

淹水胁迫对樱桃番茄苗期形态特征及 叶绿素荧光特性的影响

童梦莹, 黄家权, 李长江*

(海南大学 热带作物学院, 海南省热带生物资源可持续利用重点实验室, 海口 570228)

摘要:【目的】探讨樱桃番茄苗期对淹水胁迫的响应机制,为热带地区反季节露地樱桃番茄的抗涝渍栽培提供参考。【方法】试验以5个不同的樱桃番茄品种作为材料,采用盆栽方式,以正常水分管理作为对照(CK),测定不同淹水天数后樱桃番茄苗期地上部和地下部的形态特征指标,以及叶片叶绿素荧光参数等指标,分析淹水胁迫对樱桃番茄苗期形态特征及叶绿素荧光参数的影响。【结果】淹水胁迫显著降低了樱桃番茄的株高、茎粗、叶面积、叶片数和叶片SPAD值,但对叶片厚度没有显著影响。淹水处理对樱桃番茄根系直径没有显著影响,但显著增加了红妃6号和台湾赞美的根系体积;淹水处理显著增加了红妃6号的根长与根系表面积,但显著降低了千禧的根长和根表面积。淹水后,樱桃番茄叶片初始荧光(F_0)和非光化学淬灭系数(NPQ)增加;最大光化学效率(F_v/F_m)、表观电子传递速率(ETR)和光化学淬灭系数(qP)淹水处理后则显著降低,但红妃6号淹水处理后 F_0 、 F_v/F_m 、ETR和qP与CK相比没有显著差异。【结论】淹水胁迫严重影响了樱桃番茄的生长发育以及叶片叶绿素荧光,但不同品种间存在差异;红妃6号对淹水最不敏感,而千禧受淹水影响最大。

关键词: 樱桃番茄; 淹水胁迫; 形态特征; 荧光参数

中图分类号:S431.191;Q945

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20190168

童梦莹,黄家权,李长江. 淹水胁迫对樱桃番茄苗期形态特征及叶绿素荧光特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(11):8-15.

0 引言

全球气候异常变化,极端天气出现频率增加,局部地区洪涝灾害频发,容易对农业生产造成不利影响^[1]。洪涝灾害会造成作物淹水胁迫,作物部分器官处在缺氧条件下,会造成根系局部缺氧,生长发育受限,根冠生长失调,乙醇、乳酸等有毒物质积累,促使根系生理功能失衡,生长发育受到显著影响^[2-3]。有研究表明^[4],作物植株受到淹水胁迫后,株高以及叶片生长受到显著抑制。淹水胁迫还会降低植物叶片叶绿素的量,破坏植物叶片的叶绿体膜结构以及PS II反应中心,从而降低植物叶片的光合作用^[5-6],导致植物生长减少^[3]。耐淹水植株会通过一些生长策略来适应淹水带来的环境变化,在形态方面会通过增大节间距,延长根系等方式,还可以通过减缓植物自身的生理代谢活动来适应淹水带来的环境变化^[7-8]。

樱桃番茄(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)作为番茄的一种,由于果形小巧、口感突出,深受广大消费者的喜爱。热带地区由于光热充足,现已成为反季节露地樱桃番茄的主要生产基地^[9]。然热带地区樱桃番茄多在9月移栽,而该地区9—10月降雨多,且强度大,常造成樱桃番茄苗期洪涝灾害发生^[10]。然而,目前关于涝渍害对番茄的影响研究还较少,且多集中于大果番茄上,比如淹水胁迫能降低大果番茄植株的株高、茎粗等,同时能够降低大果番茄叶片的叶绿素的量,PS II光合电子传递速率和光化学淬灭系数都会有所降低^[11-14];淹水胁迫对番茄AC01基因和PR-NP24基因表达也存在影响^[15-16]等。而樱桃番茄与大果番茄属于不同生态型番茄,关于樱桃番茄在淹水胁迫下的响应目前还鲜有研究。

收稿日期:2019-04-13

基金项目:海南省自然科学基金项目(318QN201);国家自然科学基金项目(31860130);海南大学科研启动基金项目(KYQD(ZR)1850)

