

周宇曦,万瑞琪,涂淑萍. 黄腐酸钾对圆齿野鸭椿苗木生长及抗逆性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(18):170-176.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.18.025

# 黄腐酸钾对圆齿野鸭椿苗木生长及抗逆性的影响

周宇曦,万瑞琪,涂淑萍

(江西农业大学林学院,江西南昌 330045)

**摘要:**为了探究黄腐酸钾施用量对圆齿野鸭椿苗木生长及抗逆性的影响,以圆齿野鸭椿二年生盆栽苗为试验材料,于生长季节每月浇施1次不同稀释倍数(1 000、2 000、3 000、4 000倍液)黄腐酸钾,研究它们对苗木生长、叶片叶绿素荧光参数及抗性生理的影响。利用皮尔逊相关分析法分析各指标间的相关性,并利用模糊数学中的隶属函数法对不同处理的苗木抗逆性进行综合评价。结果显示,浇施3000倍液黄腐酸钾溶液对促进圆齿野鸭椿苗木生长、提高苗木质量的效果最好,可以显著提高圆齿野鸭椿的苗高、地径增量以及苗木质量指数。此外,浇施2000~4000倍液黄腐酸钾溶液,均可显著提高圆齿野鸭椿叶片PSⅡ实际光化学效率、光化学猝灭系数;浇施1000~4000倍液黄腐酸钾溶液,可以显著降低非光化学猝灭系数。随着黄腐酸钾浓度的升高,过氧化氢酶活性、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量均呈先升后降的变化趋势。隶属函数综合评价结果表明,浇施3000倍液的黄腐酸钾对增强苗木抗逆性的效果最佳。得出结论,圆齿野鸭椿二年生苗以浇施3000倍液的黄腐酸钾溶液最为适宜,即每次每加仑盆施用量为0.083 g时,对促进圆齿野鸭椿苗木生长、提高苗木抗逆性的效果最佳。

**关键词:**黄腐酸钾;生长;抗逆性;圆齿野鸭椿

**中图分类号:**S184 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)18-0170-07

黄腐酸属于腐殖酸的一种,其生物活性强,容易被植物吸收,在我国农业领域中得到了大范围的运用<sup>[1-2]</sup>。黄腐酸钾是在黄腐酸的基础上,引入钾离子制成的有机复合钾肥<sup>[3]</sup>。黄腐酸钾可以通过提高土壤肥力、改良土壤结构、维持植物水分平衡、提高抗氧化酶活性、降低植物体内有害离子含量等途径,促进植物生长、减少胁迫条件下植物受到的伤害。研究表明,施用黄腐酸钾可显著提高小白菜(*Brassica campestris*)、烟草(*Nicotiana tabacum* L.)等

作物在胁迫环境中的抗逆性<sup>[4-6]</sup>。圆齿野鸭椿(*Euscaphis konishii* Hayata)为省沽油科野鸭椿属常绿小乔木,具有较高的观赏和药用价值,发展前景十分可观<sup>[7-8]</sup>。但圆齿野鸭椿因抗寒性较弱,严重影响了该树种的推广应用范围。因此,研究合理施肥,以促进苗木生长、提高苗木抗逆性,具有十分重要的意义。目前,关于圆齿野鸭椿苗木施肥的研究,主要集中于氮、磷、钾肥的施用量及其配比对圆齿野鸭椿苗木生长及抗逆性的影响<sup>[9-10]</sup>。曾还球研究有机肥、复合肥对圆齿野鸭椿幼苗生长的影响,通过对苗高、地径的测量比较,发现有机肥作为基肥对苗木生长的贡献更大<sup>[11]</sup>。丁卉等通过圆齿野鸭椿施肥试验,研究了不同肥料之间的交互作用<sup>[12]</sup>。目前,尚未见有关黄腐酸钾应用于圆齿野鸭椿苗木生产的研究报道。本研究通过对圆齿野鸭椿二年生盆栽苗浇施不同稀释倍数的黄腐酸钾溶

收稿日期:2022-12-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960327);江西省林业局科技创新专项资金(编号:201812)。

作者简介:周宇曦(1997—),男,江西宜春人,硕士研究生,主要从事园林植物繁育与栽培研究。E-mail:zyxmtbz@163.com。

通信作者:涂淑萍,教授,主要从事园林植物繁育与栽培研究。E-mail:jxtsping@163.com。

量和品质的影响[J]. 农业科学研究,2022,43(2):7-12.

[34] Ievinsh G. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species[J]. Plant Growth Regulation, 2011, 65(1): 169-181.

[35] 陈玲玲. 蚓粪复合基质应用于康乃馨育苗的效果研究[D]. 扬州:扬州大学,2011:51-53.

