

DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.202505005

寄主对半寄生植物蒜头果形态及生理特性的影响

卯吉华^{1,2}, 卯梅华³, 贾代顺^{1,2}, 李荣波^{1,2}, 李勇鹏^{1,2}, 朱代博⁴

(1.云南省林业和草原科学院, 云南 昆明 650201; 2.云南省木本油料技术创新中心, 云南 昆明 650201; 3.云南林业职业技术学院, 云南 昆明 650224; 4.陕西周至国家级自然保护区管理局, 陕西 西安 710400)

摘要: 为探究不同寄主植物对半寄生植物蒜头果生长及抗旱性的影响, 筛选蒜头果苗期优良寄主植物, 以假蒿、木豆、枫香、旱冬瓜、香樟、麻栎、猪屎豆、清香木和八角为寄主进行盆栽共培养试验, 从蒜头果生长指标、营养元素含量及干旱胁迫对其生理特性的影响进行综合评价。结果表明, 寄主能显著提高蒜头果的生长量与存活率($P<0.05$), 增加生物量积累和促进营养元素吸收, 提高其在干旱胁迫下的抗性。不同寄主植物对蒜头果的影响显著($P<0.05$), 假蒿、木豆和枫香对株高和地径的生长、存活率及生物量积累的促进作用最显著; 枫香、旱冬瓜、木豆、假蒿和香樟对营养元素的吸收促进效果最显著, 而不同寄主植物对不同营养元素的吸收存在差异, 旱冬瓜、木豆和假蒿可有效促进 N 和 K 元素吸收, 枫香可有效促进 P 元素吸收。干旱胁迫下, 木豆、枫香、旱冬瓜和假蒿可促进蒜头果积累更多的超氧化物歧化酶和过氧化物酶保护酶, 保护细胞膜不受到伤害; 枫香、木豆和假蒿可通过促进蒜头果积累大量的脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白进行渗透调节, 且可有效降低丙二醛含量, 从而减轻干旱胁迫对细胞膜造成的损伤, 增强其抗旱性能, 复水后各生理指标基本能恢复到干旱胁迫前。根据综合评价结果, 初步认为枫香、木豆和假蒿是最适宜蒜头果生长的优良寄主植物, 旱冬瓜、香樟、麻栎和猪屎豆也可作为蒜头果的适宜寄主植物进行应用。

关键词: 蒜头果; 寄主; 形态; 生理特性; 综合评价

中图分类号: S723.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-0018(2025)06-0618-11



开放科学标识码
(OSID 码)

Effects of host plants on morphological and physiological characteristics of the hemiparasite *Malania oleifera*

MAO Jihua^{1,2}, MAO Meihua³, JIA Daishun^{1,2}, LI Rongbo^{1,2}, LI Yongpeng^{1,2}, ZHU Daibo⁴

(1.Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming, Yunnan 650201, China; 2.Yunnan Technology Innovation Center of Woody Oil, Kunming, Yunnan 650201, China; 3.Yunnan Forestry Technological College, Kunming, Yunnan 650224, China; 4.Administration Bureau of Shaanxi Zhouzhi National Nature Reserve, Xi'an, Shaanxi 710400, China)

Abstract: This study explored the effects of different host plants on the growth and drought resistance of the hemiparasite *Malania oleifera*, aiming to screen the suitable host plants of *M. oleifera* during the seedling stage. A pot co-culture experiment was conducted with *Eupatorium capillifolium*, *Cajanus cajan*, *Liquidambar formosana*, *Alnus nepalensis*, *Camphora officinarum*, *Quercus acutissima*, *Crotalaria pallida*, *Pistacia weinmanniifolia*, and *Illicium verum* as host plants. The growth indicators, nutrient content, and physiological characteristics of *M. oleifera* under drought stress were evaluated. The results showed that the host plants improved the growth and survival rate ($P<0.05$), increased the biomass and nutrient accumulation, and enhanced the drought resistance of *M. oleifera*. Different host plants exerted varied effects on *M. oleifera* ($P<0.05$), with *E. capillifolium*, *C. cajan*, and *L. formosana* showing the most significant promoting effects on the seedling height, ground diameter, survival rate, and biomass accumulation. *L. formosana*, *A. nepalensis*, *C. cajan*, *E. capillifolium*, and *C. officinarum* had the most significant promoting effects on nutrient accumulation. Moreover, host plants exerted different effects on the accumulation of different nutrients. *A. nepalensis*, *C. cajan*, and *E. capillifolium* effectively promoted the accumulation of N and K, while *L. formosana* effectively promoted the accumulation of P. Under drought stress, *C. cajan*, *L. formosana*, *A. nepalensis*, and *E. capillifolium* promoted the accumulation of protective enzymes such as superoxide dismutase and peroxidase in *M. oleifera* to protect the cell membrane from damage. *L. formosana*, *C. cajan*, and *E. capillifolium* promoted the accumulation of proline, soluble sugar, and soluble protein for osmotic regulation and effectively

收稿日期: 2025-05-13 修回日期: 2025-09-18

基金项目: 云南省林业和草原科学院开放基金项目“基于稳定同位素技术的喀斯特濒危植物蒜头果水分利用机理研究”; 国家自然科学基金项目“寄生植物和内生菌根真菌对蒜头果适应性的影响”(31960309)。

第一作者简介: 卯吉华(1984-), 女, 助理研究员, 硕士, 从事珍稀濒危植物保育与利用研究。Email: 1244587886@qq.com。

通信作者: 贾代顺(1975-), 男, 高级工程师, 硕士, 从事经济林高效培育与利用研究。Email: 979498166@qq.com。

reduced the content of malondialdehyde, thereby reducing the cell membrane damage caused by drought stress and enhancing the drought resistance. After rewatering, the physiological indicators of *M. oleifera* basically recovered to the levels before drought treatment. The comprehensive evaluation results suggest that *L. formosana*, *C. cajan*, and *E. capillifolium* are the most suitable hosts for the growth of *M. oleifera*, and *A. nepalensis*, *C. officinarum*, *Q. acutissima*, and *C. pallida* can also be used as suitable hosts for *M. oleifera*.

Key words: *Malania oleifera*; host; morphology; physiological characteristic; comprehensive evaluation

蒜头果(*Malania oleifera*)为铁青树科(Olacaceae)蒜头果属(*Malania*)半寄生植物^[1-2],是我国西南喀斯特岩溶地区特有的二级保护植物^[3-4]。蒜头果种仁油脂中存在含量高达40.0%~62.6%的顺-15-二十四碳烯酸(俗称神经酸)^[5-6],其神经酸含量是已知植物之最,具有广阔的开发前景。蒜头果作为稀有资源,其市场需求极高但野生数量少、生长周期长,导致其市场价值显著提升。因此,开展蒜头果的人工高效培育显得尤为重要且迫切。

目前,虽有少量蒜头果人工栽培的报道,但因栽培过程中未考虑蒜头果特殊的生物学特性——根部半寄生性,导致栽培存活率较低,严重制约了这一高值资源植物的开发利用。已有研究表明,寄生植物生长发育所需的养分和水分均来自寄主植物^[7-8]。蒜头果属于典型的半寄生植物^[9],其根系虽保留部分吸收功能,但主要依赖吸器从寄主植物根部维管束获取氮、磷等关键养分,若缺乏适宜寄主,幼苗将因营养失衡导致植株生长衰退,甚至死亡。对于蒜头果来说,寄主是一个特殊且重要的生态因素,影响着其种植的存活与生长发育。因此,要实现蒜头果人工栽培成功,筛选出适宜与蒜头果搭配种植的优良寄主植物是解决和实现其人工栽培首要的、也是最关键的问题。随着全球气候变暖,日益频发的干旱事件成为植物面临的主要生物胁迫,而西南岩溶地区降雨量季节分配极不均匀,冬春季时常发生季节性干旱,水分亏缺成为该地区植物生长发育的主要限制因子。前人的研究认为,干旱胁迫会引起寄生植物与寄主之间的生理生化调控响应^[10],充足的营养元素可增强植物的抗逆能力^[11]。然而在干旱胁迫条件下,寄主植物对蒜头果生理生态过程有着怎样影响?寄主植物是否能通过提高蒜头果的生物量及养分含量进而提高抗旱性?相关研究尚未见报道。基于此,在前期调查的基础上,以可能是蒜头果优良寄主的9种植物为研究对象,将其与蒜头果分别进行共培养试验,通过分析不同寄主植物对蒜头果存活率、生长指标与生物量、营养元素含量及在干旱胁迫与复水下生理指标的影响,并采用熵权TOPSIS法进行综合评价,筛选出蒜头果优良寄主植物,为实现蒜头果人工高效栽培提供依据,同时为濒危植物资源保护和产业化开发提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料及设计

