

文章编号:1673-887X(2026)06-0126-03

干旱胁迫对苹果树生长及果实品质的影响

吕鹏悦

(山西运城农业职业技术学院,山西 运城 044000)

摘要 为探究干旱胁迫对苹果树生长及果实品质的影响,以运城市盐湖区8 a生的长富2号红富士苹果树为试验对象,设置正常灌溉、轻度干旱、中度干旱及重度干旱等4个水分处理,系统探究了干旱胁迫对苹果树生长及果实品质的影响。结果表明,随着干旱胁迫程度的加剧,苹果树的萌芽率、坐果率、新梢生长及果实大小均显著降低;净光合速率、气孔导度等也呈现明显下降趋势,胞间二氧化碳浓度在中度和重度干旱胁迫下上升,水分利用效率在轻度干旱时有所提高但随胁迫加重而降低;干旱胁迫明显降低了单果质量和单位面积产量,可溶性固形物、维生素C和可溶性糖含量等果实品质指标在轻度干旱胁迫下有所提升,但中度和重度干旱导致这些指标显著下降。

关键词 干旱胁迫;苹果树;生长指标;光合特性;果实品质;盐湖区

中图分类号 S661.1

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.042

The Effects of Drought Stress on the Growth and Fruit Quality of Apple Trees

Lv Pengyue

(Shanxi Yuncheng Vocational and Technical College of Agricultural, Yuncheng 044000, Shanxi, China)

Abstract: To investigate the effects of drought stress on the growth and fruit quality of apple trees, an 8-year-old Changfu No.2 Red Fuji apple tree in Yanhu District of Shanxi Province was selected as the experimental subject. Four water treatments including normal irrigation, mild drought, moderate drought, and severe drought were set up to explore the effects of drought stress on the growth and fruit quality of apple trees. The results showed that as the severity of drought stress increased, the germination rate, fruit setting rate, new shoot growth, and fruit size of apple trees significantly decreased; net photosynthetic rate, stomatal conductance, etc. also showed a significant downward trend; intercellular carbon dioxide concentration increased under moderate and severe drought stress, and water use efficiency increased slightly under mild drought but decreased with the aggravation of stress; drought stress significantly reduced the single fruit quality and unit area yield, while fruit quality indicators such as soluble solids, Vitamin C, and soluble sugar content increased under mild drought stress, but decreased significantly under moderate and severe drought.

Key words: drought stress; apple tree; growth indicators; photosynthetic characteristics; fruit quality; Yanhu District

在全球气候变化的大背景下,干旱发生频率和强度均呈现出上升趋势,对农作物的生长发育及产量品质构成了严重威胁^[1-2]。本研究通过设置不同干旱胁迫处理,系统分析干旱胁迫对苹果树生长指标、光合特性、产量及果实品质的影响,旨在为干旱地区苹果树的节水栽培和品质提升提供科学指导^[3]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2023年在盐湖区解州镇苹果示范基地进行。该地属暖温带半干旱气候,试验地土壤为褐土,pH值为7.8,有机质的质量分数1.2%。

1.2 试验设计

选长势基本一致的8 a生的长富2号苹果树,株距4 m、行距5 m。每处理5株,重复3次。采用滴灌系统控制土壤含水量,每3天用TDR-350土壤水分仪(上海恒平)校准。试验处理设计见表1。

表1 试验处理设计表

Tab.1 Experimental treatment design

处理	土壤相对含水量/%	灌溉定额/(m ³ ·hm ⁻²)
CK	70~80	1 500
T ₁	60~70	1 200
T ₂	50~60	900
T ₃	40~50	600

收稿日期 2026-02-14

作者简介 吕鹏悦(1997-),女,山西绛县人,硕士,助教,研究方向为园艺(果树/花卉)。

1.3 测定项目

1.3.1 生长指标

一是萌芽率与坐果率:4月统计花芽萌发率,5月疏果前计算坐果率。二是新梢生长:每10 d测量标记枝条长度,计算相对生长量。三是果实形态:游标卡尺测定纵径、横径,计算果形指数(纵径/横径)^[4]。

1.3.2 光合参数

使用LI-6800便携式光合仪(美国LI-COR)于干旱60 d后测定如下光合参数:净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO₂浓度(Ci);气孔限制值($Ls=1-Ci/Ca$, Ca为大气CO₂浓度);水分利用效率($WUE=Pn/Tr$, Tr为蒸腾速率)^[5]。