[36] 陈慧. 亚硒酸钠通过蔗糖调控萝卜(*Raphanus sativus* L.)芽菜下胚轴花青苷合成中的作用机理[D]. 南京:南京农业大学,2020.

[37] Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112(2): 191-199.

液,研究黄腐酸钾对圆齿野鸦椿苗木生长、叶绿素荧光参数及抗性生理的影响,旨在为黄腐酸钾这种新型肥料在圆齿野鸦椿苗木生产中的合理应用提供理论与实践依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地点设在江西农业大学南区花卉盆景实训基地(28°46'N,115°50'E,海拔 50 m),该基地属亚热带湿润季风气候,年均气温约 17.5℃,气候舒适宜人,年均降水量约 1 600 mm,降水较为充沛<sup>[13]</sup>。

### 1.2 试验材料

以圆齿野鸦椿二年生盆栽苗为试验材料,2020 年 5 月上旬进行换盆,培养土为园土、泥炭、蛭石按 3:1:1 比例混合。栽培容器高、口径、底径分别为 17.5、16.0、12.7 cm 的 1 加仑盆,每盆装土约 3 L。

试验所用黄腐酸钾由山东绿陇生物科技有限公司生产,其黄腐酸含量≥50%,氯化钾含量≥12%,pH 值为 8~10。

试验苗所施用的大量元素水溶性肥料由上海水通化工有限公司生产,总氮含量为 20%,水溶性磷含量为 10%,水溶性钾含量为 20%,铁、锰、锌、硼含量均为 0.05%。

供试土壤基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤基本理化性质

pH 值	含量(g/kg)			含量(mg/kg)			
	全氮	全磷	全钾	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
6.27	1.99	1.19	6.83	112.77	57.17	331.38	149.50

### 1.3 试验设计

按照黄腐酸钾不同的稀释倍数,设置 4 个处理,并以浇施清水为对照(CK),详见表 2。每个处理 5 盆,重复 3 次。施用方法为试验苗换盆半个月后,于 5 月开始施用,每月浇施 1 次,共 6 次;此外,每 2 次浇施之间追施 2 500 倍液(0.1 g)大量元素水溶性肥料 1 次,共浇施 5 次。于 11 月试验结束,进行试验指标测定。

### 1.4 试验指标及测定方法

1.4.1 苗木生长指标的测定 苗高:采用钢卷尺测定,数值精确到 0.01 cm。于试验前后各测定 1 次,其差值即为苗高增量。地径:采用游标卡尺测定,数值精确到 0.01mm,于试验前后各测定 1 次,其差

表 2 各处理黄腐酸钾稀释倍数及施用量

处理	稀释倍数(倍)	施用量(g/次)
CK	—	—
I	4 000	0.063
II	3 000	0.083
III	2 000	0.125
IV	1 000	0.250

值即为地径增量。苗木各部位生物量:采用烘干称质量法测定。将各处理的苗木根、茎、叶分离,105℃杀青后,80℃烘干至恒质量,记录各部分的干质量,数值精确到 0.01 g。并采用下列公式计算苗木根冠比和质量指数。

$$\text{根冠比} = \text{根干质量} / \text{地上部干质量}; \quad (1)$$

$$\text{质量指数(QI)} = \text{苗木总干质量} / (\text{苗高} / \text{地径}) + (\text{茎干质量} / \text{根干质量}) \quad (2)$$

1.4.2 苗木叶片叶绿素荧光参数测定 叶片叶绿素荧光参数:利用 PAM-2500 叶绿素荧光仪进行测定<sup>[14]</sup>。测定时间为 2020 年 9 月 26—27 日(天气晴朗)的 08:00—12:00,每个处理选择苗木 3 株,选取顶芽下第 3、4 张复叶中间的小叶进行测定。测定前,叶片经过 20 min 暗适应后,测定暗适应下叶片的叶绿素初始荧光、最大荧光、PS II 实际量子产量、光化学淬灭系数、非光化学淬灭系数,并计算出可变荧光和 PS II 最大量子产量。

1.4.3 苗木叶片抗性生理指标的测定 过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活性采用苏州科铭生物技术有限公司试剂盒进行测定,测定方法参考说明书;丙二醛含量采用硫代巴比妥酸显色法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定。

### 1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2019 进行试验数据的统计,Origin 2021 进行图表制作,SPSS 22.0 进行多重比较和皮尔逊相关性分析,利用模糊数学中的隶属函数法对不同处理圆齿野鸦椿苗木的抗逆性进行综合评价。