作者简介:童梦莹(1994-),女。硕士研究生,主要从事作物抗逆栽培研究。E-mail:tongmy_07@163.com

通信作者:李长江(1989-),男。讲师,博士,主要从事作物高产高效栽培与低碳农作方面研究。E-mail:lichangjiang99@163.com

以5个热带地区常见樱桃番茄品种为研究对象,通过盆栽模拟试验研究淹水胁迫对樱桃番茄苗期形态指标及叶片叶绿素荧光特性指标的影响,明确樱桃番茄苗期对淹水胁迫的响应,将对热带地区反季节露地樱桃番茄抗涝栽培技术体系构建及农业的可持续发展提供重要的参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验在海南大学农学基地温室内进行,根据该地区多年平均9—10月(反季节露地樱桃番茄移栽后的苗期)的空气温度和湿度,设置温室白天、夜间温度分别为28、23℃,湿度控制值为82%。试验采用千禧、立新佳禧、红妃6号、红钻石、台湾赞美5个热带地区常用露地樱桃番茄品种为材料,经浸种催芽后播于育苗盘中,三叶一心时分苗,取生长健壮、长势一致幼苗移栽入直径×高度为15 cm×15 cm的花盆中,每盆1株。花盆土壤为海南大学农学基地番茄种植田0~20 cm土层土壤-砖红壤,其理化性质为碱解氮量122.90 mg/kg,速效磷量39.89 mg/kg,速效钾量0.19 g/kg,有机质量2.89%,pH值6.75。装盆前过2 mm筛,混匀后每盆装土2.5 kg,装后压实,根据当地农田施肥量进行土壤施肥。

1.2 试验方法

待幼苗长到四叶一心时,每个品种选择长势一致的樱桃番茄苗10株,平均分为2处理,分别为对照(CK)和淹水处理。采用双套盆法开始进行淹水处理,即将花盆放入20 cm×17 cm×19 cm(上口径×底径×高)的大盆中,水面超过土面2~3 cm,每天定时补水,模拟涝害;CK为正常水分处理,土壤含水率保持为土壤最大持水率的75%左右(每2天1次全盆称质量,根据要求进行补水)。每个品种的各处理分别对3个植株进行定株,作为3次重复,分别在淹水后第0、2、4、8、16天测定各处理樱桃番茄株高、茎粗、第4片展开叶的叶片叶厚、SPAD值;并在淹水第16天分别测定各处理固定植株的叶片数以及第4片叶的叶面积、叶绿素荧光参数,并进行取样测定根系形态指标;数据取各处理3个重复的平均值。

株高采用卷尺测量,茎粗、叶厚采用游标卡尺测量;叶面积采用卷尺测量第4片展开叶的长度和最大宽度,然后利用叶面积(cm^2)=叶长(cm)×叶宽(cm)×0.78公式计算;叶片数采用计数法,未完全展开叶不计算在内;叶片SPAD值采用手持SPAD仪测定,叶绿素荧光参数采用叶绿素荧光仪FluorCam7测定。测定时,先将叶片暗适应20 min,之后利用仪器测定相关参数;根长、根直径、根表面积和根体积等参数利用根系扫描仪扫描后,利用WinRHIZO根系分析软件得出。

1.3 数据处理分析

试验采用Microsoft Excel 2016进行数据分析,用Graphpad 6.02绘图。

2 结果与分析

2.1 淹水胁迫对樱桃番茄幼苗株高与茎粗的影响

樱桃番茄在淹水之后株高仍表现出逐渐增加的趋势,但与CK相比,淹水处理下各品种株高都有所降低,并且随着淹水时间的延长,与CK的差异逐渐达到显著(表1)。不同品种株高受到淹水胁迫的影响不同(表1),其中红钻石、台湾赞美都是在淹水第16天株高较CK显著下降了12%和10%;千禧和立新佳禧则是从淹水后第8天开始株高就显著低于CK,而红妃6号在淹水期间与CK相比差异不显著,表明淹水胁迫下千禧和立新佳禧品种株高更容易受到影响,红妃6号受到的影响则较小。

淹水之后,樱桃番茄幼苗茎粗和株高有相似性的规律,也表现出随着淹水天数的增加幼苗茎粗仍逐渐增加,但增加的幅度因品种不同而表现出不同的规律。立新佳禧、红妃6号和台湾赞美增加幅度较大,到淹水第16天,分别较淹水0天增加了26%、25%和42%,而千禧、红钻石品种则分别较淹水0天增加18%和13%(表2)。与CK相比,淹水处理的茎粗是小些,且随着淹水时间的延长,与CK的差距逐渐变大,逐渐达到显著水平。其中千禧、立新佳禧、红钻石品种幼苗从淹水第6天开始,淹水处理的植株茎粗显著低于CK,到淹水第16天,该3个品种的茎粗与CK相比分别显著降低21%、22%和21%;而红妃6号、台湾赞美幼苗的茎粗在淹水第16天才与CK之间出现显著差异,分别较CK下降12%和17%。可见淹水胁迫可以抑制樱桃番茄茎秆的增加速率,并且其对红妃6号和台湾赞美的抑制作用要小于其他3个品种。