在前期对云南省野生分布区蒜头果半寄生特性调查的基础上,选择假蒿(*Eupatorium capillifolium*, Ec)、木豆(*Cajanus cajan*, Cc)、枫香(*Liquidambar formosana*, Lf)、香樟(*Camphora officinarum*, Co)、旱冬瓜(*Alnus nepalensis*, An)、麻栎(*Quercus acutissima*, Qa)、猪屎豆(*Crotalaria pallida*, Cp)、清香木(*Pistacia weinmanniifolia*, Pw)、八角(*Illicium verum*, Iv)为试验对象(寄主植物)。2021年5月,分别将寄主植物与蒜头果幼苗种植于同一育苗盆(口径30 cm,高40 cm)中进行共培养试验,每盆配置1株苗高20~30 cm的寄主植物,以不配置寄主植物为对照(CK),共设10个试验处理,每处理20盆,重复3次。试验在云南省林业和草原科学院温室大棚进行,所有处理均在同一条件下进行浇水、除草等常规管理。

蒜头果和寄主植物共培养24个月后,测定蒜头果株高和地径,并统计存活株数。从每处理中随机选择6株进行破坏性采样,将蒜头果和寄主植物根系清洗干净,尽量使由吸器连接的寄主根系和蒜头果根系保持完整,然后分别剪取不同处理蒜头果的根、茎、叶,带回实验室将其在105℃下杀青30 min后,于80℃烘干至恒重,测定不同部位生物量和营养元素含量。从剩余的各处理中选取蒜头果长势基本一致的6盆幼苗进行干旱胁迫与复水试验。试验开始前统一浇透水,采用自然干旱的方法进行试验,为期21 d,在干旱胁迫0 d、干旱胁迫7 d、干旱胁迫14 d、复水后第7天(复水, RW)进行采样,干旱第15天进行复水处理,每天浇透水,连续浇透7 d。采样时采集不同处理蒜头果茎干上、中、下部位健康成熟叶各2片,用于测定叶绿素含量、抗氧化酶活性、渗透调节物质含量等指标。

1.2 指标测定及方法

采用钢卷尺测量株高,游标卡尺测量地径,千分之一的分析天平测定生物量。营养元素指标测定参考文献[12],用凯氏定氮法测定 N 元素含量,用钼锑抗比色法测定 P 元素含量,用火焰光度法测定 K 元素含量。生理指标测定参考文献[13-15],采用研磨提取法、葱酮比色法、考马斯亮蓝染色法、氮蓝四唑法、愈创木酚法、酸性茚三酮法、硫代巴比妥酸法分别测定叶绿素含量、可溶性糖(soluble sugar, SS)含量、可溶性蛋白(soluble protein, SP)含量、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性、过氧化物酶(peroxidase, POD)活性、脯氨酸(proline, Pro)含量、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量。

1.3 数据分析

运用 Microsoft Excel 2019 软件对试验数据进行统计。用 DPS 19.05 软件进行多重比较分析。采用熵权 TOPSIS 法对不同寄主植物处理的蒜头果形态及生理生化响应特征进行综合评价^[16]。

2 结果与分析

2.1 不同寄主对蒜头果存活率和生长指标的影响

由表 1 可知,寄主植物对蒜头果存活率和生长量影响显著,有寄主的蒜头果存活率和生长量显著高于 CK($P<0.05$)。不同寄主植物对蒜头果存活率影响显著,其中,假蒿和枫香最显著,以它们为寄主的蒜头果存活率均为 100.00%,其次是木豆、香樟、早冬瓜、麻栎和猪屎豆,清香木和八角相较其他寄主略低,但均显著高于 CK。不同寄主植物对蒜头果株高生长促进作用显著,其中,木豆、假蒿和枫香最显著,以它们为寄主的蒜头果株高分别是 CK 的 3.96、3.85、3.83 倍,其次是香樟、早冬瓜、麻栎和猪屎豆,以它们为寄主的蒜头果株高是 CK 的 3 倍左右,清香木和八角相对较小,但均显著高于 CK。不同寄主植物对蒜头果地径生长的促进作用显著,其中,假蒿、枫香和香樟最显著,以它们为寄主的蒜头果地径分别是 CK 的 3.18、2.99、2.86 倍,其次是木豆、早冬瓜、麻栎和猪屎豆,清香木和八角相对较小,但均显著高于 CK。

表 1 不同寄主对蒜头果存活率和生长指标的影响

Table 1 Effects of different host plants on the survival rate and growth indicator of *M. oleifera*

寄主植物 Host plant	存活率 Survival rate/%	株高 Plant height/cm	地径 Ground diameter/mm
假蒿 Ec	100.00±0.00A	125.25±7.21A	20.96±2.24A
木豆 Cc	98.33±2.31A	128.63±13.65A	15.35±1.42AB
枫香 Lf	100.00±0.00A	124.58±12.83A	19.68±1.36A
香樟 Co	98.34±1.34A	102.76±16.43B	18.84±1.67A
早冬瓜 An	98.32±1.45A	99.75±6.85B	15.18±2.13AB
麻栎 Qa	98.30±2.18A	95.76±9.11B	14.67±1.34AB
猪屎豆 Cp	96.67±2.04A	90.74±8.56BC	14.49±1.45AB
清香木 Pw	81.68±2.12B	74.50±4.84C	10.05±1.12B
八角 Iv	83.34±2.53B	57.40±3.58C	10.86±1.31B
对照 CK	21.67±0.62C	32.50±1.26D	6.59±0.65C

注:同列数值后不同大写字母表示不同寄主植物处理间差异显著($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences in the same indicator among different host plants ($P<0.05$).

2.2 不同寄主对蒜头果生物量积累的影响

由表 2 可知,寄主植物显著影响蒜头果不同部位生物量积累,有寄主的蒜头果根、茎、叶和总生物量均显著高于 CK($P<0.05$)。不同寄主植物对蒜头果根生物量的影响存在显著差异,其中,假蒿影响最大,其根生物量为 58.22 g,是 CK 的 13.60 倍,其次是香樟和枫香,清香木和八角影响较小,但均显著高于 CK。不同寄主植物对蒜头果茎生物量的影响存在显著差异,其中,假蒿影响最大,其茎生物量为 55.43 g,是 CK 的 12.57 倍,其次是枫香、木豆和香樟,清香木影响较小,但仍显著高于 CK。不同寄主植物对蒜头果叶片生物量的影响存在显著

表 2 不同寄主对蒜头果生物量积累的影响

Table 2 Effects of different host plants on the biomass of *M. oleifera*

寄主植物 Host plant	生物量 Biomass/g			
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	总 Total
假蒿 Ec	58.22±4.83A	55.43±5.26A	80.70±7.65A	194.35±12.23A
木豆 Cc	19.38±0.76C	36.33±0.65B	54.90±2.31B	110.61±7.36B
枫香 Lf	29.03±0.32B	37.25±0.36B	45.53±2.16B	111.80±5.45B
香樟 Co	31.65±0.36B	33.41±0.24B	37.51±1.23C	102.56±3.51B
早冬瓜 An	20.71±0.25C	22.56±0.26C	25.10±1.26C	68.37±2.76C
麻栎 Qa	14.97±0.27C	14.44±0.32C	23.42±1.14C	52.83±2.84C
猪屎豆 Cp	18.03±0.36C	15.94±0.44C	17.11±0.83D	51.08±2.17C
清香木 Pw	13.61±0.23C	8.18±0.19C	13.44±0.52D	35.23±1.42D
八角 Iv	13.14±0.41C	8.70±0.28C	10.78±0.61D	32.62±1.26D
对照 CK	4.28±0.35D	4.41±0.27D	6.13±0.34D	14.82±0.85E

注:同列数值后不同大写字母表示不同寄主植物处理间差异显著($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences in the same indicator among different host plants ($P<0.05$).