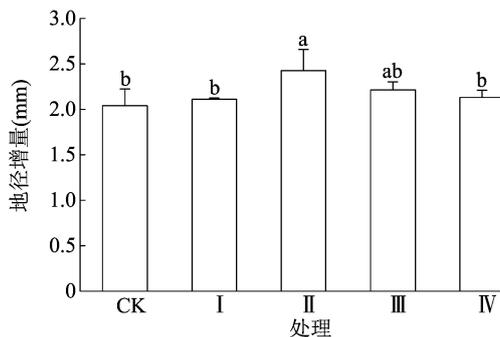
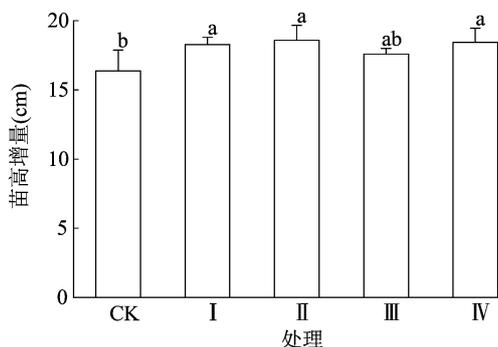
## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对圆齿野鸦椿苗木生长的影响

2.1.1 对苗高增量的影响 由图 1 可知,苗高增量以 II 处理(3 000 倍液黄腐酸钾)最大,达 18.58 cm;除 III 处理(2 000 倍液黄腐酸钾)与 CK 处理相比差

异不显著外,其他处理苗高增量均显著高于 CK 处理;但处理 I ~ IV 之间差异不显著。说明施用一定稀释倍数的黄腐酸钾可以促进圆齿野鸦椿苗高生长,从经济角度考虑则以 3 000 ~ 4 000 倍液效果最佳。地径增量以 II 处理(3 000 倍液黄腐酸钾)最

大,达 2.43 mm,显著高于 CK、I、IV 处理,与 III 处理差异不显著;其他处理地径增量与 CK 处理相比,差异均不显著。说明施用一定稀释倍数的黄腐酸钾可促进圆齿野鸦椿地径生长,并且以 3 000 倍液效果最佳。



矩形上方不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。图 2 至图 4 同

图 1 不同处理圆齿野鸦椿苗高增量及地径增量的比较

2.1.2 对生物量及苗木质量指数的影响 由表 3 可知,苗木根干质量、叶干质量、总干质量及苗木质量指数均以 II 处理(3 000 倍液黄腐酸钾)最大,分别为 13.98、13.10、38.93 g 及 3.89;其中,苗木根干质量和总干质量 II 处理除显著高于 I 处理外,与其

他各处理差异不显著;苗木质量指数除与 IV 处理(1 000 倍液黄腐酸钾)差异不显著外,显著高于其他各处理。说明施用 3 000 倍液黄腐酸钾可显著提高圆齿野鸦椿的苗木质量。

表 3 不同处理圆齿野鸦椿生物量及苗木质量指数的比较

处理	根干质量 (g)	茎干质量 (g)	叶干质量 (g)	总干质量 (g)	苗木质量指数
CK	11.22 ± 2.06ab	12.10 ± 0.83ab	11.41 ± 3.97a	34.72 ± 3.44ab	2.93 ± 0.30bc
I	10.99 ± 2.29b	11.09 ± 0.63b	10.30 ± 2.01a	32.38 ± 4.04b	2.87 ± 0.36bc
II	13.98 ± 0.06a	11.85 ± 0.81ab	13.10 ± 2.35a	38.93 ± 1.49a	3.89 ± 0.25a
III	12.61 ± 0.68ab	10.87 ± 0.65b	10.31 ± 0.91a	33.78 ± 2.22ab	2.78 ± 0.16c
IV	11.96 ± 0.61ab	13.18 ± 1.02a	10.86 ± 1.29a	36.00 ± 0.34ab	3.42 ± 0.39ab

注:表内数据为平均值 ± 标准差,同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。表 4 同。

2.2 不同处理对圆齿野鸦椿叶片叶绿素荧光参数与抗性生理生化指标的影响

2.2.1 对叶片叶绿素荧光参数的影响 由表 4 可知,不同处理之间叶片 PS II 最大光化学效率差异不显著。PS II 的实际光化学效率及光化学猝灭系数

均以 I 处理(4 000 倍液黄腐酸钾)最高,与 CK、IV 处理的差异达到显著水平,与 II、III 处理之间差异不显著。非光化学猝灭系数以 III 处理(2 000 倍液黄腐酸钾)最低,显著低于其他各处理。非光化学猝灭系数以 CK 处理最高,显著高于其他各处理。