表1 淹水胁迫对樱桃番茄株高的影响

cm

品种	处理	处理时间/d					
		0	2	4	6	8	16
千禧	CK	20.70±1.39a	21.25±1.26a	22.75±1.66a	23.38±1.44a	23.88±0.25a	26.00±0.82a
	淹水	20.70±1.39a	21.13±1.31a	21.63±1.49a	22.00±0.707a	22.75±0.87b	23.25±0.96b
	Δ	0.00	0.13	1.13	1.38	1.13	2.75
立新佳禧	CK	18.28±1.91a	19.00±1.78a	20.63±1.49a	21.75±1.26a	23.25±0.87a	25.00±0.41a
	淹水	18.28±1.91a	20.25±0.29a	20.75±0.87a	21.13±0.48a	21.75±0.65b	23.00±0.82b
	Δ	0.00	-1.25	-0.13	0.63	1.50	2.00
红妃6号	CK	20.15±1.66a	20.80±1.41a	22.38±1.11a	24.38±0.63a	24.63±0.75a	30.00±2.45a
	淹水	20.15±1.66a	21.00±1.08a	23.00±1.16a	24.50±1.08a	24.75±1.041a	29.25±1.26b
	Δ	0.00	-0.20	-0.63	-0.13	-0.13	0.75
红钻石	CK	22.58±1.82a	23.38±1.70a	24.75±1.85a	24.88±1.75a	25.88±1.55a	30.38±1.80a
	淹水	22.58±1.82a	22.38±0.48a	23.63±1.31a	23.38±0.63a	24.13±0.63a	26.75±0.96b
	Δ	0.00	1.00	1.13	1.50	1.75	3.63
台湾赞美	CK	15.95±1.67a	16.63±1.49a	18.63±1.03a	19.75±1.5a	20.50±1.47a	26.25±0.96a
	淹水	15.95±1.67a	17.00±1.41a	17.78±1.82a	19.38±1.70a	20.25±1.85a	23.63±1.11b
	Δ	0.00	-0.38	0.85	0.38	0.25	2.63

注 同列不同小写字母表示同一品种的2个处理差异显著($P<0.05$), Δ表示对照与淹水的差值, F_0 为初始荧光; F_m 为最大荧光; F_v/F_m 为PS II最大光化学效率; ETR 为光合电子传递速率; qP 为光化学淬灭系数; NPQ 为非光化学淬灭系数。下同。

表2 淹水胁迫对樱桃番茄茎粗的影响

cm

品种	处理	处理时间/d					
		0	2	4	6	8	16
千禧	CK	2.16±0.16a	2.24±0.14a	2.41±0.07a	2.55±0.11a	2.85±0.17a	3.32±0.12a
	淹水	2.16±0.16a	2.32±1.16a	2.37±0.09a	2.37±0.055b	2.45±0.08a	2.64±0.12b
	Δ	0.00	-0.08	0.04	0.19	0.40	0.69
立新佳禧	CK	1.79±0.09a	1.842 5±0.10a	2.19±0.04a	2.69±0.16a	2.81±0.14a	3.10±0.08a
	淹水	1.79±0.09a	1.922 5±0.05a	2.17±0.10a	2.38±0.16b	2.30±0.15b	2.42±0.15b
	Δ	0.00	-0.08	0.02	0.31	0.52	0.68
红妃6号	CK	2.07±0.10a	2.10±0.18a	2.19±0.19a	2.38±0.93a	2.61±0.18a	3.15±0.10a
	淹水	2.07±0.10a	2.10±0.09a	2.17±0.11a	2.37±0.16a	2.59±0.17a	2.79±0.17b
	Δ	0.00	-0.01	0.02	0.01	0.02	0.39
红钻石	CK	2.05±0.11a	2.13±0.13a	2.23±0.05a	2.29±0.05a	2.59±0.09a	2.97±0.11a
	淹水	2.05±0.11a	2.06±0.06a	2.08±0.06a	2.10±0.15b	2.17±0.21b	2.35±0.21b
	Δ	0.00	0.08	0.1425	0.20	0.42	0.62
台湾赞美	CK	1.58±0.21a	1.63±0.19a	1.93±0.14a	2.46±0.10a	2.58±0.11a	3.27±0.21a
	淹水	1.58±0.21a	1.68±0.23a	1.96±0.31a	2.37±0.17a	2.45±0.15a	2.72±0.16b
	Δ	0.00	-0.05	-0.03	0.09	0.13	0.55

2.2 淹水胁迫对樱桃番茄幼苗叶片数量、厚度及SPAD值的影响

从淹水处理第16天樱桃番茄的叶片数来看(图1),淹水后,樱桃番茄的叶片数与CK相比有一定的减少,但不同品种减少程度不同。其中红妃6号和台湾赞美的叶片数较CK没有显著减少,而千禧、立新佳禧和红钻石的叶片数显著低于CK,相比于CK都下降了25%,说明淹水条件可以显著抑制千禧、立新佳禧和红钻石叶片的分化与生长。同样,淹水处理各樱桃番茄的叶面积都要低于CK,且千禧、立新佳禧、红钻石和台湾赞美与CK的差异达到显著水平,与CK相比分别显著下降20%、14%和8%,表明淹水胁迫能够影响樱桃番茄的叶片生长,且对于红妃6号的影响要小于其他品种(不同小写字母表示同一品种的2个处理差异显著, $P<0.05$,下同)。