差异, 其中, 假蒿影响最大, 其叶片生物量为 80.70 g, 是 CK 的 13.16 倍, 其次是木豆和枫香, 八角影响较小, 但仍显著高于 CK。不同寄主植物对蒜头果单株总生物量的影响存在显著差异, 其中, 假蒿影响最大, 其总生物量为 194.35 g, 是 CK 的 13.11 倍, 其次是枫香、木豆和香樟, 八角影响较小, 但仍显著高于 CK。

2.3 不同寄主对蒜头果营养元素吸收的影响

由表 3 可知, 寄主植物有效促进了蒜头果根、茎和叶中 N 元素的吸收。有寄主的蒜头果根、茎和叶 N 元素含量均显著高于 CK ($P < 0.05$), 不同寄主植物对蒜头果不同营养器官的 N 元素含量影响存在差异, 总体表现为木豆处理的最高, 其根、茎、叶 N 元素含量分别是 CK 的 3.86、5.50、4.83 倍, 其次是早冬瓜处理, 其根、茎、叶 N 元素含量分别是 CK 的 3.27、3.60、4.38 倍, 茎、叶 N 元素含量最低的是清香木处理, 根 N 元素含量最低的是八角处理, 但均显著高于 CK。

寄主植物有效促进了蒜头果根、茎和叶中 P 元素的吸收。不同寄主植物对蒜头果不同营养器官的 P 元素含量影响存在差异, 总体表现为枫香处理的最高, 根、茎、叶中的 P 元素含量分别为 CK 的 4.26、8.67、5.43 倍。根中 P 元素含量其次是早冬瓜、麻栎和假蒿处理, 茎中 P 元素含量其次是猪屎豆、麻栎和香樟处理, 叶中 P 元素含量其次是猪屎豆、清香木和麻栎处理。不同营养器官中 P 元素含量均为八角处理的最低, 但均高于 CK。

寄主植物促进了蒜头果根、茎和叶中 K 元素的吸收。有寄主的蒜头果茎和叶中 K 元素含量均显著高于 CK ($P < 0.05$), 不同寄主植物对蒜头果不同营养器官中 K 元素含量的影响存在差异, 其中, 根中早冬瓜处理的最高, 为 $25.81 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 是 CK 的 2.29 倍, 其次是猪屎豆、麻栎和枫香处理; 茎中香樟处理的最高, 为 $14.74 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 是 CK 的 3.42 倍, 其次是枫香、麻栎和猪屎豆处理; 叶中清香木处理的最高, 为 $19.31 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 是 CK 的 2.68 倍, 其次是猪屎豆、枫香和麻栎处理, 八角处理的最低, 但均高于 CK。

表 3 不同寄主对蒜头果 N、P 和 K 元素含量的影响

Table 3 Effects of different host plants on the N, P, and K content of *M. oleifera*

寄主植物 Host plant	N 元素含量 N content/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$			P 元素含量 P content/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$			K 元素含量 K content/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
假蒿 Ec	14.91±1.45AB	9.80±1.21B	18.27±1.54B	2.03±0.32B	1.46±0.19B	2.03±0.51C	19.50±2.14AB	12.64±1.16A	14.84±1.54AB
木豆 Cc	23.99±1.93A	17.96±1.69A	30.54±2.83A	1.89±0.21B	1.63±0.24B	1.82±0.28C	21.61±1.67A	11.33±1.22A	12.06±1.62B
枫香 Lf	13.57±1.12AB	8.54±0.72B	17.78±1.95B	3.03±0.26A	3.25±0.38A	4.63±0.65A	22.03±2.03A	14.61±1.53A	17.12±1.88A
香樟 Co	11.72±1.25B	7.58±0.68B	17.97±2.32B	1.75±0.43B	1.92±0.51B	2.49±0.24C	19.68±1.62AB	14.74±1.28A	16.64±1.73A
早冬瓜 An	20.35±2.31A	11.77±0.81B	27.70±2.24A	2.20±0.27B	1.81±0.72B	2.62±0.22C	25.81±2.12A	12.55±1.03A	12.09±1.19B
麻栎 Qa	15.18±1.52AB	8.27±0.54B	16.45±1.23B	2.09±0.65B	2.03±0.35B	3.39±0.42B	23.52±1.73A	14.47±0.78A	16.79±0.92A
猪屎豆 Cp	11.49±0.87B	5.67±0.62B	13.39±1.18B	1.66±0.18BC	2.28±0.26B	4.11±0.61AB	23.79±1.56A	12.80±0.34A	18.11±1.43A
清香木 Pw	9.91±0.45B	5.26±0.44B	10.71±1.26B	1.57±0.25BC	1.34±0.17BC	3.68±0.74B	19.41±1.53AB	8.45±0.52B	19.31±1.62A
八角 Iv	9.57±0.51B	6.13±0.35B	17.69±1.43B	0.97±0.16C	0.91±0.23C	1.80±0.30C	13.61±1.12B	7.66±0.39B	10.37±0.55B
对照 CK	6.21±0.33C	3.27±0.23C	6.32±0.56C	0.71±0.20C	0.38±0.11C	0.85±0.27D	11.25±0.36B	4.32±0.25C	7.21±0.36C

注: 同列数值后不同大写字母表示不同寄主植物处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences in the same indicator among different host plants ($P < 0.05$).

2.4 干旱胁迫与复水对不同寄主处理下蒜头果生理特性的影响

2.4.1 干旱胁迫对不同寄主处理下蒜头果生长表型的影响 干旱胁迫前与胁迫 14 d 时, 不同寄主植物处理组蒜头果生长状态表型变化如图 1 所示: 干旱胁迫前, 除 CK 和八角处理因无寄主植物和寄主植物不适宜而导致蒜头果生长表现出养分缺乏、叶片变黄外, 其余处理组蒜头果的生长状态均较好。干旱胁迫 14 d 时, 除枫香处理蒜头果的生长状态表型变化不明显外, 其余处理组蒜头果的叶片均出现不同程度的萎焉、下垂和叶色变淡的现象, 尤其是 CK、八角和清香木处理蒜头果的生长状态表型变化较大, 甚至出现下部叶片干枯、凋落的现象, 可能是由于这 3 个处理的蒜头果没有从寄主植物体内获得水分和养分的支持或获取的支持较少, 难以适应干旱条件而导致萎焉。可见, 干旱胁迫下不同寄主植物对蒜头果生长表型影响较大。



(a) 干旱胁迫前 Before drought stress

(b) 干旱胁迫 14 d Drought stress for 14 days

注: CK. 对照; T₉. 八角; T₈. 清香木; T₇. 猪屎豆; T₆. 麻栎; T₅. 旱冬瓜; T₄. 香樟; T₃. 枫香; T₂. 木豆; T₁. 假蒿。Note: CK. control; T₉. *Illicium verum*; T₈. *Pistacia weinmannifolia*; T₇. *Crotalaria pallida*; T₆. *Quercus acutissima*; T₅. *Alnus nepalensis*; T₄. *Camphora officinarum*; T₃. *Liquidambar formosana*; T₂. *Cajanus cajan*; T₁. *Eupatorium capillifolium*.

