

广布种香附子坪用价值评价与水分胁迫形态生理响应

赵珩¹, 肖承海²

¹长江大学园艺园林学院, 湖北 荆州

²襄城区尹集乡农业技术推广服务中心, 湖北 襄阳

收稿日期: 2024年4月23日; 录用日期: 2024年7月1日; 发布日期: 2024年7月8日

摘要

目的: 比较香附子在淹水和干旱胁迫下的抗性生理和叶片表皮细胞形态的响应, 为野草香附子应用于抗旱和抗涝性坪用植被提供依据。方法: 本实验对香附子各项指标进行坪用价值分析; 采用双套盆法对野草香附子进行淹水(S)、持续干旱(G)和正常供水(CK)共3个处理的水分胁迫试验, 分别于处理7d后测定野草香附子的各项生理指标; 在大田条件下, 采用景观-生态-应用草坪质量评价体系, 综合评价野草香附子的草坪应用价值。结果: 结果表明, 香附子的坪用价值较高, 适宜作草坪植物; 香附子在不同水分胁迫下, 各项形态指标表现出显著差异, 其中干旱胁迫和淹水胁迫下香附子的MDA含量比CK下降8.4%和11.4%, SOD活性比CK分别上升7.2%和16.6%, Pro含量比CK分别上升18.9%和21.5%。结论: 野草香附子能够适应较严酷的淹水环境和干旱环境, 且更加耐淹水胁迫, 野草香附子可以适应我国干旱和多雨地区园林草坪建植种推广种植。

关键词

广布种香附子, 评价, 水分胁迫, 形态, 生理

Evaluation of Turf Value and Morphological and Physiological Response to Water Stress of *Cyperus rotundus* L.

Heng Zhao¹, Chenghai Xiao²

¹College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou Hubei

²Xiangcheng District Yinji Township Agricultural Technology Extension Service Center, Xiangyang Hubei

Received: Apr. 23rd, 2024; accepted: Jul. 1st, 2024; published: Jul. 8th, 2024

Abstract

Objective: To compare the resistance physiology and leaf epidermal cell morphology response of *Cyperus rotundus* L. under flooding and drought stress, and provide the basis for the application of *Cyperus rotundus* L. to drought and waterlogging resistant flat vegetation. **Method:** In this experiment, the application value of each index of *Cyperus rotundus* L. is analyzed. Water stress tests were carried out on *Cyperus rotundus* L. with three treatments: Flooding (S), persistent drought (G) and normal water supply (CK), and the physiological indexes of *Cyperus rotundus* L. were determined after 7 days of treatment, and the morphology of epidermal cells of its leaves was observed. Under the field condition, the landscape-ecology-application lawn quality evaluation system was adopted to comprehensively evaluate the application value of *Cyperus rotundus* L. lawn. **Result:** The results showed that *Cyperus rotundus* L. had a higher value in lawn and was suitable for lawn plant; under different water stress, the plant morphological indexes showed significant differences. Under drought stress and flooding stress, MDA content decreased by 8.4% and 11.4%, SOD activity increased by 7.2% and 16.6%, and Pro content increased by 18.9% and 21.5%, respectively, compared with CK. The number of stomata in the lower epidermis of *Cyperus rotundus* L. under flooding stress was similar to that in the normal water supply group. The number of stomata decreased obviously in drought stress group. The number of cells in the upper epidermis was the highest in the drought stress group, followed by the normal management group, and the lowest in the flooded group. In the comparison of upper epidermal cell length, the flooded group was the longest, followed by the normal management group, and the drought stress group was the shortest. **Conclusion:** *Cyperus rotundus* L. can adapt to harsher waterlogged environment and drought environment, and more tolerant to waterlogged stress, *Cyperus rotundus* L. can adapt to China's arid and rainy areas of garden lawn planting and promotion of planting.