表 4 不同处理圆齿野鸦椿叶片叶绿素荧光参数的比较

处理	PS II 最大光化学效率	PS II 实际光化学效率	光化学猝灭系数	非光化学猝灭系数
CK	0.720 ± 0.020a	0.471 ± 0.027b	0.815 ± 0.055b	0.871 ± 0.092a
I	0.718 ± 0.020a	0.691 ± 0.018a	0.998 ± 0.003a	0.269 ± 0.132c
II	0.705 ± 0.058a	0.622 ± 0.132a	0.950 ± 0.086a	0.341 ± 0.131c
III	0.686 ± 0.047a	0.645 ± 0.008a	0.954 ± 0.085a	0.048 ± 0.009d
IV	0.715 ± 0.035a	0.484 ± 0.015b	0.801 ± 0.057b	0.649 ± 0.150b

2.2.2 对叶片过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性的影响 由图2可知,叶片过氧化氢酶活性以Ⅲ处理(2 000 倍液黄腐酸钾)最高,达189.90 U/g,显著

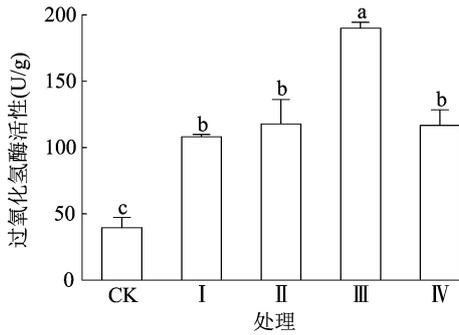
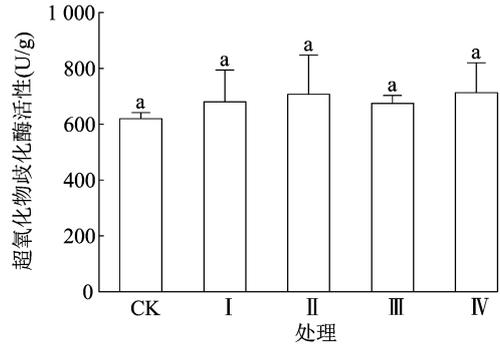


图2 不同处理圆齿野鸭椿叶片抗氧化酶活性的比较

高于其他处理;以CK处理最低,显著低于其他各处理。叶片超氧化物歧化酶活性不同处理之间差异不显著。



2.2.3 对叶片可溶性糖及可溶性蛋白含量的影响

由图3可知,叶片可溶性糖含量以Ⅰ处理(4 000 倍液黄腐酸钾)最高,达6.74%,显著高于CK、Ⅳ处理,与Ⅱ、Ⅲ处理之间差异不显著;CK处理除显著低于Ⅰ处理(4 000 倍液黄腐酸钾)外,与其他各处理差异不显著。说明施用4 000 倍液黄腐酸钾可显

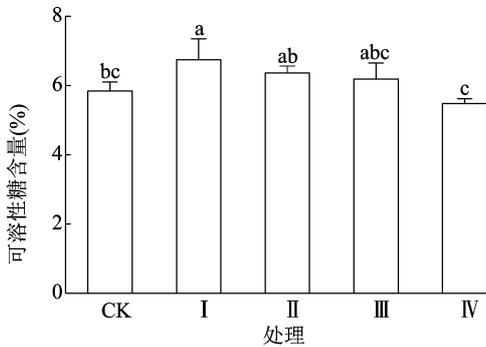
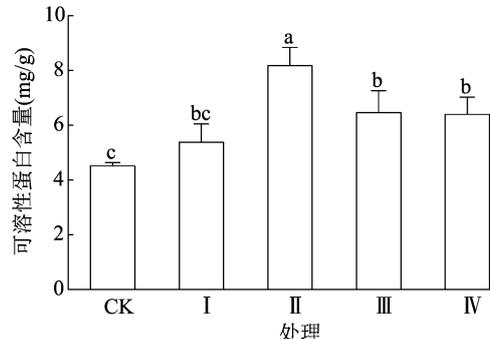


图3 不同处理圆齿野鸭椿叶片可溶性糖及可溶性蛋白含量的比较

著提高圆齿野鸭椿叶片的可溶性糖含量。叶片可溶性蛋白含量以Ⅱ处理(3 000 倍液黄腐酸钾)最高,为8.18 mg/g,显著高于其他各处理;CK处理除与Ⅰ处理差异不显著外,与其他处理之间均达显著水平。