图 1 干旱胁迫前与胁迫 14 d 时不同寄主处理下蒜头果生长状态

Figure 1 Growth status of *M. oleifera* under different host plant treatments before drought stress and on day 14 of drought stress

2.4.2 干旱胁迫与复水对不同寄主处理下蒜头果保护酶活性的影响 由表 4 可知, 干旱胁迫下寄主植物有效提高了蒜头果叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性, 在不同干旱胁迫和复水处理下有寄主处理的蒜头果叶片中 SOD 活性均高于 CK。不同寄主植物处理间 SOD 活性存在差异, 其中, 木豆和枫香处理的 SOD 活性显著高于其他处理($P<0.05$), 且表现出随着干旱胁迫时间的延长而升高, 在干旱胁迫 14 d 时其活性达最大, 分别是 CK 同时期的 6.27、6.25 倍, 清香木处理的最低, 但不同干旱胁迫期的活性均高于 CK。香樟和旱冬瓜处理的 SOD 活性随着干旱胁迫时间的延长而升高, 在干旱胁迫 14 d 时其活性达最大; 假蒿处理的 SOD 活性随着干旱胁迫时间的延长其活性先降低后升高, 在干旱胁迫 0 d 时其活性达最大; 麻栎、猪屎豆、清香木和八角处理的 SOD 活性随着干旱胁迫时间的延长先升高后降低, 在干旱胁迫 7 d 时其活性达最大; 而 CK 的 SOD 活性随着干旱胁迫时间的延长而降低。复水后木豆、枫香、香樟、旱冬瓜和麻栎处理的 SOD 活性均高于干旱胁迫 0 d, 其他处理均低于干旱胁迫 0 d。

表 4 干旱胁迫与复水条件下不同寄主对蒜头果超氧化物歧化酶活性的影响

Table 4 Effects of different host plants on the SOD activity in leaves of *M. oleifera* under drought and rewatering conditions

寄主植物 Host plant	超氧化物歧化酶活性 SOD activity/(U·g ⁻¹)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	4 390.334 1±212.321 4Ca	3 197.322 2±321.548 5Cb	3 568.221 4±89.326 0BCa	3 041.103 5±84.436 2Cb
木豆 Cc	6 857.541 8±173.247 1Be	8 529.914 3±219.571 0Ab	9 961.029 2±178.459 2Aa	9 856.295 8±348.436 2Aa
枫香 Lf	8 815.647 2±113.238 4Ab	9 336.276 3±176.434 6Ab	9 932.425 6±427.358 0Aa	9 064.601 7±632.568 7Ab
香樟 Co	4 082.362 1±341.317 6Cb	5 145.766 8±214.375 8Ba	5 254.215 4±238.982 1Ba	5 074.985 8±234.517 4Ba
旱冬瓜 An	3 214.245 6±164.865 0Ca	3 654.841 6±137.346 1BCa	3 864.249 8±69.975 3Ca	3 320.906 4±643.567 8Ca
麻栎 Qa	3 781.162 3±89.224 3Ca	4 565.545 5±83.827 8Ba	4 158.425 4±167.297 4Ca	3 864.248 1±567.034 8Ca
猪屎豆 Cp	3 458.645 4±185.457 2Ca	3 854.279 4±254.865 5BCa	3 345.354 8±238.548 7Ca	3 058.674 9±93.657 9Ca
清香木 Pw	2 378.255 6±137.561 3Da	2 793.804 2±94.768 2Ca	2 068.546 1±143.658 5Db	2 254.248 5±346.967 0Db
八角 Iv	3 879.376 6±34.457 4Cb	4 828.982 5±367.235 0Ba	3 154.854 5±79.327 8Cb	3 648.254 6±296.972 2Cb
对照 CK	2 135.546 4±76.347 7Da	1 918.126 2±201.456 7Ca	1 589.641 2±153.456 0Db	2 004.657 4±143.567 3Da

注: 不同大写字母表示同一干旱程度不同寄主植物差异显著($P<0.05$), 不同小写字母表示同一寄主植物不同干旱程度差异显著($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences among different host plants at the same drought stress level ($P<0.05$), and different lowercase letters indicate significant differences in the same host plant treatment among different drought stress levels ($P<0.05$).

由表 5 可知, 干旱胁迫及复水条件下不同寄主植物处理间蒜头果叶片中过氧化物酶(POD)活性存在差异, 旱冬瓜处理的 POD 活性最大, 且表现出随着干旱胁迫时间的延长而升高, 在干旱胁迫 14 d 时其活性达最大, 为 CK 同时期的 11.89 倍。除清香木处理和 CK 外, 其他处理的 POD 活性随着干旱胁迫时间的延长而升高, 并在干旱胁迫 14 d 时其活性达最大, 而清香木处理和 CK 的 POD 活性随着干旱胁迫时间的延长先升高后降低, 在干旱胁迫 7 d 时其活性达最大。复水后除旱冬瓜处理和 CK 的 POD 活性低于干旱胁迫 0 d, 其他处理均高于干旱胁迫 0 d。

表 5 干旱胁迫与复水条件下不同寄主对蒜头果过氧化物酶活性的影响

Table 5 Effects different host plants on the POD activity in leaves of *M. oleifera* under drought and rewatering conditions

寄主植物 Host plant	过氧化物酶活性 POD activity/(U·g ⁻¹)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	0.979 0±0.324 1Bb	1.257 6±0.464 8Ba	1.405 1±0.342 7Ba	1.128 7±0.207 4Ba
木豆 Cc	0.869 6±0.342 6Bb	1.112 0±0.274 3Bb	1.488 4±0.174 0Ba	1.344 2±0.193 0Ba
枫香 Lf	0.877 2±0.184 2Bb	1.187 3±0.432 6Bb	1.550 2±0.331 2Ba	1.887 6±0.436 1ABa
香樟 Co	0.491 8±0.146 0Cb	0.682 2±0.365 3Ca	0.943 2±0.211 5Ca	0.525 9±0.206 0Cb
旱冬瓜 An	4.185 9±0.835 2Aa	4.501 7±0.732 9Aa	4.942 6±0.424 6Aa	2.690 6±0.380 2Ab
麻栎 Qa	0.785 1±0.265 4Bb	1.036 4±0.452 7Ba	1.321 9±0.375 0Ba	0.945 9±0.197 3Cb
猪屎豆 Cp	0.646 8±0.363 2Bb	0.856 9±0.310 8Ca	1.512 0±0.238 1Ba	0.984 5±0.463 8Ca
清香木 Pw	0.704 8±0.274 8Bb	1.363 7±0.421 1Ba	1.149 8±0.173 9Ca	0.915 9±0.105 7Cb
八角 Iv	0.633 6±0.316 3Bb	1.080 0±0.216 4Ba	1.354 0±0.093 7Ba	0.765 8±0.321 2Cb
对照 CK	0.428 1±0.283 6Cb	0.858 9±0.201 3Ca	0.734 7±0.116 0Ca	0.415 6±0.128 4Cb

注: 不同大写字母表示同一干旱程度不同寄主植物差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一寄主植物不同干旱程度差异显著 ($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences among different host plants at the same drought stress level ($P<0.05$), and different lowercase letters indicate significant differences in the same host plant treatment among different drought stress levels ($P<0.05$).

2.4.3 干旱胁迫与复水对不同寄主处理下蒜头果渗透调节物质和叶绿素的影响 由表 6 可知, 干旱胁迫及复水条件下不同寄主植物处理间蒜头果叶片中脯氨酸(Pro)含量存在差异, 枫香和木豆处理的 Pro 含量均显著高于其他处理, 并在干旱胁迫 14 d 时其含量达最大值, 分别是 CK 同时期的 6.03 倍和 5.88 倍。除麻栎处理和 CK 外, 其他处理的 Pro 含量均表现为随着干旱胁迫时间的延长而升高, 麻栎处理的 Pro 含量随着干旱胁迫时间的延长先降低后升高, 而 CK 的 Pro 含量随着干旱胁迫时间的延长先升高后降低。复水后除麻栎处理和 CK 的 Pro 含量低于干旱胁迫 0 d, 其他处理均高于干旱胁迫 0 d。

表 6 干旱胁迫与复水条件下不同寄主对蒜头果脯氨酸含量的影响

Table 6 Effects of different host plants on the Pro content in leaves of *M. oleifera* under drought and rewatering conditions

