



方啸宇,徐文清,李少楠,等.‘阳光玫瑰’葡萄9种缺素症的观察与分析[J].南京农业大学学报,2024,47(3):435-442.

FANG Xiaoyu, XU Wenqing, LI Shaonan, et al. Observation and analysis of 9 kinds of nutrient deficiencies in ‘Shine Muscat’ grape [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2024, 47(3): 435-442.

‘阳光玫瑰’葡萄9种缺素症的观察与分析

方啸宇¹,徐文清²,李少楠¹,任艳华¹,上官凌飞¹,陆爱华²,房经贵^{1*}

(1.南京农业大学园艺学院,江苏南京210095;2.江苏农业农村厅农技推广站,江苏南京210036)

摘要:[目的]本文旨在通过观察‘阳光玫瑰’葡萄9种缺素表观差异并研究株高等生长指标以及叶绿素含量等生理指标,为及时进行营养诊断及指导田间施肥提供参考。[方法]以1年生‘阳光玫瑰’葡萄扦插苗为材料,采用大棚内珍珠岩盆栽方式,设置改良霍格兰完全营养液(CK)和缺素(-N,-P,-K,-Ca,-Mg,-Fe,-B,-Zn,-Cu)营养液培养处理,分析各处理条件下植株的表观差异与生长生理指标。[结果]缺P、Mg和Zn时,‘阳光玫瑰’发生症状更早;缺B、Cu和Mg时,株高生长明显缓慢,并且症状发生剧烈,死亡率高。与对照相比,‘阳光玫瑰’缺Ca、缺B时叶片数量显著下降。缺素胁迫显著降低‘阳光玫瑰’叶片叶绿素含量,但对叶片含水量影响较小。葡萄对缺素胁迫的抗性与MDA含量和SOD活性总体呈正相关,即含量与活性越大,抗性越强。[结论]‘阳光玫瑰’对B和Mg元素的缺乏较敏感、耐性弱,对Zn元素的缺乏耐性较强。

关键词:‘阳光玫瑰’葡萄;营养液培养;缺素;表观;生长生理指标

中图分类号:S663.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)03-0435-08

Observation and analysis of 9 kinds of nutrient deficiencies in ‘Shine Muscat’ grape

FANG Xiaoyu¹, XU Wenqing², LI Shaonan¹, REN Yanhua¹, SHANGGUAN Lingfei¹, LU Aihua², FANG Jinggui^{1*}

(1.College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.Agricultural Technology Promotion Station of Jiangsu Agricultural and Rural Department, Nanjing 210036, China)

Abstract:[Objectives]The study aimed to observe the apparent differences of visual symptoms of 9 kinds of nutrient deficiencies in ‘Shine Muscat’ and study the growth indexes such as plant height and the physiological indexes such as chlorophyll content, so as to provide reference for early nutrition diagnosis and fertilization guidance in the field. [Methods]The cutting seedlings of 1-year-old ‘Shine Muscat’ as materials were cultured in perlite pot in greenhouse with modified Hoagland nutrient solution (CK) and nutrient deficiency solution (-N, -P, -K, -Ca, -Mg, -Fe, -B, -Zn, -Cu). The apparent visual symptoms of plants growth and physiological index under different treatment conditions were analyzed. [Results]When P, Mg and Zn were absent, ‘Shine Muscat’ developed symptoms earlier. In the absence of B, Cu and Mg, the growth of plant height was obviously slow, the symptoms were severe and the mortality was high. Compared with stress control, the number of leaves of ‘Shine Muscat’ significantly decreased when Ca and B were deficient. Deficiency stress significantly reduced the chlorophyll content of ‘Shine Muscat’ leaves, but had little effect on leaf water content. The resistance of grapes to nutrient deficiency was positively correlated with MDA content and SOD activity, indicating that the higher the content and activity, the stronger the resistance. [Conclusions]‘Shine Muscat’ grape was sensitive to the deficiency of B and Mg elements but had a stronger tolerance to Zn element.

Keywords:‘Shine Muscat’ grape; nutrient solution culture; nutrient deficiencies; visual symptoms; growth and physiological indexes

‘阳光玫瑰’葡萄为欧美杂种,由日本农业食品产业技术综合研究机构杂交育成,2006年3月9日进行品种登记^[1],而后引入中国^[2]。在我国,‘阳光玫瑰’葡萄发展迅速,成为名副其实的明星品种,其发展之快是我国葡萄40年发展中从未出现过的现象^[3]。‘阳光玫瑰’葡萄因粒大、高糖、浓香、耐贮运、货架期长的特点引起众多专家学者和果农的关注,是葡萄园更新换代的首选品种^[4]。由于‘阳光玫瑰’葡萄栽培相对容易,且市场需求强烈^[5],栽培面积仍在大幅扩大。土壤肥力的丰缺、施肥水平的高低以及养分平衡状况等对作物的生长发育有很大的影响。当作物对某种元素吸收过多或过少时,均易发生生理障碍,消除这些障碍对培育健壮植株、提高作物产量和品质非常重要^[6]。因此,对作物表现出的营养元素缺乏进行

收稿日期:2023-06-30

基金项目:国家自然科学基金项目(32272647);江苏现代农业产业技术体系建设项目(JATS[2022]457);宁夏回族自治区重点研发项目(2023BCF01001)