1.3.3 产量与品质

产量:10月15日采收称重,计算单株产量折合单位面积产量。分别在各处理组苹果树上随机采摘10个果实,测定苹果树果实的可溶性固形物(采用手持折光仪)、维生素C含量(2,6-二氯酚酚滴定法)、可溶性糖(蒽酮比色法)、有机酸(NaOH滴定法)及矿质元素(ICP-OES法)等品质指标^[6-7]。

1.4 数据分析

采用SPSS 22.0进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对生长的影响

干旱胁迫对苹果树生长的影响见表2。

表2 干旱胁迫对苹果树生长的影响表

Tab.2 The impact of drought stress on the growth of apple trees

处理	萌芽率/%	坐果率/%	新梢长度/cm	果实纵径/mm	果实横径/mm	果形指数
CK	65.86 ± 2.31a	62.92 ± 1.87b	27.77 ± 1.05a	79.75 ± 0.98a	82.78 ± 1.12a	0.96 ± 0.02a
T ₁	63.27 ± 2.15b	63.15 ± 1.92a	25.34 ± 0.94b	79.35 ± 0.87a	81.85 ± 1.03b	0.97 ± 0.01a
T ₂	54.38 ± 1.76c	58.42 ± 1.64c	20.17 ± 0.82c	76.83 ± 0.92b	78.24 ± 0.97c	0.98 ± 0.02a
T ₃	48.35 ± 1.52d	56.79 ± 1.53d	16.25 ± 0.83d	75.14 ± 0.85c	77.18 ± 0.88d	0.97 ± 0.01a

注:同列不同字母表示差异显著(P<0.05);下表同。

由表2可知,随着干旱胁迫程度的增加,萌芽率逐渐降低。与CK处理相比,T₁萌芽率下降了3.93%,表明轻度干旱胁迫对萌芽率已有一定抑制作用;T₂萌芽率下降幅度增大至17.43%,说明中度干旱胁迫对萌芽的抑制作用更为明显;T₃萌芽率下降幅度高达26.59%,重度干旱胁迫严重抑制了苹果树的萌芽。T₁坐果率较CK处理略有上升,上升幅度0.37%。随着干旱胁迫程度进一步加重,T₂坐果率较CK处理下降了7.15%,T₃下降了9.74%,表明中度和重度干旱胁迫对坐果产生了明显的负面影响。新梢长度随干旱胁迫程度的增加而显著缩短。T₁新梢长度较CK处理缩短了8.75%,T₂缩短了27.37%,T₃处理缩短幅度最大,达41.48%,表明干旱胁迫

对苹果树新梢生长的抑制作用随着胁迫程度的加重而不断增强,严重影响了树体的营养生长和树冠的扩展。果实纵径和横径均随着干旱胁迫程度的增加而减小。与CK相比,T₁果实纵径和横径分别下降了0.50%和1.12%,下降幅度相对较小;T₂果实纵径和横径分别下降了3.66%和5.49%;T₃下降幅度最为明显,果实纵径和横径分别下降了5.78%和6.77%,说明干旱胁迫会抑制果实的发育,导致果实变小,且胁迫程度越严重,对果实大小的影响越大。果形指数方面,各处理间差异不显著,表明干旱胁迫对苹果果形的影响相对较小。

2.2 光合特性响应

干旱60 d后光合参数日均值见表3。

表3 干旱60 d后光合参数日均值表

Tab.3 Daily average values of photosynthetic parameters after 60 days of drought

处理	$\varphi(Pn)/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	$\varphi(Gs)/(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$\varphi(Ci)/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	$\varphi(WUE)/(\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1})$
CK	11.42 ± 0.45a	0.25 ± 0.03a	218 ± 8d	3.12 ± 0.15b
T ₁	9.87 ± 0.38b	0.21 ± 0.02b	205 ± 7c	3.45 ± 0.18a
T ₂	6.53 ± 0.29c	0.14 ± 0.02c	240 ± 9b	2.83 ± 0.14c
T ₃	4.31 ± 0.22d	0.10 ± 0.01d	268 ± 10a	2.03 ± 0.12d