寄主植物 Host plant	脯氨酸含量 Pro content/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	42.013 2±0.437 2Db	54.724 4±6.875 0Cb	67.760 3±4.318 4Da	78.284 7±5.328 0Da
木豆 Cc	203.119 4±34.568 0Ac	271.562 2±24.346 7Ab	355.235 5±26.068 2Aa	209.631 7±32.067 1Ac
枫香 Lf	224.543 6±21.568 4Ac	295.492 1±37.802 1Ab	364.613 3±64.920 2Aa	226.357 0±24.953 0Ac
香樟 Co	35.457 7±2.563 7Db	63.077 6±11.745 8Ca	78.920 0±10.586 7CDa	69.180 0±4.368 2Da
旱冬瓜 An	57.965 7±3.625 4Cd	80.748 1±5.653 9BCc	112.270 4±8.324 9Bb	176.882 6±8.525 6Ba
麻栎 Qa	106.697 3±7.855 0Bb	94.202 3±14.034 8Bb	129.809 4±17.452 0Bb	89.943 6±12.764 9Cb
猪屎豆 Cp	68.546 1±5.183 6Cb	79.654 2±2.456 9BCb	95.244 5±5.985 6Ca	103.547 2±6.382 7Ca
清香木 Pw	63.988 7±2.345 9Cb	74.411 9±8.437 1Cb	95.039 0±9.104 3Ca	112.117 4±9.547 2Ca
八角 Iv	62.661 3±1.836 0Cb	70.307 6±4.658 3Cb	84.655 7±4.239 6Ca	75.354 8±3.659 2Da
对照 CK	71.873 0±1.464 2Cb	90.789 9±6.325 3Bb	60.458 7±2.347 2Da	66.354 7±3.132 7Da

注: 不同大写字母表示同一干旱程度不同寄主植物差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一寄主植物不同干旱程度差异显著 ($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences among different host plants at the same drought stress level ($P<0.05$), and different lowercase letters indicate significant differences in the same host plant treatment among different drought stress levels ($P<0.05$).

由表 7 可知, 干旱胁迫及复水条件下不同寄主植物处理间蒜头果叶片可溶性糖(SS)含量存在差异, 干旱胁迫 0 d 和 14 d 时假蒿处理的最大, 干旱胁迫 7 d 和复水后枫香处理的最大, 但均在干旱胁迫 14 d 时达最大值, 是 CK 同时期的 2.11 倍。随着干旱胁迫时间的延长旱冬瓜和麻栎处理的 SS 含量先降低后升高, 八角处理和 CK 降低, 其他处理均表现为升高。复水后除旱冬瓜、麻栎、清香木、八角处理和 CK 的 SS 含量低于干旱胁迫 0 d, 其他处理均高于干旱胁迫 0 d。干旱胁迫及复水条件下不同寄主植物处理间蒜头果叶片可溶性蛋白(SP)含量存在差异, 枫香处理的 SP 含量最大, 并在干旱胁迫 14 d 时达最大值, 是 CK 同时期的 3.66 倍和 3.60 倍。随着干旱胁迫时间的延长麻栎处理的 SP 含量先升高后降低, 清香木、八角处理和 CK 随着干旱胁迫时间的延长而降低, 其他处理均表现为随着干旱胁迫时间的延长而升高。复水后除清香木、八角处理和 CK 的 SP 含量低于干旱胁迫 0 d, 其他处理均高于干旱胁迫 0 d。

表 7 干旱胁迫与复水条件下不同寄主对蒜头果可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Table 7 Effects of different host plants on the content of SS and SP in leaves of *M. oleifera* under drought and rewating conditions

寄主植物 Host plant	可溶性糖含量 SS content/(mg·g ⁻¹)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	48.453 3±2.356 2Ab	52.554 0±1.546 7Ab	61.192 2±1.954 8Aa	48.549 4±4.986 2Bb
木豆 Cc	52.801 6±7.745 0Ab	56.588 1±4.633 2Ab	62.658 4±4.912 0Aa	54.918 5±0.573 6Ab
枫香 Lf	53.042 0±4.358 6Ab	59.366 8±5.783 9Ab	69.995 7±2.634 7Aa	55.168 3±6.239 7Ab
香樟 Co	46.735 8±2.457 8Ab	49.469 6±8.467 8Ab	57.089 8±8.703 0ABa	48.389 6±1.546 9Ab
旱冬瓜 An	52.341 6±0.854 6Aa	49.976 2±2.653 0Ab	53.738 2±1.579 9Ba	50.041 8±4.248 0Ab
麻栎 Qa	47.336 4±4.457 9Aa	43.552 9±1.567 5Bb	46.419 1±3.084 7Ba	42.355 7±2.586 1Bb
猪屎豆 Cp	46.546 2±3.646 7Ab	49.654 2±6.023 5Ab	53.467 5±7.546 2ABa	48.566 5±3.960 4Ab
清香味 Pw	43.736 5±2.579 3Ab	47.657 7±2.830 2Aa	50.620 8±4.769 1Ba	40.424 5±2.903 3Bb
八角 Iv	44.214 6±1.359 0Aa	41.023 2±4.357 9Ba	37.542 1±5.986 5Cb	41.654 3±5.046 8Ba
对照 CK	36.640 0±2.789 4Ba	33.213 3±1.964 0Bb	27.546 1±0.839 2Cc	33.244 6±1.972 0Cb

寄主植物 Host plant	可溶性蛋白含量 SP content/(mg·g ⁻¹)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	198.629 6±54.902 6Ab	212.369 6±18.936 4Bb	309.357 1±40.432 5Aa	202.616 8±38.478 0Ab
木豆 Cc	175.186 2±38.549 7Ac	223.126 1±40.355 1Bb	268.641 9±25.097 4ABa	189.663 5±26.054 8Ac
枫香 Lf	184.977 3±27.167 2Ac	292.572 5±36.867 5Aa	304.026 1±19.356 9Aa	205.628 1±15.458 2Ab
香樟 Co	155.473 6±8.437 8Ab	174.952 3±16.583 0Cab	192.100 3±33.567 7Ca	196.003 6±32.456 1Aa
旱冬瓜 An	131.483 0±21.084 3Bc	149.563 8±28.058 3Cb	237.125 9±16.546 2Ba	146.608 6±10.324 3Bb
麻栎 Qa	126.137 0±7.333 2Bc	183.013 5±16.387 2BCa	159.141 9±12.557 8Db	155.825 3±25.567 4Ba
猪屎豆 Cp	152.546 2±18.395 4Ab	165.546 4±8.548 9Cb	196.546 5±28.948 6Ca	157.324 6±6.372 0Bb
清香味 Pw	168.453 5±9.438 0Aa	150.923 3±30.432 0Cb	131.971 7±9.461 2Dc	156.547 8±27.457 9Bb
八角 Iv	161.252 6±11.458 7Aa	151.766 5±14.876 9Ca	131.789 5±31.439 3Db	152.543 6±13.787 6Bb
对照 CK	122.014 2±6.932 6Ba	110.515 8±7.902 4Da	84.556 4±5.378 4Ec	116.545 4±8.642 9Cc

注: 不同大写字母表示同一干旱程度不同寄主植物差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一寄主植物不同干旱程度差异显著 ($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences among different host plants at the same drought stress level ($P<0.05$), and different lowercase letters indicate significant differences in the same host plant treatment among different drought stress levels ($P<0.05$).