*通信作者:房经贵,教授,研究方向为葡萄遗传育种,E-mail:fanggg@njau.edu.cn。

正确的诊断显得尤为重要。有关植物缺素症已有许多研究,但不同植物的缺素症状差别较大^[7]。葡萄生长发育过程中常常因施肥不合理造成某些营养元素缺乏,表现为植株衰弱、生长不良,叶片褪绿、畸形甚至干枯脱落,落花落果,严重影响葡萄的产量和品质^[8]。蔡之博等^[9]发现随着北方地区日光温室升温的提早,葡萄出现叶片薄、叶片黄化、早期落叶等生理缺素现象。常永义等^[10]研究发现,‘红地球’葡萄缺 N、Mg、Fe、Zn、Mn 等元素都能使叶片失绿,但失绿的部位、色泽、形状、新老叶片出现顺序等均不同,并且沙培盆栽葡萄苗缺 Mg 症状先从新生叶片的叶脉间失绿黄化,这与以往研究报道的许多作物缺 Mg 失绿症状从老叶率先发生的结论不同。

目前,很多学者对葡萄缺素症状进行介绍并提出了相应的防治措施^[11-13],但仍存在着症状描述不精准、品种划分不明确等问题。没有针对不同葡萄品种的详细介绍,也没有图片辅助说明,使种植者难以精准判别葡萄缺素症,更难以及早鉴定,这往往导致种植者在葡萄缺素后再补施,增加了种植成本,而我国关于‘阳光玫瑰’葡萄某种营养元素缺乏时的症状表现及对生长生理影响方面的研究尚未见报道。因此,本研究选取‘阳光玫瑰’葡萄进行 N、P、K、Ca、Mg、Fe、B、Zn、Cu 元素缺乏后表型观察,辅以生长生理指标的测定,旨在为‘阳光玫瑰’葡萄栽培的营养诊断和施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2022 年 4 月至 7 月在南京农业大学白马试验基地塑料大棚内进行。供试材料为根系发育良好的 1 年生‘阳光玫瑰’葡萄自根苗。盆栽容器为铺上双层塑料薄膜的聚乙烯盆(500 mm×250 mm×180 mm),培养基质为珍珠岩。

1.2 试验设计

葡萄苗最初采用育苗基质培养(泥炭、蛭石、珍珠岩、原土体积比为 3:1:1:5),浇自来水,每株留 2~3 个新梢。待植株长出 6~8 片叶时移苗。用去离子水洗净植株根部后种植在装有珍珠岩的育苗盆中。移苗后先用去离子水培养 5 d,缓苗 5 d,再分别浇灌改良霍格兰营养液和缺素营养液,3 d 浇一次,每次每盆浇 2 L,中间浇一次去离子水,保证植株正常生理活动所需水分的供应。选择长势基本一致的葡萄苗进行处理,每个处理 3 盆,每盆 10 株,每个处理 30 株,共 9 个试验组、1 个对照组,共 300 株;另增设 300 株进行症状观察。对照营养液为改良霍格兰培养基全价营养液,缺素营养液在改良霍格兰培养液中除去相应的元素,如除去某元素时影响到其他元素平衡,则用相应的其他盐类中的相同元素代替。完全营养液与缺素营养液配方设计参考 Tiffin^[14]的方法并有所改动,具体见表 1。

表 1 完全营养液与缺素营养液配方设计

试剂名称 Reagents name	CK	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-Fe	-B	-Zn	-Cu
KNO ₃	6		6		6	6	6	6	6	6
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	4		4	4		4	4	4	4	4
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1	1	1	1	1		1	1	1	1
NH ₄ H ₂ PO ₄	2			2	2	2	2	2	2	2
Ca(H ₂ PO ₄) ₂		4								
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O		2								
KH ₂ PO ₄		6								
NaNO ₃			2	6	8					
Na ₂ SO ₄						1				
H ₃ BO ₃	2	2	2	2	2	2	2		2	2
H ₂ MoO ₄	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MnSO ₄ ·H ₂ O	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	2	2	2	2	2	2	2	2		2
CuSO ₄ ·5H ₂ O	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
FeSO ₄ ·7H ₂ O	1	1	1	1	1	1		1	1	1
EDTA-2Na	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

注:用 1 mol·L⁻¹ NaOH 或 HCl 调节溶液 pH 值至 6.5±0.5。

Note: The pH value of the solution reaches 6.5±0.5 with 1 mol·L⁻¹ NaOH or HCl.

1.3 测定指标及方法

表型观察与记录:缺素处理前观察并记录叶片与植株形态。处理后每 2~3 d 观察叶片和植株出现的

各种症状,记录症状出现时间,并以黑色幕布为背景对症状进行拍摄。生长指标的测定:株高用直尺测量,叶片数量(植株上所有完全展开叶)用计数器记录。叶片鲜重和干重使用电子天平称量,重复3次,精确到0.01 g。叶片含水量=(鲜重-干重)/鲜重×100%。生理指标的测定:取从下端向上端数第4和第5片叶。叶绿素含量测定:称取0.20 g叶片并剪碎放入有塞的玻璃试管中,加入80%(体积分数)丙酮和95%(体积分数)无水乙醇各10 mL,室温下放暗处浸提,至叶片完全变白后取浸提液在645 nm和663 nm波长下测定吸光值。采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量^[15]。采用氮蓝四唑(NBT)法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性^[16]。

1.4 数据分析

分别使用Excel 2010和SPSS 26.0软件进行数据处理和统计分析;采用Duncan's多重比较法进行多重比较,分析显著性水平($P < 0.05$);采用Origin 2018软件绘图。