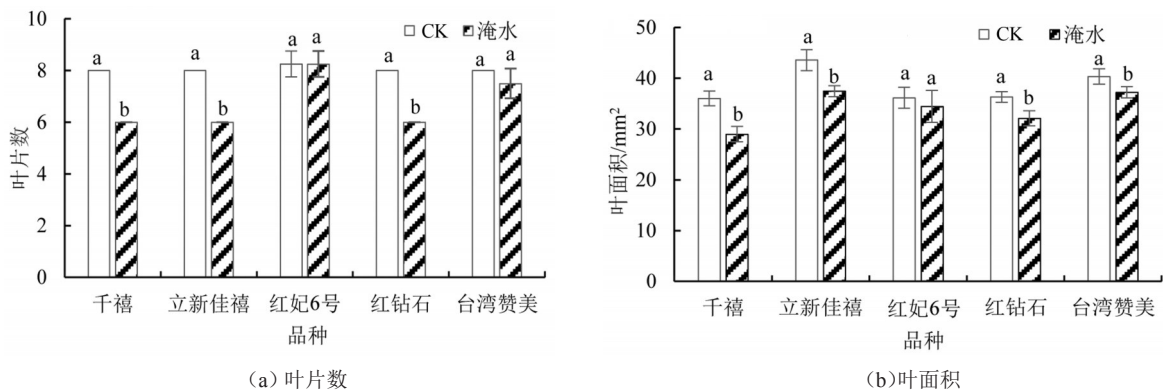


图1 淹水胁迫对樱桃番茄叶面积和叶片数的影响

淹水发生后,各樱桃番茄品种的叶片厚度都表现出先升高后降低的趋势(表3);但与CK相比,淹水处理下各品种的叶片厚度都较低。其中台湾赞美在淹水第4天时叶片厚度显著高于CK,到淹水第6天开始显著低于CK,千禧、红妃6号、红钻石都表现出淹水处理叶片厚度要低于CK,且都在第6天开始叶片厚度显著低于CK,立新佳禧受到淹水胁迫后叶片厚度与CK相比没有显著差异,到淹水第16天,樱桃番茄幼苗叶片厚度与CK相比没有显著变化,说明淹水胁迫前8天降低樱桃番茄的叶片厚度,超过8 d之后淹水胁迫对于樱桃番茄叶片厚度影响不大。

表3 淹水胁迫对樱桃番茄叶厚的影响

cm

品种	处理	处理时间/d					
		0	2	4	6	8	16
千禧	CK	0.10±0.01a	0.11±0.01a	0.12±0.01a	0.22±0.03a	0.09±0.02a	0.08±0.01a
	淹水	0.10±0.02a	0.11±0.02a	0.12±0.01a	0.11±0.01b	0.11±0.01a	0.09±0.06a
	Δ	0.00	0.00	0.00	0.11	-0.01	-0.01
立新佳禧	CK	0.11±0.01a	0.12±0.01a	0.14±0.01a	0.20±0.01a	0.11±0.02a	0.06±0.02a
	淹水	0.10±0.10a	0.11±0.10a	0.13±0.00a	0.18±0.02a	0.11±0.01a	0.08±0.02a
	Δ	0.01	0.01	0.01	0.02	-0.00	-0.02
红妃6号	CK	0.14±0.02a	0.15±0.02a	0.15±0.02a	0.20±0.02a	0.11±0.01a	0.09±0.02a
	淹水	0.13±0.01a	0.14±0.01a	0.15±0.01a	0.14±0.01b	0.11±0.10a	0.10±0.01a
	Δ	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	-0.01
红钻石	CK	0.14±0.02a	0.15±0.02a	0.18±0.02a	0.22±0.02a	0.15±0.01a	0.10±0.02a
	淹水	0.13±0.02a	0.14±0.02a	0.18±0.01a	0.15±0.02b	0.10±0.02b	0.10±0.04a
	Δ	0.01	0.01	0.00	0.07	0.05	0.00
台湾赞美	CK	0.09±0.02a	0.10±0.02a	0.12±0.01a	0.16±0.03a	0.10±0.01a	0.08±0.01a
	淹水	0.11±0.03a	0.12±0.03a	0.16±0.03b	0.11±0.01b	0.10±0.01a	0.07±0.02a
	Δ	-0.02	-0.02	-0.04	0.05	-0.00	0.01

樱桃番茄苗期经历淹水胁迫后SPAD值都呈下降的趋势,且随着淹水胁迫发生时间的延长,淹水胁迫处理下叶片的SPAD值与CK的差距逐渐变大(表4);在淹水第8天后,千禧品种叶片的SPAD值显著低于CK,淹水后第16天,立新佳禧、红钻石以及台湾赞美品种叶片SPAD值也都显著低于CK,而红妃6号在淹水后SPAD值与CK无显著差异,说明淹水胁迫会降低樱桃番茄的SPAD值。