由表 8 可知, 干旱胁迫及复水条件下不同寄主植物处理间蒜头果叶片中叶绿素 (Chl) 含量存在差异, 木豆处理的 Chl 含量最大, 并在复水后达最大值, 是 CK 同时期的 4.74 倍, 其次是枫香处理, CK 的 Chl 含量最低。随着干旱胁迫时间的延长, 除 CK 的 Chl 含量先升高后降低外, 其他处理均表现为随着干旱胁迫时间的延长而升高。复水后除 CK 的 Chl 含量低于干旱胁迫 0 d, 其他处理均高于干旱胁迫 0 d。

表 8 干旱胁迫与复水条件下不同寄主处理对蒜头果叶绿素含量的影响

Table 8 Effects of different host plants on the chlorophyll content in leaves of *M. oleifera* under drought and rewating conditions

寄主植物 Host plant	叶绿素含量 Chlorophyll content/(mg·g ⁻¹)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	0.900 9±0.342 8Bc	0.979 4±0.204 4Bb	1.098 5±0.117 8Ba	0.919 3±0.274 9Cb
木豆 Cc	1.597 7±0.286 5Ac	1.705 5±0.472 5Ab	1.818 6±0.168 9Aa	1.905 6±0.472 3Aa
枫香 Lf	1.167 2±0.538 0Bc	1.264 3±0.256 9Bb	1.363 4±0.405 1Bb	1.455 1±0.355 8Ba
香樟 Co	0.830 7±0.196 5Bc	0.962 3±0.185 0Bb	1.030 2±0.286 0Ba	1.100 7±0.656 7BCa
旱冬瓜 An	0.907 8±0.163 2Bc	0.964 8±0.204 5Bc	1.204 0±0.306 2Bb	1.349 4±0.216 3Ba
麻栎 Qa	0.819 1±0.420 5Bc	0.950 3±0.311 0Bc	1.208 5±0.145 8Bb	1.330 6±0.307 0Ba
猪屎豆 Cp	0.879 5±0.275 3Bc	0.935 4±0.174 5Bb	0.998 7±0.205 6Bb	1.107 3±0.185 6BCa
清香味 Pw	0.528 0±0.159 2Cc	0.688 6±0.201 6Cb	0.747 7±0.312 2Ca	0.741 2±0.307 2Ca
八角 Iv	0.750 2±0.208 8Bb	0.811 3±0.236 8Ca	0.856 4±0.265 4BCa	0.761 4±0.218 1Cb
对照 CK	0.485 5±0.105 4Ca	0.579 6±0.089 4Ca	0.321 4±0.110 2Cc	0.402 4±0.170 9Db

注: 不同大写字母表示同一干旱程度不同寄主植物差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一寄主植物不同干旱程度差异显著 ($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences among different host plants at the same drought stress level ($P<0.05$), and different lowercase letters indicate significant differences in the same host plant treatment among different drought stress levels ($P<0.05$).

2.4.4 干旱胁迫与复水对不同寄主处理蒜头果细胞膜质过氧化物的影响 由表 9 可知, 干旱胁迫及复水条件下不同寄主植物处理间蒜头果叶片丙二醛 (MDA) 含量存在差异, CK 的最大, 并在干旱胁迫 14 d

时其含量达最大值, 是同时期最低(枫香)的 3.73 倍, 枫香处理的最低。随着干旱胁迫时间的延长, 木豆、麻栎、猪屎豆处理和 CK 的 MDA 含量先降低后升高, 其他处理均表现为随着干旱胁迫时间的延长而升高。复水后不同处理的 MDA 含量均高于干旱胁迫 0 d。

表 9 干旱胁迫与复水条件下不同寄主对蒜头果丙二醛含量的影响

Table 9 Effects of different host plants on the MDA content in leaves of *M. oleifera* under drought and rewating conditions

寄主植物 Host plant	丙二醛含量 MDA content/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)			
	干旱胁迫 0 d Drought stress 0 d	干旱胁迫 7 d Drought stress 7 d	干旱胁迫 14 d Drought stress 14 d	复水 Rewatering
假蒿 Ec	16.103 4±2.074 3Cb	17.007 9±1.456 2Cb	22.593 3±2.565 8Ca	20.413 3±1.438 0BCa
木豆 Cc	17.918 6±1.582 7Cb	15.321 7±2.778 1Cb	23.401 6±1.437 8Ca	20.098 5±2.348 6BCa
枫香 Lf	10.784 4±2.054 2Db	11.767 3±0.954 6Db	16.539 8±2.865 0CDa	12.648 8±1.658 2Cb
香樟 Co	16.045 1±3.568 1Cb	18.854 1±1.548 2Cb	21.232 4±1.546 9Ca	16.829 9±1.482 9Cb
早冬瓜 An	16.910 9±1.943 0Cb	19.275 8±3.062 0Cb	22.289 7±1.843 5Ca	17.225 3±2.547 1Cb
麻栎 Qa	21.508 7±2.632 9Bb	19.862 1±2.097 5Cb	26.196 3±2.457 6Ca	22.283 6±4.295 0Cb
猪屎豆 Cp	24.546 2±1.465 3Ba	22.545 8±1.657 8Bb	27.465 2±4.264 3Ca	24.843 1±1.547 8BCa
清香木 Pw	19.781 4±0.843 6Bc	31.106 6±2.753 9Bab	37.970 2±1.567 6Ba	26.329 1±2.653 9Bb
八角 Iv	25.825 2±3.269 7Bb	30.103 7±3.964 0Bb	39.476 3±3.587 0Ba	28.654 2±3.487 0Bb
对照 CK	48.117 2±5.365 0Ab	45.092 9±2.846 6Ac	61.654 7±2.762 9Aa	52.654 5±5.342 8Ab

注: 不同大写字母表示同一干旱程度不同寄主植物差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一寄主植物不同干旱程度差异显著 ($P<0.05$)。Note: different uppercase letters indicate significant differences among different host plants at the same drought stress level ($P<0.05$), and different lowercase letters indicate significant differences in the same host plant treatment among different drought stress levels ($P<0.05$).

2.5 不同寄主对蒜头果作用效果的综合评价

2.5.1 熵权法确定各指标的权重 由表 10 可知, 各指标的权重由高到低依次为: 存活率>N 含量>Pro 含量>P 含量>SOD 活性>POD 活性>总生物量>株高>地径>可溶性蛋白含量>可溶性糖含量>K 含量>叶绿素含量。存活率、N 含量和 Pro 含量的权重值较大, 在寄主植物对促进蒜头果生长的综合评价中影响较大, 是实际生产中直接影响蒜头果生长与存活的重要指标, 叶绿素含量权重值最小, 在寄主植物对促进蒜头果生长的综合评价中影响较小, 实际生产中对蒜头果生长与存活的影响也相对较小。

表 10 熵值法计算结果评价指标权重

Table 10 Evaluation index weight of entropy value method

指标 Index	信息熵值 Information entropy	权重系数 Weight coefficient	权重排序 Weight ranking
株高 Plant height	0.913 4	0.083 8	8
地径 Ground diameter	0.915 6	0.081 4	9
存活率 Survival rate	0.853 2	0.096 8	1
总生物量 Total biomass	0.908 7	0.085 7	7
N 含量 N content	0.876 5	0.094 9	2
P 含量 P content	0.901 7	0.092 1	4
K 含量 K content	0.923 6	0.076 5	12
可溶性蛋白含量 SP content	0.917 8	0.080 5	10
可溶性糖含量 SS content	0.921 6	0.077 3	11
脯氨酸含量 Pro content	0.889 5	0.093 6	3
过氧化物酶活性 SOD activity	0.903 8	0.089 8	5
超氧化物歧化酶活性 POD activity	0.905 7	0.087 6	6
叶绿素含量 Chlorophyll content	0.928 1	0.078 4	13

2.5.2 熵权 TOPSIS 法分析评价 利用熵值法得到各指标权重值, 采用 TOPSIS 法对不同寄主植物处理的蒜头果进行综合评价(表 11), 相对接近度(K_i)越大, 其综合促进效果越好, 根据 K_i 值大小对不同寄主植物进行排序。结果表明, 枫香的 K_i 值最大, 为 0.663 0, 其次为木豆和假蒿, CK 的 K_i 值最小, 仅为 0.159 9。综合作用效果排名依次为: 枫香>木豆>假蒿>早冬瓜>香樟>麻栎>猪屎豆>八角>清香木>CK, 因此, 综合评价排名前 3 的是枫香、木豆和假蒿, 即枫香、木豆和假蒿是最适宜蒜头果生长的寄主, 可作为蒜头果人工种植中搭配应用的优良寄主, 早冬瓜、香樟、麻栎和猪屎豆可作为蒜头果的适宜寄主搭配使用, 而八角和清香木对蒜头果的综合作用效果相对较差, 可作为蒜头果的一般寄主进行使用。

表 11 不同寄主对蒜头果作用效果综合评价

Table 11 Comprehensive evaluation on promoting effects of different host plants on *M. oleifera*