2 结果与分析

2.1 ‘阳光玫瑰’葡萄缺素表型观察

由图1可见,缺Zn、缺P和缺Mg时,‘阳光玫瑰’出现症状较早;缺B、Cu和Mg时,症状变化较快且死亡率高;缺N、P、K老叶症状表现相似,均出现褪绿黄化现象。

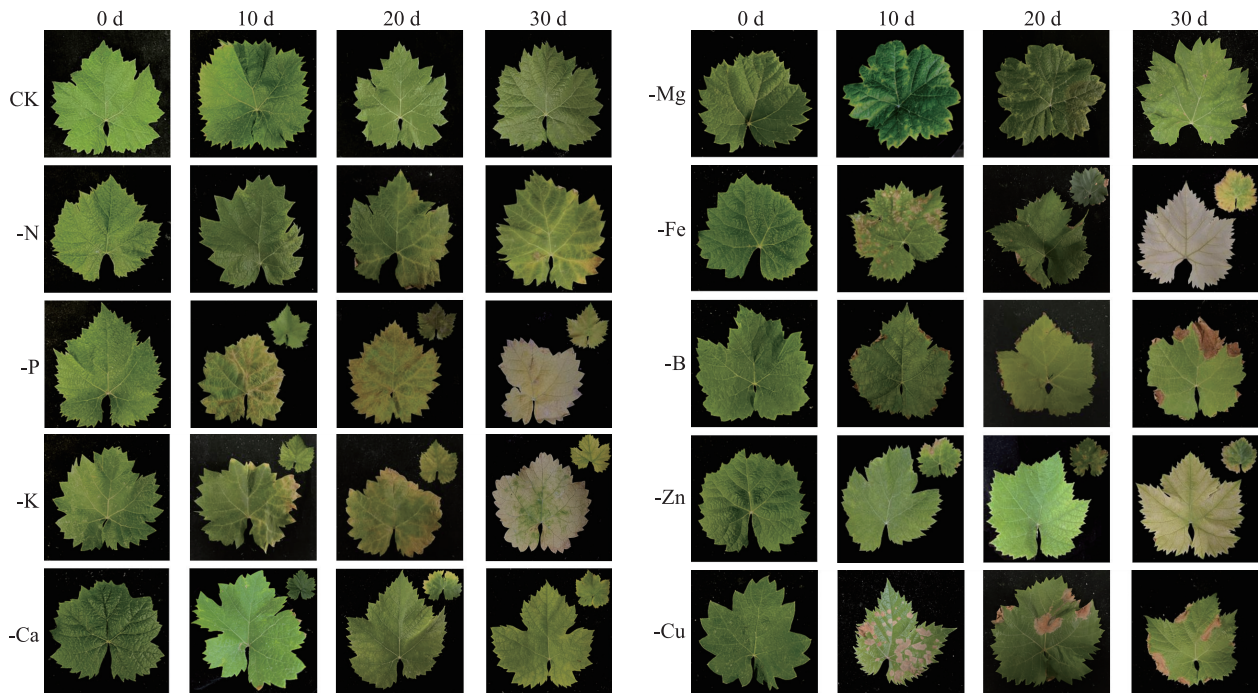


图1 ‘阳光玫瑰’葡萄缺素叶片症状观察

Fig. 1 Symptoms observation of nutrient deficiency treatments of ‘Shine Muscat’ grape leaves

有2个叶片的图片中央为最先出现症状的老叶(新叶),右上方为后出现症状的新叶(老叶)。

It is the old leaf (new leaf) that first develops symptoms in the center of the image with two leaves, and it is the new leaf (old leaf) that develops symptoms later in the upper right.

2.1.1 缺氮 缺氮处理10 d时老叶先出现症状,叶缘附近部分叶肉失绿。处理20 d叶脉明显变黄,叶脉叶肉界限十分清晰。随着处理时间的延长,叶肉细胞开始褪绿黄化,直至叶面完全黄化。严重时,叶脉木栓化程度高,叶缘附近的叶肉产生褐色斑块。老叶与嫩叶症状表现一致。处理30 d时植株基部老叶干枯脱落,并逐步向上部叶片扩展,最终导致植株死亡。

2.1.2 缺磷 缺磷处理8 d时老叶先出现症状,表现为叶肉失绿,叶片小,叶缘及叶脉木栓化,呈黄褐色。嫩叶随后出现症状,裂片顶端叶齿和叶缘锯齿均呈紫红色;处理20 d时新生叶片小而薄,叶肉红绿交杂,部分叶片叶脉间叶肉呈暗紫红色;而老叶全面黄化干枯。植株分生能力强,叶片繁多,新梢上生长出许多副梢。

2.1.3 缺钾 缺钾处理10 d时植株出现症状,茎秆发黄并伴有结节状肿胀,枝蔓脆弱,植株矮小。缺K起

初在植株基部老叶上发生,而李红梅等^[17]最先在葡萄新梢中部叶片上观察到此类症状。老叶从叶缘向内侧均匀失绿,少数老叶边缘呈红褐色烧焦状,叶面凹凸不平,随后幼叶显现症状,呈网格状黄化,即叶肉失绿黄化而叶脉仍保持绿色。处理后期植株顶部幼叶叶肉凹陷,叶脉凸出,部分叶片皱缩、畸形,叶齿钩状后卷。

2.1.4 缺钙 缺钙处理 10 d 时嫩叶率先表现症状,叶面产生水渍状失绿斑点,叶片卷曲不平。处理 13 d 时老叶叶缘先变黄(淡黄色镶边),再向内侧延伸,另有叶片从叶脉向外黄化,或二者同时发生,最后整片叶子黄化。植株上的叶片自上向下由绿转黄,叶缘或生有褐色坏死斑,严重时梢尖枯死掉落,植株停止生长。

2.1.5 缺镁 缺镁处理 8 d 时老叶先出现症状,表现在叶缘附近叶肉组织失绿,叶肉自外向内呈条块状失绿,叶脉仍保持绿色和正常光泽,随着胁迫加重,老叶叶色转为灰绿,而黄化范围加大、黄化程度加重,并连成一片,叶缘逐渐产生干枯斑块。嫩叶与老叶症状相似,叶片颜色起初为黄绿色,后转为黄白色。植株上的叶片由基部向顶部干枯脱落。这与高超跃等^[18]在缺 Mg ‘夏黑’葡萄上观察到的症状相同。