Keywords

Cyperus rotundus L., Evaluation, Water Stress, Morpholog, Physiology

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水分胁迫通过气孔影响植物光合作用,且影响效果明显[1]。强抗旱植物在水分胁迫下光合速率提高、生长速度变快,而水分胁迫对弱抗旱或不抗旱的植物的光合作用影响较大,会导致植物的 Pn 降低,且对植物光合系统的损伤是不可逆转的[2] [3]。植物遭受水分胁迫时,体内会释放大量活性氧(Reactive oxygen species, ROS), ROS 的化学反应致使脂质过氧化或部分酶、蛋白质氧化和降解,造成质膜透性增大,产生膜脂过氧化作用[4]-[9]。植物膜脂过氧化的主要产物是丙二醛(Malondialdehyde, MDA),因此 MDA 的含量可以用于反映细胞膜过氧化程度,间接的反应植物细胞抗氧化能力的大小[9] [10]。脯氨酸(Proline, Pro)是一种常见的渗透调节物质,以游离状态存在于植物细胞中[11]。除渗透调节的相容化合物的作用之外,它还有助于在胁迫环境下稳定细胞膜和蛋白质等子细胞结构和功能,Pro 的积累是低等和高等植物对水分胁迫耐性的重要指标[9] [12]-[15]。超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)是指与超氧阴离子自由基发生反应使其转化成可以通过一系列反应的物质,水分胁迫下 SOD 活性的高低与植物的抗旱性成正比。过氧化氢酶(Catalase, CAT)能与过氧化氢(hydrogen peroxide, H₂O₂)反应生成 HO 和 O²⁻; 过氧化物

酶(Peroxidase, POD)可催化过氧化氢并分解体内酚类和胺类物质[16]-[19]。香附子(*Cyperus rotundus* L.)为莎草科(Cyperaceae)莎草属多年生草本植物,国内不同地区又名山菱草、回头清、雷公头、野韭菜等,现在除了低寒地区不适合生存以外,已经遍布温带、亚热带、和热带地区,在我国的大部分地区均有分布[20]。香附子的地上地下部分构成复杂的体系,主要由地上茎叶、基部鳞茎、地下块茎和根茎组成。香附子秆散生直立,呈三棱形,根状茎或块茎,成匍匐状,其块茎为褐色、呈纺锤形或球形[21]。香附子具有极强的繁殖能力,有有性繁殖(种子)和无性繁殖(基部鳞茎和块茎)两种方式,主要通过地下块茎进行繁殖[22]。香附子在一定时间段内有适应干旱胁迫和水淹胁迫的能力,对低温的耐受力较差,主要表现为喜湿耐旱不耐寒的特性[23]。香附子属于C4植物,其可在强光照条件下进行光合作用,比大部分杂草(C3植物)具有更强的竞争力[24][25]。近年香附子研究分散于组织结构的解剖与组织化学研究[26],基因组的测序和生物信息分析已完成[27],在水分胁迫方面仅有关于其根部块茎在不同成熟度下的耐土壤水淹能力[28]。

2. 材料和方法

2.1. 研究材料

实验材料香附子块茎于2022年2月中旬在湖北省荆州市长江大学园艺园林学院园艺基地大田中挖取,取回实验室将各块茎相连的根茎剪除处理,选择大小一致的块茎,储藏于干燥低温环境中备用。

2.2. 实验材料处理

① 盆栽:将土壤(沙土)放置至盆钵2/3高处,压实土壤,均匀播种四粒香附子块茎于盆钵中,而后覆盖5cm厚的土层,浇水至全透。后期对各盆栽植物的养护管理一致。并定期观察记录香附子的物候期。② 大田栽种:在试验基地选择6×1m的实验用地,试验实施前,对试验地统一管理,即除去杂草,施肥、深翻、耙平;将试验地平分为3块2×1m,隔离带宽0.3米。试验采用营养体沟栽法种植:将选好的野草香附子的块茎切成相同大小,种植于沟穴中,沟距10cm,穴深5cm,然后再覆盖一层薄土,并对耕地进行浇水,直到浇透。后期对各试验地养护管理一致,并定期观察记录相关数据。③ 双套盆处理:胁迫处理前,使各盆的土壤相对含水量处于正常供水状态。2022年5月10日开始水分胁迫试验,设3个处理,每个处理10盆,采用完全随机统计,3次重复。S1:淹水(双套盆法,将所10盆香附子置于1×1m的大塑料桶中,塑料桶中水位位于盆栽香附子覆土土表处;S2:在胁迫处理后14d内不浇水;S3:正常水供应,在试验中作为对照(CK)。对于水淹处理,每天查看桶中水位情况,并及时补充水分[29]。(土壤含水量:正常管理15%,淹水30%,干旱4%)