寄主植物 Host plant	与正理想解的距离 Weighted distance to the positive ideal solution	与负理想解的距离 Weighted distance to the negative ideal solution	相对接近度 Relative closeness K_i	排序结果 Result ranking
假蒿 Ec	0.826 0	1.000 4	0.547 7	3
木豆 Ce	0.601 7	1.116 6	0.649 8	2
枫香 Lf	0.570 0	1.121 5	0.663 0	1
香樟 Co	0.922 4	0.726 2	0.440 5	5
旱冬瓜 An	0.783 0	0.906 7	0.536 6	4
麻栎 Qa	0.958 7	0.631 8	0.397 2	6
猪屎豆 Cp	1.029 8	0.551 1	0.348 6	7
清香木 Pw	1.157 8	0.388 1	0.251 0	9
八角 Iv	1.135 0	0.384 8	0.253 2	8
对照 CK	1.408 9	0.268 2	0.159 9	10

3 讨论

3.1 不同寄主对蒜头果存活与生长的影响

作为一种半寄生植物,选择合适的寄主会直接影响蒜头果各培育阶段的存活与树体生长发育,这对于蒜头果人工栽培至关重要。与其他根部半寄生植物一样,蒜头果具有叶片,能够进行光合作用合成少量碳水化合物,但主要还是依赖于寄主为其提供矿质营养和水分。不同寄主植物对寄生植物的养分和水分供应存在一定的差异,因此,选择适宜的寄主会直接影响寄生植物各阶段的生长发育。例如,对半寄生植物铁青树(*Olax phyllanthi*)来说,小叶海滨刺槐(*Acacia littorea*)是其所有参试植物中最适宜的寄主^[17];对于檀香(*Santalum album*),台湾相思(*Acacia confusa*)、苏木(*Caesalpinia sappan*)和龙牙花(*Erythrina corallodendron*)是其优良寄主植物^[8];对于百蕊草(*Thesium chinense*),鼠曲草(*Gnaphlium affine*)、白茅(*Imperata cylindrica*)和夏枯草(*Prunella vulgaris*)是其优良寄主^[18]。本研究发现,所选用的9种寄主植物都可以通过增加蒜头果株高、地径以及根、茎、叶和总生物量的积累进而促进其幼苗的存活与生长,但不同寄主植物对蒜头果的促进效果存在显著差异,以假蒿、木豆、枫香和旱冬瓜作为寄主植物共培养,对蒜头果的促进作用较显著,这与RADOMILJAC *et al*^[19]的研究结果相似,优良寄主可以有效促进寄生植物的生长发育,表明蒜头果对寄主的选择存在明显的偏好性,假蒿、木豆、枫香和旱冬瓜4种寄主植物可能较受蒜头果偏好,易与蒜头果形成寄生关系,对蒜头果的存活、生长和生物量积累较为有利。

3.2 不同寄主对蒜头果营养元素含量的影响

根部半寄生植物生长发育所需的营养物质,主要通过根系形成的吸器与寄主根系木质部相连进而从寄主体内摄取。前人的研究表明,寄生植物与寄主形成寄生关系后,寄主植物可有效促进寄生植物对N、P、K等营养元素的吸收利用^[20-22]。本研究发现,与蒜头果共培养24个月后,共培养的寄主都能不同程度地促进蒜头果根、茎、叶对N、P和K元素的吸收与积累,但不同寄主植物对蒜头果营养元素吸收的促进效果差异显著,其中,枫香、旱冬瓜、木豆和假蒿对蒜头果营养物质的积累效果最显著,说明与蒜头果形成寄生关系后,N、P和K元素通过吸器从寄主植物向蒜头果体内流动,并逐渐积累。而不同寄主植物对不同营养物质的吸收与积累也存在差异,其中,枫香可有效促进P元素吸收,固氮植物旱冬瓜、木豆和假蒿可有效促进N和K元素的吸收,这与前人在半寄生植物^[23-24]中的研究结果类似,根部半寄生植物偏好与含氮量高的豆科、禾本科植物形成稳定的寄生关系,并能从含氮量高的植物中获得充足的氮源及其他营养物质。本研究结果为今后在蒜头果种植时寄主植物的选择和配置提供一些启示,即寄主植物尽量选择一些固氮类植物为其提供更多的N和K元素,且还需配置枫香和香樟等寄主为其提供丰富的P元素,有利于提高种植效益。

3.3 不同寄主在干旱胁迫与复水条件下对蒜头果生理特性的影响

植物在受到逆境胁迫时,体内会发生大量的生理生化变化以适应胁迫环境。SOD和POD是植物细胞抵御活性氧等伤害的重要保护酶,是植物抵御逆境的第一道防线,当植物受到胁迫时,机体会通过改

变保护酶活性来清除活性氧自由基对细胞膜的伤害, 从而提高植物的抗逆性, 一般认为, 其值越大抗逆性越强^[25]。本研究发现, 在干旱胁迫和复水条件下, 不同寄主植物对蒜头果抗氧化酶活性的影响差异显著。以木豆和枫香为寄主的蒜头果叶片中 SOD 活性最大, 且随着干旱胁迫的加剧, 其活性逐渐上升, 说明木豆和枫香能显著促进蒜头果叶片中 SOD 的积累; 以枫香和早冬瓜为寄主的蒜头果叶片中 POD 活性最大, 且随着干旱胁迫的加剧而增大, 表明枫香和早冬瓜能显著促进蒜头果叶片中 POD 的积累。可见, 干旱胁迫下, 以木豆、枫香、早冬瓜和假蒿为寄主植物, 可有效促进蒜头果通过积累 SOD 和 POD 保护酶活性来清除活性氧自由基, 维持细胞膜的稳定性, 从而更好地保护了细胞膜在干旱胁迫下受到的伤害, 以适应干旱环境, 提高蒜头果的抗旱能力, 这与李双喜^[26]在檀香中的研究结果一致, 与寄主形成寄生关系后, 有效提高了寄生植物体内的保护酶活性, 进而增强其抗旱性能。

游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白是植物细胞中重要的渗透调节物质, 在逆境条件下, 植物通过积累渗透调节物质维持细胞膨压, 平衡细胞内外水势差值, 避免水分过度流失, 进而提高植物抗旱性^[27-28]。本研究结果表明, 以枫香、木豆和假蒿为寄主的蒜头果叶片中脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白含量最高, 且随着干旱胁迫时间的延长, 其含量均逐渐上升, 说明干旱胁迫环境下, 寄主枫香、木豆和假蒿可促进蒜头果积累大量的脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白进行渗透调节来降低水势, 维持细胞膨压, 从而增强蒜头果的抗旱能力。已有的研究认为, 抗旱性强的植物在干旱胁迫下具有较高的叶绿素含量^[29]。本试验中, 以木豆和枫香为寄主的蒜头果叶片中的叶绿素含量最高, 随着干旱胁迫时间的延长, 其含量逐渐升高, 说明干旱胁迫下, 寄主植物木豆和枫香通过促进蒜头果叶片中叶绿素的积累, 增强蒜头果应对水分胁迫的适应能力, 从而提高其抗旱性。

植物受到逆境胁迫时, 细胞膜会受到不同程度的损伤和破坏, MDA 含量可反映出细胞膜遭受逆境伤害的程度^[30]。本研究发现, 在干旱胁迫下, CK 组蒜头果叶片中 MDA 含量最高, 受干旱胁迫的伤害最严重, 而以枫香、木豆和假蒿为寄主的蒜头果叶片中其值最小, 显著低于 CK, 受干旱胁迫的伤害较轻, 表明蒜头果与寄主枫香、木豆和假蒿形成寄生关系后, 可有效减轻干旱胁迫对蒜头果细胞膜造成的损伤, 提高其抗旱性能。这与李双喜^[26]在檀香中的研究结果一致, 与寄主形成寄生关系后, 可有效减少寄生植物叶片细胞膜的过氧化损伤, 进而增强抗旱能力。