表4 淹水胁迫对樱桃番茄SPAD值的影响

品种	处理	处理时间/d					
		0	2	4	6	8	16
千禧	CK	26.98±1.23a	27.35±1.34a	26.73±1.39a	26.00±2.19a	27.40±1.54a	25.2±1.92a
	淹水	26.98±1.23a	25.80±2.12a	26.40±2.00a	27.15±1.67a	23.53±1.40b	16.65±1.26b
	Δ	0.00	1.55	0.33	-1.15	3.88	8.55
立新佳禧	CK	27.45±0.74a	27.75±0.85a	27.53±2.12a	26.75±2.46a	28.13±2.64a	26.58±1.88a
	淹水	27.45±0.74a	28.48±1.45a	26.95±1.42a	27.28±1.31a	24.25±2.25a	17.58±2.23b
	Δ	0.00	-0.73	0.58	-0.53	3.88	9.00
红妃6号	CK	27.73±1.53a	27.95±1.51a	28.85±0.96a	30.43±0.85a	29.00±1.35a	27.17±2.08a
	淹水	27.73±1.53a	30.43±0.61a	30.33±0.59a	29.58±1.13a	29.85±0.63a	26.68±0.91b
	Δ	0.00	-2.48	-1.48	0.85	-0.85	0.49
红钻石	CK	28.18±1.94a	28.70±1.88a	28.00±1.69a	28.33±2.42a	27.40±1.06a	27.63±1.35a
	淹水	28.18±1.94a	28.00±1.55a	27.93±1.27a	28.40±0.81a	27.33±2.08a	17.47±0.46b
	Δ	0.00	0.73	0.08	-0.08	0.075	10.16
台湾赞美	CK	29.55±2.67a	29.68±2.68a	30.20±2.51a	28.23±0.98a	29.70±1.58a	27.02±1.82a
	淹水	29.55±2.67a	29.78±1.56a	28.55±0.66a	28.85±1.78a	28.08±1.66a	23.48±1.70b
	Δ	0.00	-0.10	1.65	-0.63	1.63	3.73

2.3 淹水胁迫对樱桃番茄幼苗根系形态特征的影响

淹水后,樱桃番茄根直径与CK相比没有显著差异,说明淹水胁迫对樱桃番茄苗期根系直径影响不大(图2)。不同品种的樱桃番茄受到淹水胁迫后总根长与CK相比规律不同,其中千禧与CK相比显著降低6%,红妃6号与CK相比显著升高10%,其他品种与CK相比都没有显著差异。根表面积与总根长表现出相似的规律,千禧与CK相比显著降低2%,红妃6号与CK相比显著升高11%,其他品种与CK相比没有显著差异。各品种樱桃番茄根体积与CK相比有一定的上升,其中红妃6号和台湾赞美与CK相比显著升高,分别升高12%和7%,其他品种与CK无显著差异。以上数据说明淹水胁迫可以抑制千禧的根系生长,促进红妃6号根系的生长。

