.1\text{ m}\times 0.1\text{ m}$ ,移栽前施用有机肥 $3750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和无机肥 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 作为基肥,之后不再施肥,每个处理种3个塑料盆、每个塑料盆为1次重复,共3次重复。当苗高为10 cm时,开始水分处理。除水淹组外,每个塑料盆中央埋入一根负压式土壤湿度计(北京北瑞未来分析仪器有限公司)以监测水势,根据团队经验<sup>[10]</sup>,土壤含水量为60%~65%、80%~85%所对应的水势分别为 $-(20\sim 30)\text{ kPa}$ 、 $-(40\sim 50)\text{ kPa}$ ,于每日08:00、12:00、18:00查看负压式土壤湿度计的表头值、用直尺测量水淹组明水高度,以便及时补水,保持土壤含水量在所设置的范围之内。

### 1.3 指标及测定方法

于2020年11月1日收获水芹,收获时,每个处理随机选取6株水芹,小心将其挖出,尽量避免损伤根系,带回实验室洗净,以吸水纸擦干,用剪刀将水芹的地上部分和根系分开,用于测定叶片的抗氧化酶活性、光合色素(叶绿素和类胡萝卜素)含量、根系活力和形态。

**1.3.1 株高、地上部分干鲜质量及产量** 以游标卡尺测量地上部分长度记为株高,地上部分鲜质量用万分之一天平测量,后放入烘箱 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青20 min、 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘至恒质量,用于测定干质量,小区产量为水芹地上部鲜质量的总和,换算单位为 $1\text{ hm}^2$ 产量。

**1.3.2 根系形态及根系活力的测定** 使用根系扫描仪(型号:GXY-A,浙江托普仪器有限公司)测定

水芹的根系长度、根体积、根表面积以及根平均直径等根系形态指标;采用TTC还原法测定根系活力<sup>[11]</sup>。

**1.3.3 抗氧化酶活性测定** 使用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定水芹叶片中超氧化物歧化酶(SOD)的活性,使用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,使用紫外分光光度法<sup>[11]</sup>测定过氧化氢酶(CAT)活性。

**1.3.4 光合色素含量的测定** 采用比色法对水芹叶片中叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素含量进行测定,总叶绿素含量为叶绿素a和叶绿素b含量之和<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据分析

利用Excel 2019进行试验数据处理,利用SPSS 23.0对试验数据进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分处理对水芹株高、地上部分干鲜质量及产量的影响

由表1可以看出,大叶水芹的株高和产量均呈现出随栽培时水分的增加而逐渐上升趋势,表现为水淹>湿润>干旱复水>干旱,且各处理之间差异显著;地上部分鲜质量呈现出随栽培时水分的增加呈逐渐上升的趋势,其中地上部分鲜质量以水淹处理显著高于其他3个处理;地上部分干质量随栽培时水分的增加呈先上升后下降再上升的趋势,地上部分干质量以干旱处理显著低于其他3个处理。

表1 水分处理对水芹株高、地上部分干鲜质量及产量的影响

处理	株高/cm	地上部分鲜质量/g	地上部分干质量/g	产量/ ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )
干旱	23.83 d	4.08 b	0.31 b	3 830.70 d
干旱复水	25.17 c	5.59 b	0.65 a	4 094.70 c
湿润	27.83 b	6.79 b	0.58 a	5 210.60 b
水淹	36.17 a	10.35 a	0.67 a	11 913.75 a

注:同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

### 2.2 水分处理对水芹根系形态、活力的影响

由表2可以看出,大叶水芹的总根系长度、根表面积和根体积均呈现出随栽培时水分增加先增加后降低的趋势,表现为:湿润>水淹>干旱复水>干旱,其中总根系长度和根表面积各处理间差异显著,水淹和湿润处理的根体积显著高于干旱和干旱复水处理。根系平均直径和根系活力均呈现出随栽培时水分的增加先降低后增加的趋势,表现为水淹>湿润>干旱>干旱复水,水淹和湿润处理的根

系平均直径显著高于干旱和干旱复水处理,各处理间根系活力差异显著。

表2 水分处理对水芹根系形态、活力的影响

处理	总根系长度/cm	根表面积/cm <sup>2</sup>	根体积/cm <sup>3</sup>	根系平均直径/mm	根系活力/( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )
干旱	74.72 d	18.12 d	3.71 b	0.81 b	0.156 c
干旱复水	154.49 c	30.78 c	3.80 b	0.65 c	0.116 d
湿润	299.06 a	101.61 a	5.46 a	0.95 a	0.212 b
水淹	219.12 b	77.63 b	5.15 a	1.02 a	0.504 a

### 2.3 水分处理对水芹叶片抗氧化酶活性的影响

由表3可以看出,大叶水芹叶片的SOD和CAT活性均呈现出随水分的增加先增加后降低的趋势,其中SOD活性湿润>干旱复水>干旱>水淹,湿润显著高于其他处理;CAT活性干旱复水>湿润>干旱>水淹,各处理之间差异显著。POD活性则呈现出随水分的增加持续快速降低的趋势,以水淹处理时最低,干旱处理时最高,各处理之间差异显著。