由表3可知,随着干旱胁迫程度的加剧,Pn值呈现明显下降趋势。与CK处理相比,T₁的Pn值下降了13.57%,表明轻度干旱胁迫已经开始对苹果树的光合作用产生一定抑制,限制了光合产物的合成;T₂的Pn值较CK处理大幅下降,降幅达42.82%,说明中度干旱胁迫对光合作用的抑制作用明显增强,严重影响了苹果树的光合能力;T₃的Pn值下降幅度相较最大,较CK降低了62.24%,表明重度干旱胁迫极大地阻碍了光合作用的正常进行。气孔导度(Gs)的变化趋势与Pn值相似,随着干旱胁迫程度的增加,Gs值逐渐减小。T₁的Gs值较CK处理下降了16%,表明轻度干旱胁迫导致叶片气孔开度有所减小,影响了气体交换;T₂的Gs值较CK下降了44%,中度干旱胁迫进一步加剧了气孔的关闭程度,限制了二氧化碳的进入,从而对光合作用产生更严重的抑制;T₃的Gs值较CK处理下降了60%,重度干旱胁迫使气孔几乎完全关闭,阻碍了气体交换,导致光合作用受到严重抑制。胞间二氧化碳浓度(Ci)在轻度干旱胁迫(T₁)下较CK下降了5.96%。在中度和重度干旱胁迫(T₂和T₃)下,Ci值分别较CK上升了10.09%和22.94%。随着干旱胁迫程度的加重,光合作用受到严重抑制,对二氧化碳的利用能力大幅下降,使得细胞间隙积累的二氧化碳增多。水分利用效率(WUE)在轻度干旱胁迫(T₁)下较CK处理提高了10.58%,表明苹果树在轻度干旱条件下通过调节气孔开度,在保证一定光合作用的同时,提高了水分利用效率;中度干旱胁迫(T₂)下,WUE值较CK下降了9.29%,说明随着胁迫程度的增加,光合作用受到的抑制作用超过了水分利用效率的提升效果;重度干旱胁迫(T₃)下,WUE值较CK下

降了 34.94%,此时苹果树的光合作用受到极度抑制,水分利用效率也显著降低。

2.3 产量与品质调控

产量相关指标见表 4。

表 4 干旱胁迫对产量及果实品质的影响表
Tab.4 The impact of drought stress on yield and fruit quality

指标	CK	T ₁	T ₂	T ₃
单果质量/g	285.86 ± 10.24a	271.40 ± 9.87b	233.75 ± 8.42c	218.93 ± 8.75d
单位面积产量/(t·hm ⁻²)	42.76 ± 1.52a	41.59 ± 1.48b	36.24 ± 1.31c	34.17 ± 1.25d
w(可溶性固形物)/%	17.31 ± 0.13b	18.30 ± 0.15a	16.88 ± 0.14c	15.42 ± 0.12d
w(维生素 C)/(mg·hg ⁻¹)	35.35 ± 0.82b	38.87 ± 0.91a	30.24 ± 0.75c	24.65 ± 0.68d
w(可溶性糖)/(g·hg ⁻¹)	17.24 ± 0.45b	19.40 ± 0.51a	16.57 ± 0.42c	14.83 ± 0.38d
w(有机酸)/(g·hg ⁻¹)	3.12 ± 0.08a	2.94 ± 0.07b	2.87 ± 0.07c	2.84 ± 0.06c
糖酸比	5.53 ± 0.10c	6.60 ± 0.12a	5.78 ± 0.11b	5.22 ± 0.09d
w(Ca)/(mg·kg ⁻¹)	16.77 ± 0.25a	16.44 ± 0.23a	15.83 ± 0.22b	14.96 ± 0.20c
w(K)/(mg·hg ⁻¹)	20.40 ± 0.15a	18.10 ± 0.36b	17.85 ± 0.32c	16.24 ± 0.30d