2.2.4 对叶片丙二醛含量的影响 由图4可知,不同处理之间,圆齿野鸭椿叶片的丙二醛含量差异不显著。

#### 2.4 各指标间的相关性分析

由表5可知,苗木总干质量与苗木质量指数呈极显著正相关(相关系数为0.786);苗木地径与可溶性蛋白含量呈极显著正相关(相关系数为0.721);PSⅡ实际光化学效率与光化学猝灭系数、可溶性糖含量呈极显著正相关(相关系数分别为0.947、0.724),与非光化学猝灭系数呈极显著负相关(相关系数为-0.824);非光化学猝灭系数与光化学猝灭系数、过氧化氢酶活性呈极显著负相关(相关系数分别为-0.788、-0.790);光化学猝灭

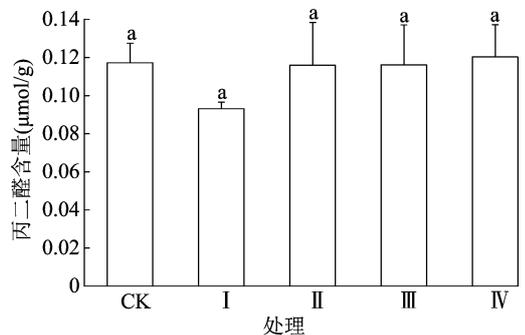


图4 不同处理圆齿野鸭椿叶片丙二醛含量的比较

系数与可溶性糖含量呈极显著正相关(相关系数为0.744);过氧化氢酶活性与可溶性蛋白含量呈显著正相关(相关系数为0.528)。

表5 苗木各指标间的相关性

项目	相关系数													
	苗木总干质量	苗木质量指数	苗木高度	苗木地径	PS II最大光化学效率	PS II实际光化学效率	非光化学淬灭系数	光化学淬灭系数	光化学淬灭系数	超氧化物歧化酶活性	过氧化氢酶活性	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量	丙二醛含量
苗木总干质量	1.000													
苗木质量指数	0.786**	1.000												
苗木高度	0.268	0.315	1.000											
苗木地径	0.227	0.491	0.331	1.000										
PS II最大光化学效率	-0.083	-0.052	-0.224	0.052	1.000									
PS II实际光化学效率	-0.270	-0.041	0.122	0.468	0.152	1.000								
非光化学淬灭系数	0.206	0.052	-0.194	-0.377	0.256	-0.824**	1.000							
光化学淬灭系数	-0.286	-0.008	0.129	0.486	-0.076	0.947**	-0.788**	1.000						
超氧化物歧化酶活性	0.060	0.035	0.209	-0.027	-0.049	-0.040	-0.076	-0.041	1.000					
过氧化氢酶活性	-0.049	-0.118	0.332	0.276	-0.362	0.448	-0.790**	0.389	0.308	1.000				
可溶性糖含量	-0.051	-0.035	0.201	0.216	0.043	0.724**	-0.500	0.744**	-0.294	0.128	1.000			
可溶性蛋白含量	0.410	0.504	0.474	0.721**	-0.018	0.269	-0.409	0.224	0.420	0.528*	0.031	1.000		
丙二醛含量	0.182	0.167	-0.276	0.052	0.007	-0.315	0.172	-0.311	0.069	0.022	-0.250	0.191	1.000	

注: \*\*表示具有极显著相关性( $P < 0.01$ ), \*表示具有显著相关性( $P < 0.05$ )。

## 2.5 各处理圆齿野鸦椿二年生苗木抗逆性的综合评价

使用单一指标对苗木抗逆性进行评价较为片面,很难反映其客观结果,需通过多个指标进行综合分析判断。本试验采用隶属函数法对各处理圆齿野鸦椿二年生盆栽苗的10个有代表性的指标进行综合评价,10个代表性指标具体是可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、丙二醛含量、过氧化氢酶活性、超氧化物歧化酶活性、PS II最大量子产量、PS II实际量子产量、光化学淬灭系数、非光化学淬灭系数、苗木质量指数。

隶属函数值计算公式如下:

$$U = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

$$U_{\text{反}} = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (4)$$

式中: $X_{\min}$ 为各指标测定值中的最小值; $X_{\max}$ 为各指标测定值中的最大值; $X$ 为各处理该指标的平均值; $U$ 为各处理该指标的隶属函数值。

与抗逆性呈正相关的指标(可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、过氧化氢酶活性、超氧化物歧化酶活性、PS II最大量子产量、PS II实际量子产量、光化学淬灭系数、苗木质量指数),使用公式(3)计算;与抗逆性呈负相关的指标(非光化学淬灭系数、丙二醛含量),使用公式(4)计算。累加求均值进行排名,数值越大,抗逆性越强。