2.1.6 缺铁 缺铁处理 10 d 时嫩叶先出现症状,油渍状黄褐色斑点布满整个叶面,另有一些幼叶从叶缘生出黄白色斑块,局部区域叶肉呈红灰色干枯,此类症状持续发生。随着叶片的生长发育,在处理 28 d 时发现老叶从外向内似“花叶”般褪绿黄化,星星点点的黄绿叶肉交错融合,而幼叶则层次分明,即叶肉为黄绿色、黄白色或白色,叶脉保持绿色。缺 Fe 植株节间长,多生副梢,老叶厚,新叶薄。

2.1.7 缺硼 缺硼处理 10 d 时嫩叶呈浅淡的黄绿色,叶缘烧焦状向上卷曲,老叶边缘发黄,主侧脉木栓化程度高;处理 12 d 时植株顶端生长点黑褐枯萎,老叶和幼叶边缘现大面积红褐色坏死斑,并不断向内侧蔓延。缺 B 植株矮小,抗性弱,生长缓慢,叶片多畸形,叶面凹凸不平,叶片裂刻部位易起伏而上下重叠。

2.1.8 缺锌 缺 Zn 症状首先在处理 6 d 时的新叶上发生,表现为叶肉条带状或块状褪绿,叶脉仍保持原有色泽。处理 9 d 时老叶叶脉黄化,叶肉保持绿色。处理 20 d 时老叶仍为前述症状,另有老叶叶面生有不规则黄化斑块,随胁迫加重,斑块很快褐化坏死,表现出褐化斑被黄色叶肉包裹的形态。嫩叶叶肉水渍状或条带状褪绿。处理 30 d 时部分老叶叶脉黄化,常伴有成片灰褐或红褐枯斑;部分老叶叶缘叶肉黄化并向内扩展。

2.1.9 缺铜 缺铜处理 10 d 时叶片出现症状,嫩叶叶脉及其附近叶肉发黄,少数幼叶叶肉产生泡状褐斑,多附着主侧脉而生,并逐渐扩大。处理 20 d 时位于叶面中部、紧依叶脉发生的病斑转为红褐色,并像涟漪般扩散出去。处理 30 d 时,叶片病斑开始从叶缘发生,少数叶片于叶面中部发生,逐渐加重的同时叶肉依然扭曲不平。老叶大多表现为叶脉及其附近叶肉细胞黄化,发展到后期主侧脉木栓化程度高。缺 Cu 严重时植株新梢顶部枯死,植株抗性弱,叶面枯斑坏死斑极多。

2.2 缺素胁迫对‘阳光玫瑰’葡萄株高和叶片数的影响

缺素胁迫对‘阳光玫瑰’株高产生影响,但影响程度不同(图 2-A)。“阳光玫瑰”缺 N 与缺 Fe 处理组株高在处理 10 d 后显著低于缺素对照组(CK),分别比 CK 低 10.17%和 10.90%,但处理 20 和 30 d 时与

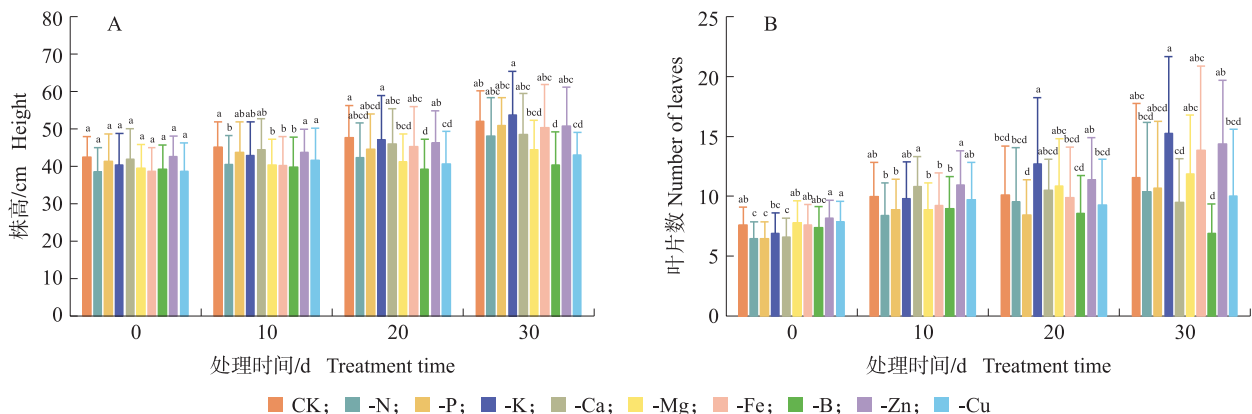


图 2 缺素处理对葡萄株高(A)和叶片数(B)的影响

Fig. 2 Effect of nutrient deficiency treatments on grape height(A) and the number of leaves(B)

不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Different small letters indicate significant difference at 0.05 level among treatments. The same as follows.