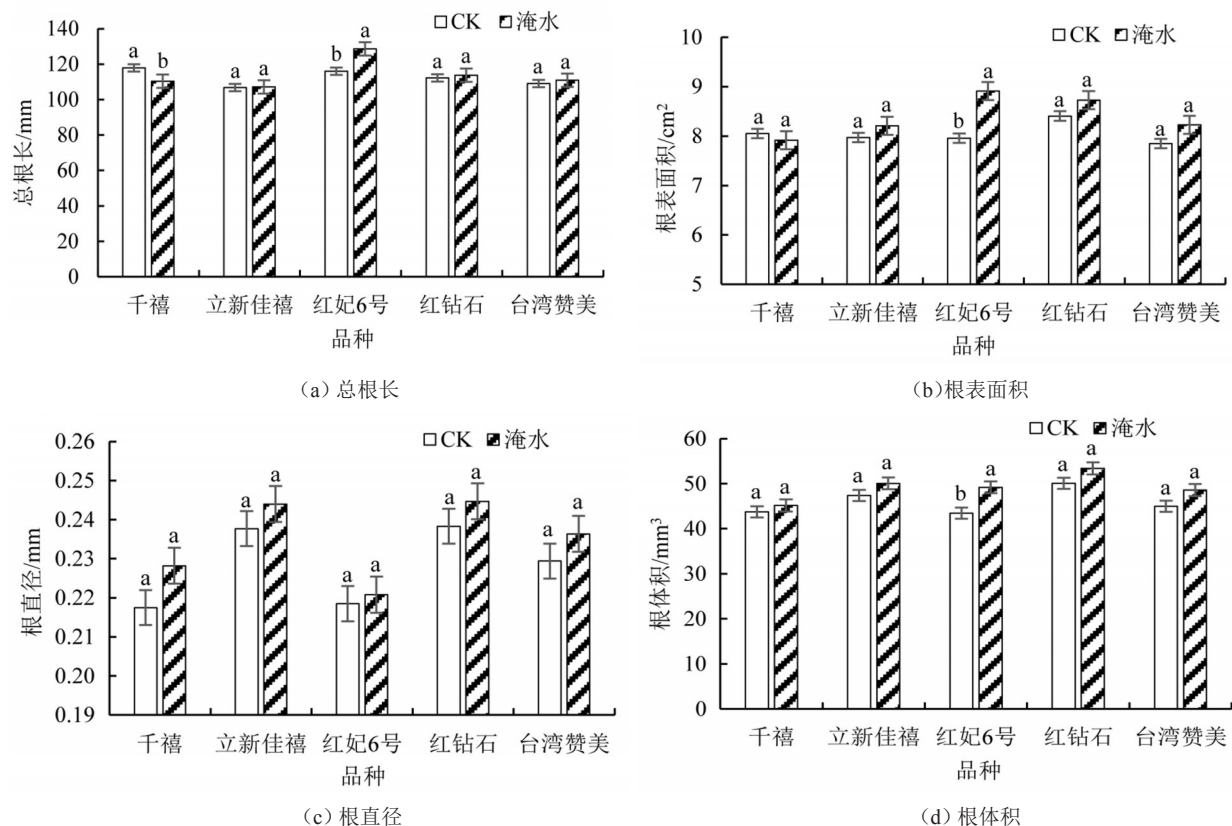


图2 淹水胁迫对樱桃番茄根系形态指标的影响

2.4 淹水胁迫对樱桃番茄幼苗叶片叶绿素荧光动力学参数的影响

淹水 16 d 后,樱桃番茄叶片的叶绿素荧光动力学参数受到影响,且品种不同影响程度不一样(表 5)。樱桃番茄受到淹水胁迫之后初始荧光(F_0)有所升高,其中立新佳禧和红钻石与 CK 相比分别显著上升 19% 和 17%,千禧、红妃 6 号和台湾赞美与 CK 相比没有显著变化。不同樱桃番茄品种受到淹水胁迫之后最大荧光(F_m)表现不一致,其中千禧受到淹水胁迫之后与 CK 相比显著降低 14%,立新佳禧与 CK 相比显著升高 12%,其他品种与 CK 无显著差异。樱桃番茄受到淹水胁迫之后最大光化学效率(F_v/F_m)与 CK 相比有所降低,其中千禧、立新佳禧和红钻石与 CK 相比分别显著降低了 12%、3%和 8%,红妃 6 号和台湾赞美与 CK 相比没有显著变化。表观电子传递速率(ETR)与光化学淬灭系数(qP)变化表现出相似的规律,与 CK 相比都有一定程度的下降,其中千禧、立新佳禧、红钻石和与台湾赞美与 CK 相比差异显著,而红妃 6 号没有显著差异。淹水处理下樱桃番茄叶片的非光化学淬灭系数(NPQ)与 CK 相比有所上升,其中红妃 6 号和红钻石较 CK 显著上升,千禧、立新佳禧和台湾赞美与 CK 相比没有显著差异。说明樱桃番茄经历淹水胁迫后红妃 6 号品种的叶绿素荧光动力学参数所受影响较小。

表 5 淹水胁迫对樱桃番茄幼苗叶片叶绿素荧光特性的影响

品种	处理	F_0	F_m	F_v/F_m	ETR	qP	NPQ
千禧	CK	55.15±6.44a	179.49±15.85a	0.69±0.01a	0.04±0.01a	0.17±0.03a	1.11±0.11a
	淹水	60.82±0.48a	154.69±3.36b	0.61±0.01b	0.02±0.00b	0.10±0.02b	1.08±0.15a
立新佳禧	CK	49.48±0.04b	176.39±0.43b	0.72±0.00a	0.05±0.01a	0.19±0.03a	0.79±0.07a
	淹水	61.03±4.63a	201.07±19.05a	0.70±0.01b	0.02±0.01b	0.09±0.02b	0.97±0.16a
红妃 6 号	CK	51.13±6.31a	168.39±13.59a	0.70±0.01a	0.05±0.01a	0.21±0.02a	0.99±0.02b
	淹水	46.29±10.68a	164.74±23.26a	0.72±0.03a	0.04±0.01a	0.16±0.04a	1.12±0.04a
红钻石	CK	44.52±3.29b	173.08±7.41a	0.74±0.02a	0.03±0.01a	0.12±0.01a	0.69±0.04b
	淹水	53.34±3.95a	167.58±9.72a	0.68±0.01b	0.02±0.01b	0.08±0.01b	0.97±0.09a
台湾赞美	CK	62.69±7.38a	195.72±11.39a	0.68±0.02a	0.04±0.00a	0.19±0.02a	0.91±0.06a
	淹水	54.55±8.47a	183.13±20.22a	0.70±0.02a	0.03±0.01b	0.10±0.01b	0.94±0.05a