2.3. 草坪质量评价

物候观察

观测时间为2021年12月~2022年6月,地点为长江大学园艺园林学院园艺实验基地,对野草香附子进行物候观察。其中观察的物候相包括萌芽期、展叶初期、展叶中期、展叶末期、现蕾期、初花期、盛花期、末花期、结果实期等9个物候[30]。

草坪质量综合评价指标体系

采用景观-生态-应用评价体系,从景观质量、生态质量及应用质量三个方面对香附子草坪的质量进行综合评价[28][29]。引入草坪景观质量、生态质量、应用质量各项指标权重,综合评价(见表1)。各指标评级见表2。综合评价采用9分制(9分为最佳,1分为最差),按草坪的四种不同用途确定每个指标的权重,利用香附子各个时间段不同性状得分制成的数据矩阵与表1的权重矩阵相乘即得香附子草坪各时间段应用于不同类型草坪的坪用综合价值[31]-[34]。

Table 1. The rate of turf index for different kind of turf grasses**表 1.** 不同类型草坪坪用指标权重

草坪类型	密度	质地	颜色	均一性	绿色期	高度	盖度	耐践踏性	成坪速度	草坪强度
观赏草坪	0.20	0.15	0.20	0.15	0.10	0.05	0.10	0.00	0.05	0.00
游憩草坪	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.05	0.10
运动草坪	0.10	0.05	0.10	0.10	0.05	0.10	0.05	0.20	0.05	0.20
保土草坪	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10	0.05	0.10	0.00	0.20	0.20

Table 2. The standard of turf index**表 2.** 坪用性状评分标准

定指标	级别	I	II	III	IV	V
	评分	8~9	6~7	4~5	2~3	1
密度/(株/100cm ²)		>60	51~60	41~50	30~40	<30
质地/mm		<3	3~4	4.1~5	5.1~6	>6
颜色		深绿	绿	浅绿	黄绿	黄
均一性		很整齐	整齐	基本均一	不均一	杂乱
高度/cm		<8	8~13	13~18	18~23	23~28
绿色期/d		>210	195~210	180~195	165~180	<165
盖度		草坪成一整体	枝条清晰可见	零星地面裸露	部分地面裸露	大面积裸露
耐践踏性/%		>90	81~90	71~80	61~70	<60
成坪速度/d		<20	21~30	31~40	41~50	>50
草坪强度		强	较强	中等	较弱	弱

生理指标测定方法

叶绿素含量用分光光度法测定; 丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法测定叶片丙二醛(MDA)含量[35]-[37]; SOD 材用氮蓝四唑(NBT)法测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性[34]; 脯氨酸(PRO)使用试剂盒测量, 依据试剂盒中的说明书测量和计算。

2.4. 数据的统计与分析

本试验中所有试验数据用 Microsoft Excel 2021 进行录入和初步处理, 采用 SPSS Statistics 21 对得出的结果数据进行单因素方差分析(one-way-ANOVA), 使用 Graphpad Prism 9 进行图表制作, 用 LSD 法检测显著性, 结果采用“平均值±标准差(Mean ± SD)表示, P < 0.05 表示差异显著。