CK 差异不显著。缺 Mg 和缺 B 处理组株高在处理 10 d 时显著低于 CK, 分别比 CK 低 10.52% 和 11.66%, 这一差异一直持续至 30 d, 此时分别比 CK 低 14.47% 和 22.52%。缺 Cu 处理组株高在处理 20 d 时显著低于 CK (14.60%), 30 d 时仍显著低于 CK (17.21%)。综上, Mg、B、Cu 元素缺乏时, ‘阳光玫瑰’ 株高生长明显缓慢。

由图 2-B 可见: 在试验期间 ‘阳光玫瑰’ 叶片数总体呈上升或先升后降趋势。0 d 时 ‘阳光玫瑰’ 平均叶片数为 6~8 片, 缺 N、缺 P、缺 Ca 处理组叶片数与 CK 差异显著, 但从处理 20 d 起至试验结束, 则与 CK 差异不显著。缺 K 处理组叶片数在 20 d 开始显著高于 CK, 到 30 d 时仍显著高于 CK。缺 B 处理组 30 d 时叶片数显著低于 CK, 为 9 个缺素处理组中叶片数最少的, 此时叶片数最多的缺 K 处理组, 是缺 B 处理组的 2.22 倍。综上分析可得, ‘阳光玫瑰’ 缺 Ca 和缺 B 叶片少, 植株长势弱。

2.3 缺素胁迫对 ‘阳光玫瑰’ 葡萄叶片叶绿素含量和叶片含水量的影响

缺素胁迫后, ‘阳光玫瑰’ 叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量整体呈下降趋势 (图 3)。缺素处理 10 d, 缺 B 和缺 Zn 处理组叶绿素 a、叶绿素 b 与叶绿素总含量均显著高于对照组 (CK); 缺 Mg 处理组叶绿素 b 含量显著低于 CK, 但叶绿素 a 和叶绿素总含量与 CK 无显著差异。缺素处理 20 d, 缺 N、缺 P、缺 Ca、缺 Fe 和缺 B 处理组叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量均显著低于 CK; 缺 Zn 处理组叶绿素 b 含量显著低于 CK, 但其叶绿素 a 和叶绿素总含量与 CK 差异不显著。处理 30 d 时, 只有缺 K 处理组叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量与 CK 差异不显著, 其他缺素处理组叶绿素 a、叶绿素总含量均显著低于 CK, 且叶绿素总含量均小于 $0.300 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。处理 0 d 时, 缺 K 处理组叶片含水量显著高于 CK, 其他处理组与 CK 无显著差异。处理 30 d 时 ‘阳光玫瑰’ 9 个缺素处理组叶片含水量与 CK 差异不显著。总体而言, 缺素胁迫对 ‘阳光玫瑰’ 叶片含水量没有较大的影响。

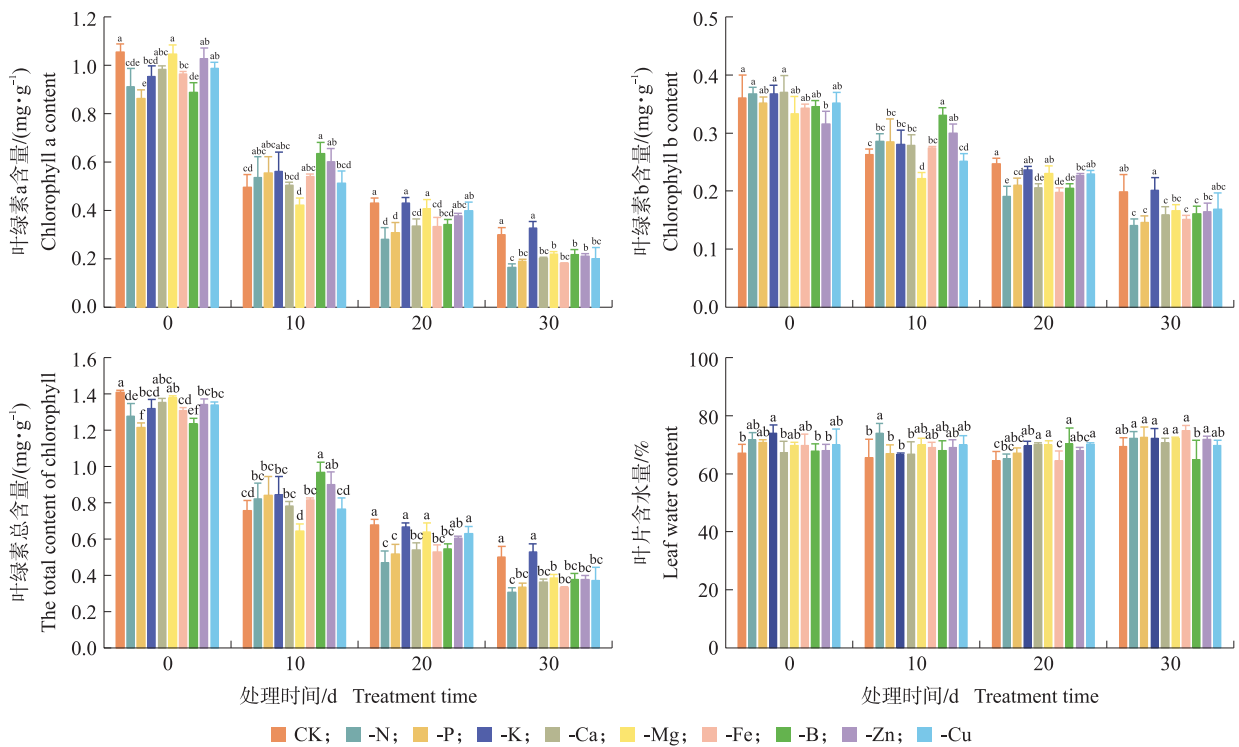


图 3 缺素处理对葡萄叶片叶绿素含量和叶片含水量的影响

Fig. 3 Effect of nutrient deficiency treatments on chlorophyll content and water content in grape leaves

2.4 缺素胁迫对葡萄叶片中 MDA 含量与 SOD 活性的影响

由图 4-A 可见: ‘阳光玫瑰’ 缺 P、缺 K、缺 Fe、缺 B、缺 Zn、缺 Cu 处理组在 20 d 时 MDA 含量均达最大值, 随后降低。而缺 N、缺 Ca、缺 Mg 处理组与 CK 均在 30 d 时 MDA 含量达最大值, 尤以 Mg 元素缺乏时最大 ($10.69 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)。处理 30 d 时, 除缺 N 和缺 Ca 处理组外其他处理组 MDA 含量均显著低于 CK 组。