表3 水分处理对水芹抗氧化酶活性的影响

处理	SOD活性/( $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$ )	POD活性/( $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	CAT活性/( $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )
干旱	131.25 b	4 120.00 a	128.00 c
干旱复水	131.94 b	3 533.33 b	348.00 a
湿润	142.61 a	3 200.00 c	156.00 b
水淹	127.07 c	2 466.67 d	92.00 d

### 2.4 水分处理对水芹叶片光合色素含量的影响

由表4可以看出,水芹叶片叶绿素a、类胡萝卜素含量均在水淹栽培下最高,且显著高于其他处理,干旱栽培下叶绿素a、类胡萝卜素含量最低;水芹叶片叶绿素b含量在水淹栽培下最高,干旱复水栽培下的含量最低,且各栽培条件之间差异达到显著水平;水芹叶片总叶绿素含量呈现出随着水分的增加而逐渐升高的趋势,且水淹栽培下水芹叶片的总叶绿素含量显著高于其他栽培条件。

表4 水分处理对水芹叶片叶绿素含量的影响 ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )

处理	w(叶绿素a)	w(叶绿素b)	w(类胡萝卜素)	w(总叶绿素)
干旱	0.83 c	0.95 b	0.13 c	1.78 c
干旱复水	1.56 b	0.54 d	0.28 b	2.11 b
湿润	1.52 b	0.62 c	0.27 b	2.14 b
水淹	2.44 a	0.99 a	0.38 a	3.44 a

## 3 讨论与结论

根系是固定植物的器官,具有从地下吸收水分和养分等功能,所以也与产量形成有关<sup>[12]</sup>。有研究指出,裸果木、水稻、苜蓿等<sup>[13-15]</sup>植物在受到干旱胁迫时,根系会增粗,根冠比变大,从而增加水分和养

分的吸收;但燕麦、甘蔗等<sup>[16-17]</sup>植物受到干旱胁迫时,根系萎缩,表明也有植物并不是通过根系增粗来适应干旱环境。本研究结果表明,随着供水的增加,大叶水芹的总根系长度、根表面积和根体积表现为先增加后降低,湿润处理时总根系长度最长、根表面积和根体积最大,干旱处理时的根系最短、根表面积和根体积最小,但根系平均直径比干旱复水大,表明在一定的干旱胁迫范围内,水芹能通过根系变粗来适应缺水环境,但随着水分胁迫的加剧,其根部反而会变得萎缩,湿润栽培理论上更有从土壤中获得养分和水分的能力,但实际的产量却低于水淹栽培处理。如何利用这一特点,以增加湿润栽培下水芹的产量,值得进一步去探讨,以实现水芹节水与高产的统一。

抗氧化酶活性和叶绿素含量是衡量植物响应干旱胁迫能力的指标之一<sup>[18-20]</sup>。笔者研究表明,大叶水芹的SOD和CAT活性随水分的增加呈先增加后降低的趋势,POD活性则随水分的增加逐渐降低,表明水芹在受到水分胁迫时,可以以体内抗氧化酶活性升高的形式,减少干旱环境下活性氧的增加对细胞的伤害,这与水稻<sup>[14]</sup>、百合花<sup>[21]</sup>等植物上的研究结果一致,但与雷瑞祥等<sup>[22]</sup>的研究结果不同,其研究表明,远志的抗氧化酶活性随着栽培时水分的减少呈先降低后升高的趋势,这可能与轻度干旱有利于远志愈伤组织生长、导致抗氧化酶活性呈现先降低后升高的趋势有关。从笔者研究结果还可以看出,大叶水芹的总叶绿素含量随水分的减少而呈持续降低的趋势,这与金银花、雷竹等<sup>[23-24]</sup>植物在干旱下总叶绿素含量上升的趋势不同,表明水芹对干旱胁迫的敏感度较高。

适宜的土壤含水量在作物的生长期尤为重要,然而每种作物需要的最适土壤含水量存在差异。樊建英等<sup>[25]</sup>在对马铃薯的研究中发现,马铃薯的最适灌水量为 $110\text{ m}^3\cdot 667\text{ m}^{-2}$ ;余玲欢等<sup>[26]</sup>发现,番茄在基质含水量为50%的时候产量最高,长势最好,但品质不是最佳;Kwon等<sup>[27]</sup>通过比较湿地栽培和深水栽培下水芹的生长发现,深水栽培的水芹株高和产量均大于湿地栽培。本试验结果表明,在供水减少的条件下,大叶水芹的株高和地上部分鲜质量降低,并发生减产的情况,这与Kwon等<sup>[27]</sup>的研究结果一致,表明水芹更适合水淹栽培。湿润栽培下水芹产量降低可能与供水减少降低了水芹叶绿素含量,致使水芹进行光合作用的能力下降有关。本试验只研究了不同水分处理对水芹生长和产量的影