3 讨论

植物光合能力影响植物个体的生长发育。淹水胁迫发生后,植物光合能力会降低,有机物合成受阻,会导致植株形态受到影响^[17-18]。叶绿素是植物进行光合作用的物质基础,其多少直接影响叶片的光合能力,在逆境发生时,叶绿素会受到不同程度的破坏,而导致其降低;而叶绿素荧光参数的变化能够反映叶片光合作用和热耗散的情况,是研究逆境对植物光合作用影响的一种重要方法^[19],且初始荧光(F_0)和最大荧光(F_m)等参数受到胁迫之后的变化可以表明植物反应中心受到影响^[20]。因此,植物叶片中 *SPAD* 值和叶绿素荧光参数能够反映植物光合能力,通过观测淹水胁迫下植物的 *SPAD* 值和叶绿素荧光参数变化可以了解植物光合能力受影响程度。研究表明^[14, 21-23],淹水胁迫可以降低植物叶片的 *SPAD* 值和光合速率,而在本研究中也发现,5个樱桃番茄品种幼苗受到淹水胁迫之后 *SPAD* 值都有所降低,这可能是因为淹水导致叶片中活性氧自由基积累,破坏叶绿体膜结构,进而加速叶绿素的分解,使叶绿素量降低;而叶绿素作为叶片光合作用的受体,叶绿素量的降低将会极大的降低植物的光合能力^[24]。淹水后,植株叶片 F_0 上升而 F_m 呈下降趋势^[25-26],淹水还会显著降低植物的最大光化学效率 F_v/F_m 、光化学反应中热能耗散大小 qP 以及 *ETR*,显著提升非光化学淬灭系数 *NPQ*^[27-28]。本研究中,5个樱桃番茄品种的幼苗在淹水后也有相似的规律, F_v/F_m 、 qP 以及 *ETR* 降低,*NPQ* 上升,差异程度因品种不同而有所区别,表明淹水发生后,PS II 原初光能转化效率及其潜在活力降低,进而光合电子传递与光合原初反应受到抑制,PS II 受到伤害,起到保护 PS II 系统的热耗散增加;然而红妃6号品种淹水处理后以上参数中 *NPQ* 显著上升,其他与 CK 没有明显差异,这也表明淹水后红妃6号品种可以通过增加 PS II 系统的热耗散,来减少 PS II 系统受淹水的影响。 F_0 能反映 PS II 中心的活性状况,立新佳禧、红钻石和千禧的 F_0 在受到淹水胁迫之后相比 CK 明显升高,而红妃6号与 CK 相比显著降低,说明立新佳禧、红钻石和千禧品种受到淹水胁迫之后 PS II 反应中心受到破坏,而红妃6号 PS II 反应中心在淹水胁迫之下 PS II 热耗散增加。以上也表明淹水胁迫影响了樱桃番茄幼苗叶片中叶绿素量及其光能转化从而影响幼苗的光合作用,由于红妃6号能够更好的保护光合系统免受伤害,进而表现出对淹水高的适应能力。

淹水胁迫能够降低植物的光合能力,进而影响植物有机物的合成,导致植物的生长受限,且随着淹水程度的加重植株受到抑制作用越明显^[17]。大豆、玉米等植株幼苗受到淹水胁迫之后,根系生长受到抑制,根系长度、根系表面积和根系体积与 CK 相比都有所降低^[29-30],而耐淹水的植株会通过延长根系、产生气生根等策略适应淹水环境来吸收更多的养分^[31]。淹水胁迫对樱桃番茄根系长度、根系表面积、根系直径及根系体积多表现出没有显著影响,这可能因为不同作物根系对淹水的敏感程度不同。其中红妃6号根长、根表面积和根体积与 CK 相比都显著增加,结合前人研究结果可说明淹水胁迫促进红妃6号的根系生长,红妃6号对淹水有较好的适应能力,而千禧与 CK 相比根长显著降低,说明淹水胁迫能更加容易的限制千禧的根系生长。这主要因为淹水胁迫会导致植物根系缺氧,不仅可以快速消耗储备的碳水化合物^[32]而且可以造成乙醇、乙醛等有毒物质积累,破坏蛋白结构及质膜结构,进而造成根系生长受限和活力下降,甚至整个根系死亡^[33]。因此,处在淹水环境中的樱桃番茄根系缺氧之后,根系活力所受影响及生长受到阻碍的具体机制还需进一步研究。