3. 结果与分析

3.1. 香附子的草坪应用价值评价

香附子的物候期观察

通过香附子的盆栽实验。系统研究香附子发育的生物学特性, 主要观察香附子的物候期(见表 3)。香附子在长江大学园艺基地 2 月中旬栽种后, 香附子的须根最先生长, 且生长速度较快, 须根的生长量相对植株生长总量不断增加, 是香附子须根生长的关键时期。2 月下旬, 植株长出幼苗, 茎叶也开始生长, 不定根开始形成子根。3 月初到 5 月初, 植株茎、叶生长加快, 形成大量子根, 是植株营养器官生长的

关键阶段。4月中旬到5月下旬,根、茎、叶生长最快。生物量增长最多,是植株生长发育的关键阶段。6月初到8月中旬,植株开始抽苔、孕育花蕾,根、茎、叶生长和块根膨大减慢,进入生殖生长阶段。7月到8月是花粉和子房发育的关键时期。9月中旬植株开花,形成果实;11月中旬后,果实成熟,蓇葖果裂开、种子脱落,而后植株地上部分枯萎,营养物质全集中于块茎中,待来年外界条件适宜,又重新萌发出新的植物。

Table 3. *Cyperus rotundus* L. phenological period

表 3. 野草香附子物候期

物候期	萌芽期	展叶初期	展叶中期	展叶盛期	现蕾期	初花期	盛花期	末花期	结实期
起始期	3月中旬	3月下旬	4月中旬	4月下旬	5月下旬	6月下旬	7月下旬	8月下旬	9月中旬
终止期	3月下旬	4月中旬	4月下旬	5月下旬	6月下旬	7月下旬	8月下旬	9月中旬	11月中旬

香附子草坪草坪用性状评分结果

对野草香附子,从4月初到5月末进行3次实地测定,根据表2的测量标准对10个坪用性状加以定级评分,结果见表4。从表4看出,野草香附子3次观测的坪用性状特点不同:4月初时突出的性状为质地和高度,但密度、颜色、均一性盖度以及耐践踏性等性状表现较差;5月初时除了高度表现较差,其余性状都较好,尤其是颜色和均一性;5月末时,由于香附子开始抽苔、孕育花蕾,进入生殖阶段,草坪的颜色、盖度及草坪强度出现倒退现象。综合分析3次草坪性状测定,香附子草坪的质地、绿期、耐践踏性及草坪速度4个性状表现最佳,其中质地(平均叶片宽度)2.4 mm,绿期为210天左右,成坪速度为20 d左右。

Table 4. *Cyperus rotundus* L. Scores of various lawn use traits

表 4. 香附子各坪用性状评分结果

月份	密度	质地	颜色	均一性	绿期	高度	盖度	耐践踏性	成坪速度	草坪强度
4月初	5.5	8.0	6.5	4.5	8.0	7.0	5.0	6.5	8.0	7.5
5月初	7.5	8.5	7.0	8.0	8.0	5.0	7.5	8.0	8.0	7.5
5月末	7.5	8.5	6.0	8.0	8.0	5.0	6.5	8.0	8.0	7.0

香附子草坪草坪用价值总体评价

以表4数据为矩阵,与表1的权重矩阵对应相乘,得到香附子草坪草在4个类型草坪上的总体坪用价值(表5)。在3个时间段的评价中,4月初的香附子综合评分最低,5月初的香附子综合评分最高,且5月初和5月末的香附子坪用价值比较接近。

Table 5. The result of *Cyperus rotundus* L. value evaluation

表 5. 香附子草坪草坪用价值评价结果

月份	观赏草坪	游憩草坪	运动草坪	保土草坪	合计
4月初	6.325	6.575	6.600	6.750	26.250
5月初	7.325	7.500	7.450	7.575	29.850
5月末	7.275	7.250	7.200	7.275	29.000
平均值	6.975	7.108	7.083	7.200	