由图 4-B 可见: ‘阳光玫瑰’ 各处理组 SOD 活性变化趋势基本相同, 随着胁迫的加重, SOD 活性增加。处理 30 d 时各处理组与 CK 的 SOD 活性差异显著, SOD 活性从大到小依次为缺 Fe、缺 Zn、缺 Mg、缺 K、缺 N、缺 Cu、缺 P、CK、缺 Ca、缺 B。

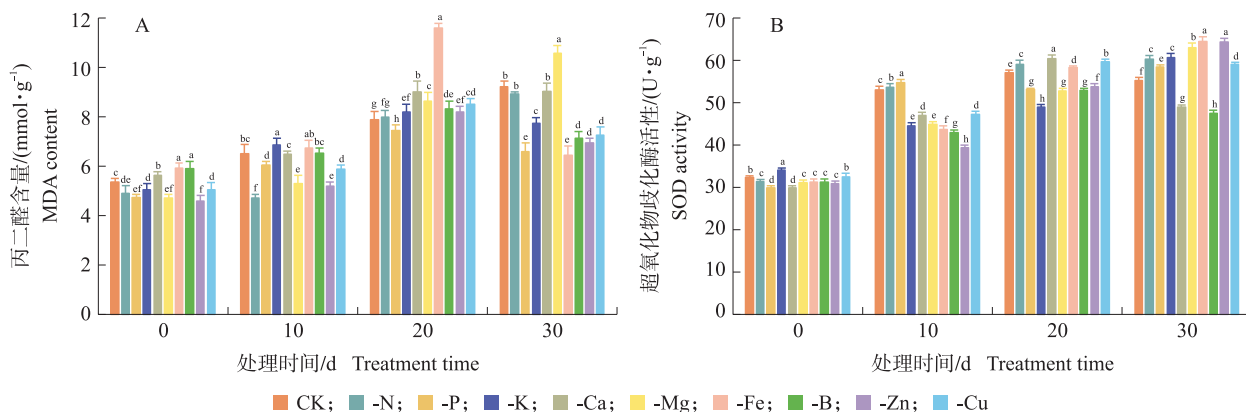


图 4 缺乏处理对葡萄叶片中丙二醛(MDA)含量(A)和超氧化物歧化酶(SOD)活性(B)的影响

Fig. 4 Effect of nutrient deficiency treatments on malonaldehyde(MDA) content(A) and superoxide dismutase(SOD) activity(B) in grape leaves

3 讨论

本研究表明,‘阳光玫瑰’缺 N、P、K 老叶症状表现相似,叶脉均会黄化,严重时木栓化,处理后期老叶完全转为黄色或白色。处理前期缺 Fe、B、Cu 新叶表现相似又有区别,叶片均会发生灰褐或红褐色斑点或斑块,但缺 Fe 斑点不规则且集中于叶片外围,缺 B 斑点多见于叶缘且易连成片,缺 Cu 斑点多分布于叶脉附近。缺 Ca、Fe、Zn 新叶叶肉均褪绿,但叶脉仍保持绿色,处理后期缺 Fe 新叶多呈黄白色,极易分辨。处理后期少数缺 Mg 新叶也会呈现黄绿色,但缺 Mg 症状率先在老叶上发生,且表现为叶肉自外向内呈条块状失绿,叶脉仍保持绿色和正常光泽。缺 Fe 新叶较缺 Mg 新叶发生黄化时间更早、黄化程度更高,发展后期甚至白化。缺 P、Mg 和 Zn 时,‘阳光玫瑰’出现症状较早,缺 B、Cu 和 Mg 时,株高生长明显缓慢,并且症状变化较快,死亡率高;缺 Ca 和 B 时叶片数量显著下降。微量元素显著降低了叶片叶绿素含量,但对叶片含水量影响较小。

缺 N 时老叶褪绿黄化,这是 N 的高迁移率的结果,这种高移动性是由于蛋白质和不断合成与降解的化合物向韧皮部释放渗透性含氮化合物的结果^[19-20],最终使氮重新分配到新叶。本研究中,缺 P 时老叶先变黄,幼叶裂片顶端叶齿和叶缘锯齿均呈紫红色,这与于瑞军^[11]观察结果相同。此外,缺 P 植株的幼叶较其他处理更繁多,这一现象十分明显。缺 K 是农业领域的一个重要问题,缺 K 导致植物对生物病原体易感、生长停滞、碳氮比失衡^[21-22],一般表现为叶片发黄,叶尖、叶缘呈现褐色小斑点,然后逐步褐变枯死^[23]。本研究处理前期缺 Ca 叶片表面生有水渍状褪绿斑点,而后叶缘出现坏死斑,这与李红梅等^[17]和高超越等^[18]在葡萄幼叶边缘和脉间发现灰褐色坏死斑、针头大小坏死斑类似。Mg 元素是叶绿素分子的组成元素,在光合作用中发挥重要作用,叶绿素含量的减少直接导致叶片褪绿黄化,碳水化合物供应不足。植物叶片 80% 以上的 Fe 都集中于叶绿体^[24],大量存在于叶绿体的类囊体膜和叶绿体基质中,起维持叶绿体结构和功能的作用。Fe 元素是叶绿素合成前体物质,并且在叶绿素合成过程中对多种酶的激活起关键作用,研究表明亚铁原叶琳或吡咯环是叶绿素合成的前体物质^[25]。Fe 相关酶常位于某些重要氧化还原酶结构上的活性部位,这些酶参与植物的能量转移过程,如进行电子传递,还原和固定 N 元素以及促进木质素的形成,植物缺乏 Fe 元素时不利于合成糖类、蛋白质、叶绿素等^[26],因此,‘阳光玫瑰’缺 Fe 时新叶呈黄白色。缺 B 时植株生长点易焦枯掉落,叶缘出现红褐枯斑,因为 B 是促进葡萄新细胞分化和调节碳水化合物代谢的重要元素^[27]。B 缺乏和过量的明显症状包括生长部位的枯死、叶片褪绿和光合作用系统性能差。生理分析表明,B 紊乱可引起细胞壁成分、营养吸收、抗氧化系统、碳水化合物和能量代谢等初级和次级代谢的交替;蛋白质组学和转录组学研究表明,B 紊乱影响柑橘从基因转录到最终形态发生的整个发育过程^[28]。‘阳光玫瑰’缺 Zn 最先在幼叶上表现症状,Zn 的供应水平影响 Zn 在植物体内的吸收转移和分配,当植物处于正常供 Zn 水平时,植物的新生组织含 Zn 量往往高于成熟组织^[29]。缺 Cu 时,‘阳光玫瑰’主要表现叶片表面生有坏死斑,缺 Cu 可能会改变膜的流动性,抑制叶绿体中光合系统电子传输^[30]。同时,各矿质元素间还存在相互作用,主要有协同作用和拮抗作用。例如,Zn 对 P 的吸收利用表现为拮抗