由表6可知,二年生圆齿野鸦椿苗木各处理的抗逆性由强到弱依次为II处理(3 000倍液黄腐酸钾) > I处理(4 000倍液黄腐酸钾) > III处理(2 000倍液黄腐酸钾) > IV处理(1 000倍液黄腐酸钾) > CK处理(清水)。即在本试验中,各处理圆齿野鸦椿苗木的抗逆性以浇施3 000倍液黄腐酸钾最强。

## 3 讨论

### 3.1 黄腐酸钾对圆齿野鸦椿苗木生长的影响

不同作物的最佳肥料施用量存在差异<sup>[15]</sup>。本试验中,圆齿野鸦椿二年生苗木的苗木增高量、地径增量以及苗木质量指数均以浇施3 000倍液的黄腐酸钾最大,且均显著高于对照。说明3 000倍液的黄腐酸钾能够促进圆齿野鸦椿苗木生长,提高苗木质量。

研究表明,土壤在施用黄腐酸钾后,土壤内的水盐分布及结构等特征都能得到改良,土壤保肥供肥能力提升,植物的生长质量提高<sup>[16-18]</sup>。黄腐酸钾

表 6 不同处理圆齿野鸭椿隶属函数抗性综合评价

处理	可溶性蛋白含量	可溶性糖含量	过氧化氢酶活性	超氧化物歧化酶活性	丙二醛含量	PS II 最大量子产量	PS II 实际量子产量	光化学淬灭系数	非光化学淬灭系数	苗木质量指数	均值	排名
CK	0.027	0.255	0.048	0.278	0.432	0.695	0.105	0.225	0.103	0.208	0.237	5
I	0.223	0.697	0.469	0.502	0.929	0.630	0.894	0.993	0.753	0.173	0.626	2
II	0.850	0.510	0.529	0.603	0.458	0.654	0.645	0.792	0.675	0.849	0.657	1
III	0.464	0.425	0.972	0.482	0.454	0.683	0.726	0.806	0.991	0.112	0.612	3
IV	0.450	0.078	0.522	0.623	0.368	0.773	0.149	0.170	0.342	0.534	0.401	4

对金钗石斛 (*Dendrobium nobile*) 的生长及品质优化作用明显,且效果优于杜高活力藻、海岛素 2 种有机肥<sup>[19]</sup>。浇施黄腐酸钾后,茄子 (*Solanum melongena*) 幼苗的株高、地径均有显著提高<sup>[20]</sup>。水稻 (*Oryza sativa*) 施用黄腐酸钾也能够对其生长起到一定的积极作用<sup>[21]</sup>。上述研究结果均与本试验结果基本一致。

### 3.2 黄腐酸钾对圆齿野鸭椿叶片叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光分析技术是光合作用的灵敏探针,通过叶绿素荧光分析技术可以很好地了解植物的光合生理状况以及植物对光能的吸收、传递、分配情况,是阐明植物光合机理的重要手段<sup>[22]</sup>。PS II 最大光化学效率反映的是植物 PS II 反应中心内禀光能的转换效率,在非胁迫状态下该参数几乎不会发生变化。PS II 实际光化学效率是植物在光合作用中传递电子的速率,其值越高表示植物光能转化效率越高。光化学淬灭系数越大,代表植物的 PS II 电子活性越强<sup>[23]</sup>。非光化学淬灭系数越大,代表植物在光合作用过程中以热能形式耗散掉的光能越多,说明植物对光能的利用率下降,这是一种植物用于防止光合系统受损的自我保护机制<sup>[24]</sup>。

本试验表明,浇施黄腐酸钾对圆齿野鸭椿苗木 PS II 最大光化学效率无显著影响。但浇施适宜浓度的黄腐酸钾,可显著提高苗木叶片的 PS II 实际光化学效率和光化学淬灭系数,并显著降低苗木叶片的非光化学淬灭系数。说明浇施黄腐酸钾可以显著提高圆齿野鸭椿的光能转化效率及光合系统中的电子传递速率,显著减少圆齿野鸭椿在光合过程中以热能形式耗散掉的光能,从而提高圆齿野鸭椿的光合能力,并以此增强植物的抗逆性,这与冯世鑫等的研究结果<sup>[25]</sup>一致。

### 3.3 黄腐酸钾对圆齿野鸭椿抗性生理生化指标的影响

本试验中,以浇施 2 000 倍液黄腐酸钾溶液的

圆齿野鸭椿二年生苗木叶片的过氧化氢酶活性最强,显著高于对照;但不同处理之间叶片的超氧化物歧化酶活性差异不显著。庞强强等通过对小白菜喷施黄腐酸来探究有机肥对作物细胞内活性氧的影响,发现适宜浓度的黄腐酸可提高抗氧化酶活性,并通过 PCR 得出其相关基因表达量显著上升<sup>[26]</sup>。对烤烟不同品种的幼苗、萌发后的大豆进行黄腐酸钾喷施试验,结果同样证实黄腐酸钾可提高植物细胞抗氧化酶活性<sup>[27-28]</sup>。