观赏草坪主要强调草坪的景观价值, 香附子草坪草具有较低的密度、较浅的颜色和较高的高度, 所以作为观赏草坪, 其 3 次实测的坪用价值评分最低, 但通过合理密植也可以作为观赏草坪。游憩草坪和运动草坪主要强调草坪应具有较强的耐践踏性、耐频繁收割、再生能力强等特点, 而香附子草坪草具有较长的绿色期、耐践踏性较强以及较快的成坪速度, 所以作为游憩和运动草坪, 其 3 次实测的坪用价值评分较高且相近, 表示香附子适合建植为游憩和运动草坪。保土草坪要求具备较高的草坪强度和发达的根系, 在 3 次实测的坪用价值评分中, 香附子草坪草用作保土草坪的评分最高, 说明其适合建植为保土草坪。

最终评价结果表明: 香附子的质地、均一性、绿期、耐践踏性及成坪速度等性状指标较好, 而密度、颜色、高度及草坪强度 4 个性状指标较差; 在草坪坪用价值的综合评价中, 野草香附子草坪草在 5 月初至 6 月初左右的坪用综合价值最高; 通过香附子用途上的综合评价, 香附子草坪草用作保土草坪的综合价值较高, 其次是游憩草坪和运动草坪。总的来说, 广布的野草香附子应用于各种景观、生态草坪还是具有较高的应用价值, 如保土草坪、护坡草坪等。但是与现在已经应用得相当成熟的草坪草相比, 如狗牙根、高羊茅、早熟禾及结缕草等, 其还是存在很多草坪应用上的问题。

3.2. 香附子水分胁迫下的抗性生理响应结果

由图 1, 香附子在 3 种水分胁迫 7d 后, 叶绿素含量为 $G > CK > S$ (G 干旱处理, S 淹水处理, CK 正常管理), 且差异显著, 其中干旱胁迫与 CK 的叶绿素含量差异不大, 淹水胁迫下香附子叶绿素含量显著降低, 相比 CK 降低了 9.9%。MDA 含量大小为 $CK > G > S$, 且差异显著, 其中干旱胁迫和淹水胁迫下的香附子的 MDA 含量与 CK 相比分别下降 8.4% 和 11.4%。SOD 活性的大小 $G > S > CK$, 且差异显著, 其中干旱胁迫和淹水胁迫下的香附子的 SOD 活性与 CK 相比分别上升 7.2% 和 16.6%。Pro 含量的大小为 $CK < G < S$, 差异显著, 其中干旱胁迫和淹水胁迫下的香附子的 Pro 含量与 CK 相比分别上升 18.9% 和 21.5%。

4. 讨论

在连续 7 d 的水分胁迫下, 淹水胁迫下香附子叶片的叶绿素含量相比正常管理出现小幅下降, 而干旱胁迫下叶绿素含量却出现小幅上升。表明短时间内, 香附子对干旱逆境具有较强的适应能力, 而淹水胁迫虽对香附子光合能力有轻微的副作用, 不会直接影响其生存。干旱胁迫和淹水胁迫下的香附子叶片 MDA 含量相比正常管理均有不同程度下降, 且淹水胁迫下 MDA 含量下降较高, 说明干旱和淹水胁迫下, 其内部的保护机制维持着 MDA 含量处在一定水平, 水分胁迫强度还未超过香附子胁迫的特定值, 证明野草香附子对干旱和淹水胁迫具有一定的适应能力。而干旱和淹水处理组中香附子叶片 SOD 活性相比正常管理分别上升 7.2% 和 16.6%, 说明水分胁迫使香附子体内产生较多的活性氧诱导了保护酶系统, 且香附子在淹水胁迫下保护酶系统更加活跃, 在干旱胁迫下保护酶系统较缓和, 证明香附子相比于耐旱, 更加耐涝。两个处理组中 Pro 含量相比正常管理分别上升 18.9% 和 21.5%, 同样说明野草香附子具有一定的抗旱抗涝能力。这与刘旭等、刘泽彬等在淹水对三峡库区消落带香附子生长及光合特性影响的研究中结果一致[38]。