效应,施 Zn 肥显著降低 P 肥利用率^[31], K^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 等阳离子易对 Mg 的吸收有拮抗作用等^[25]。酶学诊断法是适用于缺素症早期诊断的一种方法,可根据最敏感酶的活性变化来诊断缺素症,如缺锌症可以根据碳酸酐酶活性的下降加以判断^[32]。本研究发现,葡萄遭受缺素胁迫时,MDA 含量和 SOD 活性整体呈上升或先升后降趋势,‘阳光玫瑰’缺 Mg 时 MDA 含量与 SOD 活性显著升高,缺 B 时在处理中期 MDA 含量和 SOD 活性达最大值。这一结果表明随着胁迫的加重抗氧化系统有效清除了植物体内的活性氧,从而减轻了氧化损伤,起到保护植物的作用,而随着胁迫的加重,抗氧化系统也逐渐失效。

在生产上由于土壤和栽培管理因素不同,植物常常发生缺素症状,但不同植物对元素的耐性和敏感性有所区别。缺素症状发生的剧烈程度、植株死亡率以及生长生理指标表明,‘阳光玫瑰’对缺 Zn 的耐性较强,对缺 B 和缺 Mg 的耐性较弱。本试验探寻了‘阳光玫瑰’葡萄幼苗的表观差异,并测定缺素幼苗的生长生理指标,为‘阳光玫瑰’葡萄的缺素症提供了一定的图文参考,但针对缺素表型的机制未做详细解析,未来仍需进一步探究。

参考文献 References:

- [1] 江映锦. 福安市‘阳光玫瑰’葡萄优质高效栽培技术[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2018(4):99-102.
Jiang Y J. Report on high quality and efficiency cultivation techniques of ‘Shine Muscat’ grape in Fu’an[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2018(4):99-102(in Chinese with English abstract).
- [2] 吕中伟,吴文莹,娄玉穗,等. 阳光玫瑰葡萄温棚栽培关键技术[J]. 中国南方果树,2021,50(3):167-169.
Lü Z W, Wu W Y, Lou Y S, et al. Key cultivation techniques of sunshine rose grape in greenhouse[J]. South China Fruits, 2021, 50(3):167-169(in Chinese).
- [3] 金晓飞,陈哲. ‘阳光玫瑰’葡萄定位栽培技术[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2019(4):55-57.
Jin X F, Chen Z. Positioning cultivation techniques of ‘Shine Muscat’ grapevine [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2019(4):55-57 (in Chinese with English abstract).
- [4] 杨治元,陈哲. 阳光玫瑰葡萄规模种植情况调查初报[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2017(1):59-60.
Yang Z Y, Chen Z. Preliminary report on scale planting of sunshine rose grape [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2017(1):59-60 (in Chinese with English abstract).
- [5] Yamada Y S. Cultivation and promotion of new grape variety ‘Shine Muscat’ [J]. Horticultural Research, 2017, 16(3):229-237.
- [6] 季应明. 番茄营养元素缺乏与过剩症状的研究[J]. 江苏农业科学,1996,24(4):46-49.
Ji Y M. Study on the symptoms of nutrient deficiency and excess in tomato [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 1996, 24(4):46-49 (in Chinese).
- [7] 李玲,殷振华,亚华金,等. N、P、K、Ca 缺素培养对辣木幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(16):52-56.
Li L, Yin Z H, Ya H J, et al. Influence of N, P, K, Ca deficiency on growth of *Moringa oleifera* Lam seedlings [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(16):52-56(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘忠强. 葡萄缺素的症状表现与补救措施[J]. 科学种养,2020(7):36-38.
Liu Z Q. Symptoms and remedial measures of grape deficiency [J]. Kexue Zhongyang, 2020(7):36-38(in Chinese).
- [9] 蔡之博,李军,胡楠楠,等. 早春日光温室葡萄生理缺素的解决措施[J]. 新农业,2017(9):41-42.
Cai Z B, Li J, Hu N N, et al. Solutions to physiological deficiency of grapes in solar greenhouse in early spring [J]. Modern Agriculture, 2017(9):41-42(in Chinese).
- [10] 常永义,朱建兰. 红地球葡萄缺素症研究[J]. 河北林业科技,2004(5):120-122.
Chang Y Y, Zhu J L. Study on element deficiency disease of Red Globe grape [J]. Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2004(5):120-122(in Chinese).
- [11] 于瑞军. 葡萄缺素症状及霜霉病的防治[J]. 现代农业研究,2021,27(4):119-120.
Yu R J. The prevention and control of grape deficiency symptom and downy mildew [J]. Modern Agriculture Research, 2021, 27(4):119-120 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张洪昌,巩春霞. 葡萄树施肥与缺素症防治技术[J]. 科学种养,2019(8):34-35.
Zhang H C, Gong C X. Fertilization of grape trees and control techniques in element deficiency disease [J]. Kexue Zhongyang, 2019(8):34-35 (in Chinese).
- [13] 于铭,宋剑锐,刘培源. 葡萄缺素症状及应对措施[J]. 种子世界,2013(8):62-63.
Yu M, Song J R, Liu P Y. Grape element deficiency disease and its countermeasures [J]. Seed World, 2013(8):62-63(in Chinese).
- [14] Tiffin L O. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives [J]. Soil Science Society of America Journal, 1972, 36(4):8.
- [15] Santona L, Castaldi P, Melis P. Evaluation of the interaction mechanisms between red muds and heavy metals [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 136(2):324-329.