细胞中渗透调节物质的积累对维持细胞膜内外渗透平衡至关重要,植物可通过可溶性蛋白、可溶性糖、游离氨基酸、脯氨酸等物质来调节细胞渗透势,抵抗逆境伤害<sup>[29]</sup>。因此可溶性蛋白、可溶性糖含量能够在一定程度上反映植物的抗逆性。在本试验中,圆齿野鸭椿二年生苗浇施 3 000 倍液的黄腐酸钾溶液,其叶片可溶性蛋白含量最高;浇施 4 000 倍液黄腐酸钾溶液,其叶片可溶性糖含量最高;而黄腐酸钾稀释倍数过低(1 000 倍液),叶片可溶性糖含量下降,降低植物细胞对胁迫环境的适应能力,这与陈璐等试验结果<sup>[30]</sup>一致。轩华强等将黄腐酸作为底肥探究其对黄瓜生长的影响,发现黄腐酸与普通有机肥按 3 : 2 配施,可大大提升黄瓜品质,可溶性糖、可溶性蛋白含量相比单施普通有机肥分别提高 96.62%、302.41%<sup>[31]</sup>。裴瑞杰等研究表明,黄腐酸可促进小麦可溶性糖的积累,其作用远大于其他水溶肥,可增强小麦抗逆性<sup>[32]</sup>。

本试验中,黄腐酸钾不同稀释倍数处理的叶片丙二醛含量与对照相比,差异不显著。朱云林等发现,高温低湿环境下,对小麦施用 1 g/L 黄腐酸钾可显著降低其丙二醛含量,减轻不良环境对小麦产生的影响<sup>[33]</sup>。党祝庆等研究表明,黄腐酸钾配施处理的桃幼树根系中丙二醛含量明显降低,说明黄腐酸钾对于延缓细胞衰老、增强抗氧化性有积极影响<sup>[34]</sup>。上述试验结果均表明,黄腐酸钾对抑制细胞