5. 结论

香附子各项指标均表现为适宜用于草坪绿化使用, 其未来的应用有望缓解我国绿化用草坪草过度依赖进口的情况[39]。在不同梯度土壤含水量下, 广种香附子叶绿素含量、MDA 含量、SOD 活性和 Pro 含量在水分胁迫下表现出极显著差异性, 其中干旱和淹水胁迫下 SOD 活性和 Pro 含量比 CK 高, MDA 含量比 CK 低, 干旱胁迫下叶绿素含量比 CK 高, 淹水胁迫下叶绿素比 CK 低, 这与义珊池在香附子耐水淹

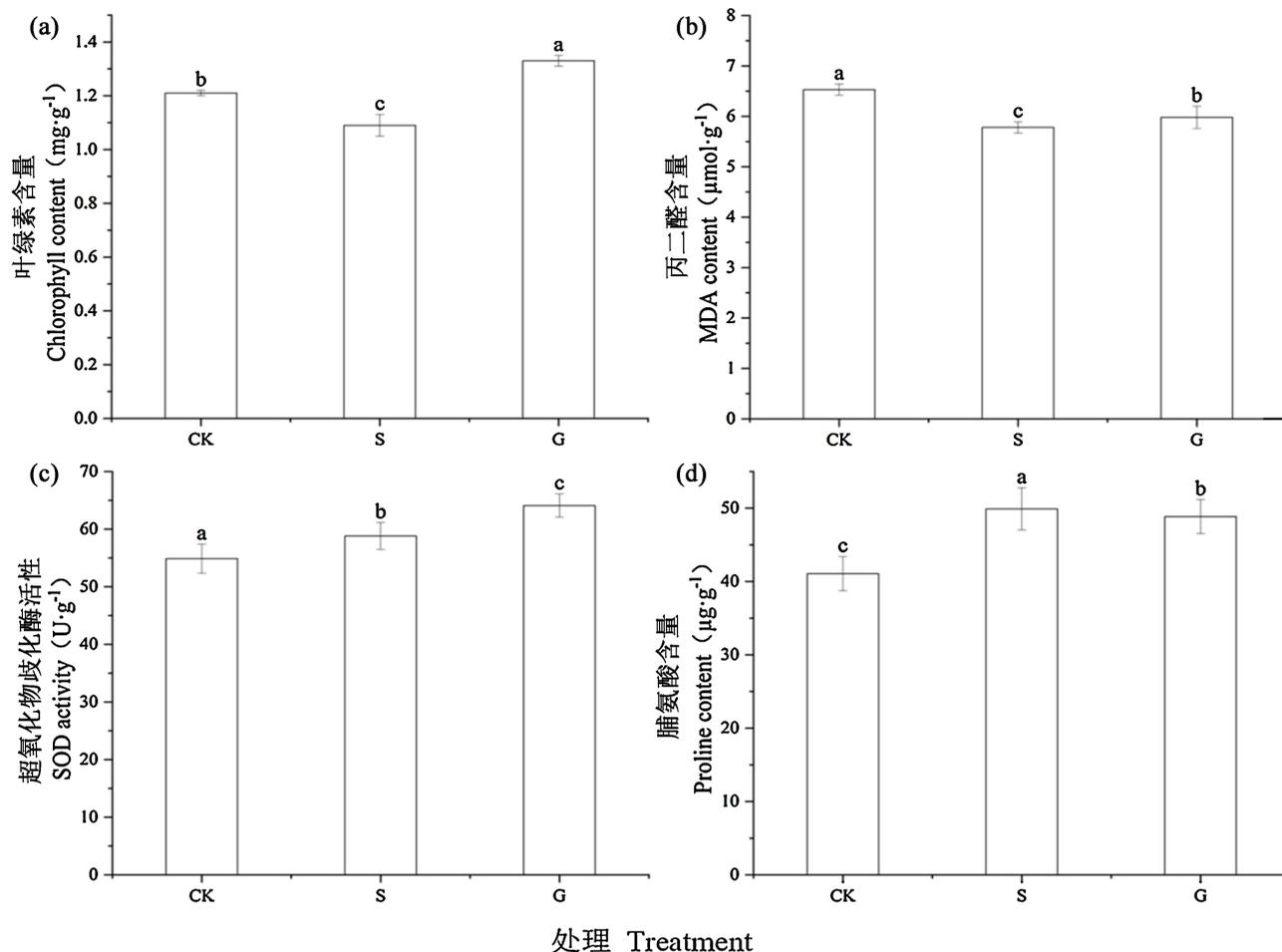


Figure 1. Physiological indexes of resistance to *Cyperus rotundus* L. under three kinds of water stress
图 1. 3 种水分胁迫下香附子的抗性生理指标

方向上的研究结果一致[28], 因此我们认为各抗性生理指标都表明香附子对干旱和淹水胁迫均具有一定的适应能力, 且其耐涝能力更强。

参考文献

- [1] 蔡沙. 水分胁迫对醉马草幼苗生长及其生理特性的影响[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [2] Pyankov, V.I., Gunin, P.D., Tsoog, S., *et al.* (2000) C4 Plants in the Vegetation of Mongolia: Their Natural Occurrence and Geographical Distribution in Relation to Climate. *Oecologia*, **123**, 15-31. <https://doi.org/10.1007/s004420050985>
- [3] 段娜, 王佳, 刘芳, 等. 植物抗旱性研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(15): 5093-5099.
- [4] Mates, J.M. (2000) Effects of Antioxidant Enzymes in the Molecular Control of Reactive Oxygen Species Toxicology. *Toxicology*, **153**, 83-104. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(00\)00306-1](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(00)00306-1)
- [5] 史宝胜, 刘冬云, 张晓磊, 等. 水分胁迫对金叶榆含水量、细胞质膜相对透性和抗氧化系统的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(9): 88-92.
- [6] 季杨, 张新全, 彭燕, 等. 干旱胁迫对鸭茅根、叶保护酶活性、渗透物质含量及膜质过氧化作用的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 144-151.
- [7] 邸锐, 杨春燕. 干旱胁迫下极细链格孢激活蛋白对大豆幼苗形态、叶片含水量、细胞质膜相对透性和抗氧化酶的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(S1): 213-218.
- [8] Li, J., Cang, Z., Jiao, F., *et al.* (2017) Influence of Drought Stress on Photosynthetic Characteristics and Protective En-