综合以上结果分析, 以枫香、木豆、假蒿和早冬瓜为寄主能够显著促进蒜头果生长量和生物量的积累, 同时以这几种植物为寄主, 蒜头果体内营养元素含量、叶片中 SOD、POD 等抗氧化酶活性以及脯氨酸、可溶性糖等渗透调节物质含量也明显高于其他处理。由此推断, 寄主植物通过促进蒜头果生长量和生物量的积累, 扩大根系的吸收范围, 增强养分吸收利用效率, 从而进一步促进了蒜头果对 N、P、K 等营养元素的吸收。由于营养元素含量得到显著提高, 从而提高了叶片中 SOD 和 POD 抗氧化酶活性以及 Pro 等渗透调节物质含量, 降低了叶片中 MDA 含量, 进而有效减轻了干旱胁迫对蒜头果细胞膜造成的损伤, 提高其抗旱能力。

本研究利用熵值法得到各指标权重值, 采用 TOPSIS 法对不同寄主植物处理的蒜头果进行综合评价, 该方法可详细比较各指标之间的差异, 降低分析过程中多项指标对评价目标的干扰, 提高评价结果的科学性和准确性, 常用于多指标综合评价研究^[16]。从综合评价结果可知, 不同寄主植物对蒜头果存活率、生长指标、生物量分配及营养元素吸收均产生显著影响。不同寄主植物对蒜头果的促进效果存在差异, 这种差异主要源于蒜头果对寄主养分的特异性吸收机制, 说明蒜头果有其最适宜寄主。因此, 选择适宜寄主对确保蒜头果的良好生长发育尤为重要。本研究发现, 枫香作为寄主对蒜头果的促进作用最大, 表现最好, 是 9 种植物中最适宜的寄主, 木豆、假蒿、早冬瓜、香樟、麻栎和猪屎豆次之, 而八角和清香木的促进作用最小。因此, 在苗期和幼树期, 可将枫香、木豆和假蒿作为蒜头果的优良寄主, 早冬瓜、香樟、麻栎和猪屎豆作为蒜头果的适宜寄主进行搭配应用。

4 结论

寄主植物对蒜头果幼苗的存活、生长、生物量和营养元素吸收及在干旱胁迫条件下的抗旱性影响显著, 在蒜头果栽培中应搭配种植适宜的寄主植物, 以提高种植成效。为实现蒜头果人工高效培育, 建议在蒜头果苗期和幼树期可将枫香、木豆和假蒿作为蒜头果的优良寄主植物, 早冬瓜、香樟、麻栎和猪屎豆作为其适宜寄主植物进行推广应用。另外, 在野外种植时, 可把几种寄主植物搭配使用其效果会更

佳,如将草本植物假蒿、灌木木豆和乔木枫香3种植物作为蒜头果的优良寄主进行搭配种植更有利于蒜头果的生长发育。本研究仅涉及寄主植物对蒜头果幼苗期的影响,未来应进一步研究寄主植物对蒜头果野外生长中、后期的影响,筛选成年植株的优良寄主植物,以完善蒜头果人工高效栽培技术体系。

参考文献

- [1] 吕仕洪, 韦春强, 黄甫昭, 等. 珍稀树种蒜头果种实性状及其在石漠化山区的适应性[J]. 生态学杂志, 2016, 35(1): 57-62.
- [2] 黄科朝, 吕仕洪, 黄甫昭, 等. 石漠化区先锋植物及施肥对蒜头果直播造林的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2025, 45(6): 22-30.
- [3] 张仲富, 王四海, 杨卫, 等. 蒜头果根际细菌群落结构与功能特征对其健康状态的响应[J]. 植物生态学报, 2023, 47(7): 1 020-1 031.
- [4] 熊旭东, 于安民, 孙蕊, 等. 高值木本油料植物蒜头果的资源发掘与利用[J]. 中国野生植物资源, 2023, 42(1): 86-92.
- [5] 李洪果, 王瑞珍, 段润梅, 等. 野生蒜头果种仁主要脂肪酸成分变异及评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2025, 45(5): 1-8.
- [6] 郭方斌, 王四海, 王娟, 等. 珍稀植物蒜头果野生植株结实量及果实特征研究[J]. 广西植物, 2018, 38(1): 57-64.
- [7] 李振双, 杨富成, 王胜坤, 等. 半寄生植物寄生机理及其应用研究[J]. 温带林业研究, 2018, 1(1): 30-36.
- [8] 陈荣, 张新华, 马国华. 檀香与不同豆科植物寄生关系的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2014, 22(1): 53-60.
- [9] 李勇鹏, 景跃波, 卯吉华, 等. 蒜头果半寄生特性研究[J]. 西部林业科学, 2019, 48(4): 1-6, 12.
- [10] 余俊瑞, 杨富成, 覃方铨, 等. 干旱胁迫影响下的植物个体响应与种间关系变化: 以寄生植物为例[J]. 世界林业研究, 2025, 38(2): 9-16.
- [11] 李世新, 郑玲玲, 陈思羽, 等. 寄主植物丹参对檀香幼苗生长的影响[J]. 中药材, 2024, 47(2): 290-294.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 蒋虹, 张健, 王景明, 等. 《植物生理学实验指导》(第5版)中的几个不足之处[J]. 植物生理学报, 2020, 56(1): 11-15.
- [15] NAG S, SAHA K, CHOUDHURI M A. A rapid and sensitive assay method for measuring amine oxidase based on hydrogen peroxide-titanium complex formation[J]. Plant Science, 2000, 157(2): 157-163.
- [16] 程文强, 徐阳, 吴开云, 等. 3种综合评价方法在柿果品质评价中的应用[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(4): 61-72.
- [17] 黄新亚, 管开云, 李爱荣. 寄生植物的生物学特性及生态学效应[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8): 1 838-1 844.
- [18] 罗夫来, 郭巧生, 王长林, 等. 寄主对半寄生植物百蕊草影响的综合评价研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(9): 1 174-1 179.
- [19] RADOMILJAC A M, MCCOMB J A, PATE J S. Gas exchange and water relations of the root hemi-parasite *Santalum album* L. in association with legume and non-legume hosts[J]. Annals of Botany, 1999, 83(3): 215-224.
- [20] 汤丹丹, 吴毅, 刘文耀, 等. 云南哀牢山两种常见半寄生植物的生态化学计量特征及其与寄主的关系[J]. 植物生态学报, 2019, 43(3): 245-257.
- [21] RADOMILJAC A M, MCCOMB J A, PATE J S. Heterotrophic carbon gain and mineral nutrition of the root hemi-parasite *Santalum album* L. in pot culture with different hosts[J]. Australian Forestry, 1999, 62(2): 128-138.
- [22] SUETSUGU K, KAWAKITA A, KATO M. Host range and selectivity of the hemiparasitic plant *Thesium chinense* (Santalaceae)[J]. Annals of Botany, 2008, 102(1): 49-55.
- [23] RADOMILJAC A M, MCCOMB J A, PATE J S, et al. Xylem transfer of organic solutes in *Santalum album* L. (Indian sandalwood) in association with legume and non-legume hosts[J]. Annals of Botany, 1998, 82(5): 675-682.
- [24] 李勇鹏, 景跃波, 卯吉华, 等. 不同寄主植物配置对蒜头果生长影响的研究[J]. 中国野生植物资源, 2024, 43(9): 57-63.
- [25] 梁青兰, 韩友吉, 乔艳辉, 等. 干旱胁迫对黑杨派无性系生长及生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(10): 81-89.
- [26] 李双喜. 印度檀香与寄主植物间水分和养分利用关系[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [27] 戴文静, 丁彦芬, 赵滢, 等. 干旱胁迫对3种紫堇属植物生理及光合特性的影响[J/OL]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2025, 53(12): 1-11[2025-09-16]. <https://doi.org/10.13207/j.cnki.jnwafu.2025.12.018>.
- [28] 赵英, 赵凯丽, 朱宇林, 等. 干旱胁迫与复水对喀斯特地区红背山麻杆生长及生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(8): 59-68.
- [29] 王诗琪, 杨柳青, 廖飞勇, 等. 干旱胁迫下基质和保水剂对3种景天属植物生长和生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2025, 45(6): 55-66.
- [30] 齐安国, 刘传冠, 吕东阳, 等. 4个种源无患子幼苗对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(10): 46-54.