膜脂过氧化过程有积极作用,可减少细胞膜损伤。

#### 4 结论

圆齿野鸦椿二年生苗以浇施 3 000 倍液黄腐酸钾对促进苗木生长,提高苗木质量及其抗逆性的效果最佳。

#### 参考文献:

- [1] Zhang Y J, Gong G Q, Zheng H L, et al. Synergistic extraction and characterization of fulvic acid by microwave and hydrogen peroxide - glacial acetic acid to oxidize low - rank lignite [J]. ACS Omega, 2020, 5(12): 6389 - 6394.
- [2] 回振龙, 李朝周, 史文焯, 等. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究 [J]. 草业学报, 2013, 22(4): 130 - 136.
- [3] 屈 燕. 冻融及盐碱胁迫下添加青蒿素和黄腐酸钾对青稞幼苗的生理影响 [D]. 长春: 吉林大学, 2022: 6.
- [4] Dinler B, Gunduzer E, Tekinay T. Pre - treatment of fulvic acid plays a stimulant role in protection of soybean (*Glycine max* L.) leaves against heat and salt stress [J]. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 2016, 58(1): 29 - 41.
- [5] 张彩虹, 冯 棣, 张敬敏, 等. 黄腐酸钾对盐胁迫下小白菜发芽及幼苗生长的影响 [J]. 中国瓜菜, 2020, 33(12): 87 - 91.
- [6] 赵永长, 宋文静, 邱春丽, 等. 黄腐酸钾对渗透胁迫下烤烟幼苗生长和光合荧光特性的影响 [J]. 中国烟草学报, 2016, 22(4): 98 - 106.
- [7] 王金熠, 唐彩婷, 郭梦云, 等. 圆齿野鸦椿 Biflorin 和 Isobiflorin 的抗氧化性及其对 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 氧化损伤肝细胞的保护作用 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2022, 51(3): 361 - 366.
- [8] Huang W, Ding H, Chen L Y, et al. Protective effect of the total triterpenes of *Euscaphis konishii* Hayata pericarp on *Bacillus calmette - guérin* plus lipopolysaccharide - induced liver injury [J]. Evidence - Based Complementary and Alternative Medicine, 2019, 2019: 1 - 15.
- [9] 钟 诚. 圆齿野鸦椿施肥效应及营养诊断研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2014: 35 - 36.
- [10] 练芳松. 施肥对圆齿野鸦椿生长与生理指标的影响 [J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(3): 158 - 164.
- [11] 曾还球. 不同基肥对圆齿野鸦椿幼苗生长的影响及其培育技术 [J]. 绿色科技, 2015(6): 23 - 25.
- [12] 丁 卉, 黄福墩, 孙维红, 等. 施肥对圆齿野鸦椿生长及叶片三萜含量的影响 [J]. 中药材, 2017, 40(10): 2250 - 2255.
- [13] 万瑞琪, 邵晓雪, 吴凌敏, 等. 圆齿野鸦椿大小孢子发生及雌雄配子体形成 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(4): 766 - 773.
- [14] 涂淑萍, 黄 航, 杜 曲, 等. 不同品种茶树叶片光合特性与叶绿素荧光参数的比较 [J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(5): 1098 - 1106.
- [15] 郎晓平, 孙 健, 沈晓霞, 等. 黄腐酸钾对浙贝母产量和品质的影响 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(1): 72 - 77.
- [16] 孙希武, 彭福田, 肖元松, 等. 硅钙钾镁肥配施黄腐酸钾对土壤酶活性及桃幼树生长的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34(4): 870 - 877.
- [17] 黄炳川, 杨莹攀, 龚珂宁, 等. 施用黄腐酸对不同盐渍化棉田滴灌棉花生理生长的影响 [J]. 节水灌溉, 2022(6): 37 - 43.
- [18] 徐国风, 同延安. 不同改良措施对盐渍湖盐碱地土壤性质及玉米产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 232 - 237.
- [19] 刘 迎, 陈 青, 梁 晓, 等. 6 种叶面肥对海南林下栽培金钗石斛生长和品质的影响 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(10): 2898 - 2903.
- [20] 张一鸣, 刘 珂, 张嘉欣, 等. 几种叶面肥对茄子幼苗生长的影响 [J]. 中国瓜菜, 2020, 33(4): 56 - 59.
- [21] 梁 誉. 不同黄腐酸肥料及用法对水稻生产影响初探 [J]. 农业科技通讯, 2018(11): 51 - 52.
- [22] 关思慧, 柴亚倩, 崔洪鑫, 等. 低温胁迫对 2 个石榴品种幼苗光合参数和生理特性的影响 [J]. 果树学报, 2023, 40(5): 946 - 958.
- [23] 潘 越, 郭 靖, 张 浩, 等. 干旱环境下山葡萄光合和叶绿素荧光参数比较 [J]. 西北农业学报, 2022, 31(11): 1435 - 1442.
- [24] 张陇艳, 程功敏, 魏恒玲, 等. 陆地棉种子萌发期对低温胁迫的响应及耐冷性鉴定 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(1): 19 - 33.
- [25] 冯世鑫, 蒋 妮, 陈乾平, 等. 黄腐酸钾钼合剂对山豆根生长和品质及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(15): 123 - 127.
- [26] 庞强强, 孙光闻, 蔡兴来, 等. 硝酸盐胁迫下黄腐酸对小白菜活性氧代谢及相关基因表达的影响 [J]. 分子植物育种, 2018, 16(17): 5812 - 5820.
- [27] 赵永长, 宋文静, 董建新, 等. 黄腐酸钾对干旱胁迫下烤烟幼苗活性氧代谢的影响 [J]. 中国烟草科学, 2017, 38(4): 29 - 36.
- [28] 栾 白, 高同国, 姜 峰, 等. 微生物降解褐煤产生的黄腐酸对大豆种子萌发及主要抗氧化酶活性的影响 [J]. 大豆科学, 2010, 29(4): 607 - 610.
- [29] Hassanpour H, Ali Khavari - Nejad R, Niknam V, et al. Penconazole induced changes in photosynthesis, ion acquisition and protein profile of *Mentha pulegium* L. under drought stress [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2013, 19(4): 489 - 498.
- [30] 陈 璐, 张小丽, 高 柱, 等. 喷施硝酸镧对脐橙叶片渗透调节物质的影响 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(29): 114 - 119.
- [31] 轩华强, 闻小霞, 胡海非, 等. 底施黄腐酸肥对设施黄瓜产量和品质的影响 [J]. 蔬菜, 2021(11): 30 - 34.
- [32] 裴瑞杰, 孙笑梅. 叶面补施水溶肥料对旱区小麦生长的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2014(7): 25 - 28.
- [33] 朱云林, 顾大路, 文廷刚, 等. 不同调理剂对干热风胁迫下小麦光合特性和产量的影响 [J]. 江西农业学报, 2020, 32(4): 9 - 13, 22.
- [34] 党祝庆, 王娜娜, 张亚飞, 等. 不同施肥模式对桃幼树根系生长与氮素吸收分配的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 171 - 176.