- zymes of Potato at Seedling Stage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, **16**, 82-88.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.03.001>
- [9] 郑祥. 土壤水分含量对南荻根状茎萌发、幼苗生长及其生理的影响[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西师范大学, 2018.
- [10] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [11] 焦蓉, 刘好宝, 刘贯山, 等. 论脯氨酸累积与植物抗渗透胁迫[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 216-221.
- [12] Kishor, P.B.K., Sangam, S., Amrutha, R.N., *et al.* (2005) Regulation of Proline Biosynthesis, Degradation, Uptake and Transport in Higher Plants: Its Implications in Plant Growth and Abiotic Stress Tolerance. *Current Science*, **88**, 424-438.
- [13] Tanner, J.J. (2008) Structural Biology of Proline Catabolism. *Amino Acids*, **35**, 719-730.
<https://doi.org/10.1007/s00726-008-0062-5>
- [14] Vendruscolo, E.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., *et al.* (2007) Stress-Induced Synthesis of Proline Confers Tolerance to Water Deficit in Transgenic Wheat. *Journal of Plant Physiology*, **164**, 1367-1376.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.05.001>
- [15] Hoque, M.A., Okuma, E., Banu, M.N.A., *et al.* (2007) Exogenous Proline Mitigates the Detrimental Effects of Salt Stress More than Exogenous Betaine by Increasing Antioxidant Enzyme Activities. *Journal of Plant Physiology*, **164**, 553-561. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.03.010>
- [16] 谭淑端, 张守君, 张克荣, 等. 长期深淹对三峡库区三种草本植物的恢复生长及光合特性的影响[J]. 武汉植物学研究, 2009, 27(4): 391-396.
- [17] 谭淑端, 朱明勇, 党海山, 等. 三峡库区狗牙根对深淹胁迫的生理响应[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3685-3691.
- [18] 谭淑端, 朱明勇, 张克荣, 等. 植物对水淹胁迫的响应与适应[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1871-1877.
- [19] 王吉. 糯玉米近等基因系耐涝性差异机理及遗传研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [20] 王灿灿. 香附子块茎抑菌和除草活性成分研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2020.
- [21] 薛晶. 甘蔗附灭对甘蔗天恶性杂草香附子的防除实验[J]. 广西糖业, 2011(4): 6-7.
- [22] 郭怡卿, 赵国晶. 旱地恶性杂草-黄香附与紫香附[J]. 云南农业科技, 1992(4): 16-17.
- [23] Andrews, F.W. (1940) A Study of Nut Grass (*Cyperus rotundus* L.) in the Cotton Soil of the Gezira. *Annals of Botany*, **4**, 177-193. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086324>
- [24] 刘旭, 陈瑞梅, 郭泉水, 肖文发. 香附子对不同土壤水分梯度的适应性研究[J]. 中国要业, 2012(16): 13-14.
- [25] 张晶, 刘利, 徐慧荣, 金娟. 香附化学成分及药理作用价值研究新进展[J]. 化学工程师, 2021, 35(3): 54-62.
- [26] 郑海, 王莹, 徐娟, 等. 两栖植物香附子的解剖结构和组织化学研究[J/OL]. 草业学报, 2024: 1-10.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1105.S.20240314.0922.008.html>
- [27] 黄丽容, 郭晓云, 胡营, 等. 香附子全长转录组测序及生物信息学分析[J]. 中国现代中药, 2023, 25(7): 1428-1440.
- [28] 义珊池. 旱地杂草香附子耐水淹的适应性机制初步研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2023.
- [29] 杨曼, 张佑麟, 徐振东, 费永俊. 水分胁迫对黑壳楠和香樟幼苗生理特性的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(8): 1449-1454.
- [30] 潘艳艳, 张义飞, 宿鹏鹏, 等. 郁金香物候期及特性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(8): 137-140.
- [31] 刘建秀. 草坪坪用价值综合体系的探讨——I. 评价体系的建立[J]. 中国草地, 1998(1): 44-47.
- [32] 刘建秀. 草坪坪用价值综合体系的探讨——II. 评价体系的应用[J]. 中国草地, 2000(3): 54-56.
- [33] 黄广远, 祁芳梅. 6种草坪草在荆州坪用价值的对比分析[J]. 长江大学学报, 2005, 2(11): 37-39, 66.
- [34] 张巨明, 麦靖雯, 武鑫, 徐彦花. 3种冷季草坪草建植的混合草坪比较与评价[J]. 广东农业科学, 2019, 46(7): 46-52.
- [35] 王艳, 丁莎, 骆俊, 费永俊. 涝渍胁迫下牡丹的生理响应[J]. 长江大学学报, 2011(8): 34-38.
- [36] 盖盼盼, 马尚宇, 耿兵婕, 等. 渍水和增温对小麦根系形态、生理和地上部物质积累的影响[J]. 南京农业大学学报, 2022, 45(4): 637-646.
- [37] 李珣, 黄小丽, 费永俊. 植被砵上 14 个狗牙根叶片表皮细胞比较研究[J]. 长江大学学报, 2013(10): 31-36.
- [38] 刘泽彬, 程瑞梅, 肖文发, 郭泉水, 等. 淹水对三峡库区消落带香附子生长及光合特性的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 15-22.
- [39] 产祝龙, 胡涛, 王增裕, 等. 草坪学研究现状未来挑战和发展趋势[J]. 中国科学基金, 2023, 37(4): 623-631.