响,关于对水芹品质的影响还需要进一步研究。

综上所述,水淹栽培下水芹的株高和产量最高,并且两者均随着栽培时水分的减少而降低;水芹的总叶绿素含量随着栽培时水分的减少而表现为降低的趋势,干旱胁迫不利于水芹的光合作用。总体来说,水淹栽培更适合在农业生产上推广。

### 参考文献

- [1] 龚小雅,吴凤芝,朱维伟.土壤含水量及栽培茬次对水芹生长和品质的影响[J].江苏农业科学,2020,48(14):183-186.
- [2] 李伟明,黄忠阳,魏猷刚,等.生物有机肥对水芹生长及品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(1):65-68.
- [3] 刘雄,马腾,高建德,等.芹菜药用价值研究进展[J].甘肃中医学院学报,2015,32(2):74-77.
- [4] 李效尊,尹静静,杜绍印,等.水生蔬菜营养及药用价值研究进展[J].长江蔬菜,2015(22):25-30.
- [5] 袁名安,张尚法,江丽,等.水芹营养与功能保健成分研究[J].园艺与种苗,2016(7):38-40.
- [6] 乐有章,刘义满,魏玉翔.水生蔬菜答农民问(42):水芹主要栽培方式有哪些?[J].长江蔬菜,2021(3):48-51.
- [7] 石如琼,江解增,田秋芳,等.土壤含水量对湿栽水芹冬春季产量和品质的影响[J].上海农业学报,2015,31(6):61-64.
- [8] 黄凯丰,时政,欧腾,等.水芹的营养保健成分分析[J].江苏农业科学,2011,39(5):434-435.
- [9] 黄凯丰,时政,宋毓雪,等.水芹的理化特性研究[J].北方园艺,2011(9):23-25.
- [10] 周良.干旱胁迫对苦荞产量形成和药理活性的影响[D].贵阳:贵州师范大学,2020.
- [11] 肖家欣.植物生理学实验[M].合肥:安徽人民出版社,2010.
- [12] 周倩,黄安诚.植物根系化合物调控微生物菌群研究进展[J].植物生理学报,2020,56(11):2288-2295.
- [13] 黄海霞,杨琦琦,崔鹏,等.裸果木幼苗根系形态和生理特征对水分胁迫的响应[J].草业学报,2021,30(1):197-207.
- [14] 饶玉春,戴志,朱怡彤,等.水稻抗干旱胁迫的研究进展[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2020,43(4):417-429.
- [15] 张翠梅,师尚礼,刘珍,等.干旱胁迫对不同抗旱性苜蓿品种根系形态及解剖结构的影响[J].草业学报,2019,28(5):79-89.
- [16] 王晓雪,李越,张斌,等.干旱胁迫及复水对燕麦根系生长及生理特性的影响[J].草地学报,2020,28(6):1588-1596.
- [17] 罗晨昇,廖韦卫,韦海球,等.干旱胁迫对甘蔗生长研究进展[J].中国热带农业,2020(5):70-73.
- [18] 王福祥,肖开转,姜身飞,等.干旱胁迫下植物体内活性氧的作用机制[J].科学通报,2019,64(17):1765-1779.
- [19] 程艳,陈璐,米艳华,等.水稻抗氧化酶活性测定方法的比较研究[J].江西农业学报,2018,30(2):108-111.
- [20] 张玉玉,王进鑫,马戎,等.干旱后复水对侧柏幼苗叶绿素含量的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(5):10-17.
- [21] 黄尧瑶,邓明华,彭春秀,等.百合花瓣抗氧化酶系统对干旱胁迫响应的研究[J].园艺学报,2020,47(4):788-796.
- [22] 雷瑞祥,杨冰月,高静,等.干旱胁迫对远志愈伤组织次生代谢产物含量及抗氧化酶活性的影响[J].北方园艺,2020(22):109-116.
- [23] 马雪梅,吴朝峰.干旱胁迫对金银花叶片叶绿素含量及荧光特性的影响[J].江苏农业科学,2018,46(17):133-136.
- [24] 张玮,王鑫梅,潘庆梅,等.干旱胁迫下雷竹叶片叶绿素的高光谱响应特征及含量估算[J].生态学报,2018,38(18):6677-6684.
- [25] 樊建英,相丛超,封志明,等.河北二季作区马铃薯节水灌溉研究初报[J].中国瓜菜,2021,34(4):75-78.
- [26] 余玲欢,樊怀福.水分亏缺对番茄生长、产量和果实品质的影响[J].中国瓜菜,2020,33(11):39-42.
- [27] KWON S W, JIN S Y, RAE R I, et al. Growth characteristics of water dropwort (*Oenanthe javanica*) in winter season on different water levels in paddy field greenhouse cultivation[J]. Journal of Agriculture & Life Science, 2016, 50(3): 13-20.