由表 4 可知,单果质量和产量均随着干旱胁迫程度的增加而显著降低,与 CK 相比,T₁单果质量下降了 5.06%,产量下降了 2.74%,表明轻度干旱胁迫已对苹果的果实大小和产量产生了一定负面影响;T₂(中度干旱)单果质量较 CK 下降了 18.23%,产量下降了 15.25%,说明中度干旱胁迫对果实生长和产量的抑制作用进一步增强;T₃(重度干旱)单果质量下降幅度高达 23.42%,产量下降幅度达 20.09%,重度干旱胁迫严重阻碍了果实的正常发育,导致产量大幅下降。在果实品质指标方面,可溶性固形物、维生素 C 和可溶性糖含量呈现出先升高后降低的趋势。T₁处理可溶性固形物含量较 CK 处理提高了 5.72%,维生素 C 含量提高了 9.96%,可溶性糖含量提高了 12.53%;随着干旱胁迫程度的加重,T₂可溶性固形物含量较 CK 下降了 2.48%,维生素 C 含量下降了 14.46%,可溶性糖含量下降了 3.89%;T₃可溶性固形物含量下降了 10.92%,维生素 C 含量下降了 30.27%,可溶性糖含量下降了 14.00%,表明中度和重度干旱胁迫对果实内糖分和维生素 C 的合成与积累产生了严重的抑制作用。有机酸含量随着干旱胁迫程度的增加而逐渐降低,T₁较 CK 处理下降了 5.77%,T₂下降了 7.98%,T₃处理下降了 8.97%。糖酸比的变化趋势与可溶性糖含量相似,T₁糖酸比较 CK 提高了 19.35%,T₂提高了 4.52%,T₃下降了 5.61%,说明轻度干旱胁迫在一定程度上改善了果实的糖酸比,提高了果实风味,但中度和重

度干旱胁迫对糖酸比产生了不利影响。在矿物质元素含量方面,Ca 和 K 含量均随着干旱胁迫程度的增加而降低。T₁的 Ca 含量与 CK 差异不显著,T₂较 CK 处理下降了 5.61%,T₃下降了 10.79%;T₁的 K 含量较 CK 下降了 11.27%,T₂下降了 12.50%,T₃下降了 20.39%,表明干旱胁迫影响了苹果树对矿物质元素的吸收和运输,导致果实中矿物质元素含量降低。

3 结语

本研究通过设置不同干旱胁迫处理,系统探究了干旱胁迫对 8 a 生的长富 2 号红富士苹果树生长及果实品质的影响。结果表明,干旱胁迫显著抑制了苹果树的生长,具体表现为萌芽率、坐果率、新梢长度及果实纵径和横径均随胁迫程度的加重而降低,其中重度干旱胁迫(T₃)对生长指标的抑制作用最为显著,萌芽率下降了 26.59%,新梢长度缩短了 41.48%,果实纵径和横径分别下降了 5.78% 和 6.77%。在光合特性方面,干旱胁迫导致净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)显著下降,胞间二氧化碳浓度(Ci)在中度和重度干旱胁迫下上升,水分利用效率(WUE)在轻度干旱胁迫下有所提高,但随着胁迫程度加重而降低。产量与品质调控方面,干旱胁迫显著降低了单果质量和产量,T₃下产量下降了 20.09%;果实品质指标如可溶性固形物、维生素 C 和可溶性糖含量在轻度干旱胁迫下有所提升,但中度和重度干旱胁迫则导致这些指标显著下降,有机酸含量和矿物质元素(Ca、K)含量也随胁迫程度加重而降低。因此,轻度干旱(T₁)可作为优化果实品质的适宜阈值,而中度以上干旱(T₂—T₃)需避免,生产中应合理灌溉,结合覆草保墒等措施,以实现节水提质的目标。

参考文献

[1] 赵明玉,李宏,武胜利,等.果实膨大期干旱胁迫对“红富士”苹果树生理特性的影响[J].西北农业学报,2020,29(12):1839–1847.

[2] 赵小琪,孙滢,裴佩显,等.苹果幼树叶片气体交换参数对干旱胁迫和复水的响应[J].山东农业大学学报(自然科学版),2020,51(2):193–198.

[3] 高木旺,裴佩显,孙滢,等.避雨环境下苹果幼树水分状态指标对干旱胁迫的响应[J].应用生态学报,2016,27(8):2459–2466.

[4] 高照全,李志强,陈吉虎.不同水分条件下盆栽苹果树蒸腾速率动态模拟[J].植物生理学报,2013,49(12):1385–1392.

[5] 肖蕊.干旱胁迫对苹果树耗水特征和光合特征的影响[J].农业科技与信息,2024(5):8–11.

[6] 王建,赵单.丛枝菌根真菌与绿色木霉对干旱胁迫下苹果树苗生长、生理特征及水分利用的影响[J].江苏农业科学,2023,51(4):164–170.

[7] 程平,赵明玉,李宏,等.干旱胁迫对苹果树生长、光合特性及果实品质的影响[J].云南大学学报(自然科学版),2022,44(2):405–414.