- [16] Neill S J, Desikan R, Clarke A, et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(372):1237-1247.
- [17] 李红梅, 翟爱军. 葡萄主要生理病害的识别及其防治措施[J]. *中国果菜*, 2008, 28(2):45-46.
Li H M, Zhai A J. Identification and control measures of main physiological diseases of grapes[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2008, 28(2):45-46(in Chinese).
- [18] 高超跃, 蔡盛华, 刘鑫铭, 等. 夏黑葡萄控产提质增效技术集成与应用[J]. *东南园艺*, 2013, 1(3):46-48.
Gao C Y, Cai S H, Liu X M, et al. Integration and application of technology for controlling production, improving quality and increasing efficiency of summer black grape[J]. *Southeast Horticulture*, 2013, 1(3):46-48(in Chinese).
- [19] 张峻霄, 刘啸威, 井盼, 等. 减氮条件下外源钙对风沙区土壤氮、磷和花生产量的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2023, 54(6):662-672.
Zhang J X, Liu X W, Jing P, et al. Effect of exogenous calcium on soil nitrogen, phosphorus and peanut yield in a windswept sandy area under reduced nitrogen conditions[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2023, 54(6):662-672(in Chinese with English abstract).
- [20] 姜佰文, 于士源, 杨贺淇, 等. 增密种植条件下苗期深松与氮肥侧深施对玉米根系生长与氮效率的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2023, 54(6):1-9.
Jiang B W, Yu S Y, Yang H Q, et al. Effects of deep loosening and N side-deep fertilization during seedling stage on root growth of field-grown maize under high planting density[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2023, 54(6):1-9(in Chinese with English abstract).
- [21] Römheld V, Kirkby E A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects[J]. *Plant and Soil*, 2010, 335(1):155-180.
- [22] Schachtman D P. The role of ethylene in plant responses to K⁺ deficiency[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6:1153.
- [23] 朱振兴, 曲匡正, 李丹, 等. 高粱类缺钾症状种质矿质元素含量分析及基因定位[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(3):75-80.
Zhu Z X, Qu K Z, Li D, et al. Mineral elements content analysis and gene mapping of potassium-deficient mimic sorghum[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(3):75-80(in Chinese with English abstract).
- [24] Finazzi G, Petroustos D, Tomizioli M, et al. Ions channels/transporters and chloroplast regulation[J]. *Cell Calcium*, 2015, 58(1):86-97.
- [25] 寇芯. 施铁、镁肥对李树叶黄化的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2018.
Kou X. The effect of applying iron and magnesium fertilizer on leaf yellowing of plum[D]. Ya'an; Sichuan Agricultural University, 2018(in Chinese with English abstract).
- [26] 李焯. 浅谈土壤植物营养与农业持续发展[J]. *现代园艺*, 2020, 43(14):29-31.
Li Y. Discussion on soil plant nutrition and sustainable development of agriculture[J]. *Xiandai Horticulture*, 2020, 43(14):29-31(in Chinese).
- [27] 张超. 设施葡萄缺素症的发生与防治[J]. *河北果树*, 2010(5):27-28.
Zhang C. Occurrence and control of protected grape element deficiency disease[J]. *Hebei Fruits*, 2010(5):27-28(in Chinese).
- [28] Yang L T, Pan J F, Hu N J, et al. *Citrus* physiological and molecular response to boron stresses[J]. *Plants*, 2021, 11(1):40.
- [29] 张睿佳, 李瑛, 虞秀明, 等. 高温胁迫与外源油菜素内酯对‘巨峰’葡萄叶片光合生理和果实品质的影响[J]. *果树学报*, 2015, 32(4):590-596.
Zhang R J, Li Y, Yu X M, et al. Effects of heat stress and exogenous brassinolide on photosynthesis of leaves and berry quality of ‘Kyoho’ grapevine[J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(4):590-596(in Chinese with English abstract).
- [30] 付伟. 锌肥对‘阳光玫瑰’葡萄叶片光合特性和果实品质的影响研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2019.
Fu W. Effects of zinc fertilizer on photosynthetic characteristics of leaves and fruit quality of ‘Shine Muscat’ grape[D]. Ya'an; Sichuan Agricultural University, 2019(in Chinese with English abstract).
- [31] 杨利华, 郭丽敏, 傅万鑫. 施锌对玉米氮磷钾肥料利用率、产量及籽粒品质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2):41-43.
Yang L H, Guo L M, Fu W X. Effect of zinc on fertilizer utilization rates of nitrogen, phosphorus and potassium, grain yield and quality in maize[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(2):41-43(in Chinese with English abstract).
- [32] 余纲哲. 作物营养诊断新法:酶学诊断法[J]. *河南农林科技*, 1980, 9(8):40.
She G Z. A new method of crop nutrition diagnosis: enzymatic diagnosis[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 1980, 9(8):40(in Chinese).

责任编辑:范雪梅