植物根系与地上部冠层作为一个整体,地上部叶片可以通过光合作用生产有机物供地上部和地下部生长使用,而根系可以通过吸收水分和养分等物质作为地上部生长的底物。淹水发生后,会打破地上部与地下部的平衡,光合作用受限,根系活力降低,导致物质能量合成和运输受阻,生长发育受到抑制^[14]。植物淹水后株高显著低于 CK,茎粗相比于正常条件生长的植株也会有所降低,另外淹水还会造成植物叶片发黄萎蔫,叶片出现卷曲,焦黄,且淹水后叶片长低于正常处理^[18]。本研究中淹水胁迫下樱桃番茄光合能力及根系活力降低,导致株高、茎粗、叶片数及叶面积也要低于 CK,这与前人的研究结果一致^[18];由于不同品种樱桃番茄对于淹水的抗性不同,红妃6号淹水胁迫后光合能力和根系所受影响最小,其株高、叶片数和叶面积与 CK 没有显著差异;而其他品种因淹水后光合能力及根系活力受到破坏,导致株高、茎粗、叶片数和叶面积都显著低于 CK。本研究还发现,樱桃番茄叶片的厚度受淹水影响很小。综合分析发现红妃6号苗期能够较好的适应淹水环境,而千禧品种苗期对淹水环境的适应能力最差。

本研究仅针对热带地区樱桃番茄苗期易受涝渍灾害的问题,以樱桃番茄幼苗作为试验对象探讨了淹水胁迫对樱桃番茄叶绿素荧光参数、地上部形态和根系形态的影响;然而淹水发生后,根部厌氧代谢产生的乙醇、乙醛等有毒物质及细胞中氧自由基增加^[35],都会导致植物根系损伤和养分缺乏。淹水后,植物叶绿素量

下降,电子传递系统和光合磷酸化受抑,会导致大量氧自由基产生,进而导致光合作用受抑。为减少活性氧自由基的毒害作用,植物已形成了相应的抗氧化防御系统^[4,36],从而减轻淹水胁迫下活性氧积累对植物的伤害,有利于使玉米^[19]、大豆^[29]等多种作物在农田涝渍后存活;涝渍害发生对作物的产量和品质也有显著的影响^[37-38]。因此,涝渍害对樱桃番茄苗期植株生理影响及其恢复效应研究是未来研究的一个重要方向;樱桃番茄苗期发生涝渍害是否会对樱桃番茄产量和品质产生影响也需要进行进一步研究,这也将为热带地区樱桃番茄抗涝害栽培提供重要的理论基础。

4 结 论

本研究探讨了淹水胁迫对5个品种的樱桃番茄苗期形态及叶片叶绿素荧光参数的影响,结果表明,樱桃番茄受到淹水胁迫之后,叶片 $SPAD$ 值显著降低,PS II活性中心受到破坏,光合能力下降;而根系形态所受影响较小;株高、茎粗、叶片数及叶面积会受到显著的抑制。综合分析发现,淹水胁迫下红妃6号能够较好的适应环境变化,而千禧受到的伤害最严重。

参考文献:

- [1] 韩奇, 赵从举, 黄秋如. 1971—2011年海南气候变化特点及其对农业的影响:以海南省儋州市为例[J]. 天津农业科学, 2013, 19(2): 45-49.
- [2] KUAI Jie, ZHOU Zhiguo, WANG Youhua, et al. The effects of short-term waterlogging on the lint yield and yield components of cotton with respect to boll position[J]. European Journal of Agronomy, 2015, 67: 61-74.
- [3] LI SANAI, A M TOMPKINS, ERDA LIN, et al. Simulating the impact of flooding on wheat yield-Case study in East China. Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 216: 221-231.
- [4] LORETI E, VAN VEEN H, PERATA P. Plant responses to flooding stress[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2016, 33: 64-71.
- [5] 孙乃东, 李航, 齐飞, 等. 淹水条件下不同pH值对2种丁香叶叶绿素荧光特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(9): 44-48, 75.
- [6] 张雪芹, 谢志南, 欧阳海波, 等. 淹水对番木瓜光合和叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国南方果树, 2011, 40(3): 29-32.
- [7] 晏军, 吴启侠, 朱建强. 中稻灌浆期对淹水胁迫的响应及排水指标研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 59-65.
- [8] 赵可夫. 植物对水涝胁迫的适应[J]. 生物学通报, 2003(12): 11-14.
- [9] NICOLA S, TIBALDI G, FONTANA E, et al. Tomato production systems and their application to the tropics [J]. Acta Horticulturae, 2009, 821: 27-34.
- [10] 刘维侠, 曹振木, 党选民, 等. 樱桃番茄及其栽培技术[J]. 热带农业工程, 2008, 32(1): 15-18, 22.
- [11] ELSE M A, JANOWIAK F, ATKINSON C J, et al. Root signals and stomatal closure in relation to photosynthesis, chlorophyll a fluorescence and adventitious rooting of flooded tomato plants[J]. Annals of Botany, 2009, 103(2): 313-323.
- [12] YIU J C, TSENG M J, LIU C W. Exogenous catechin increases antioxidant enzyme activity and promotes flooding tolerance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.)[J]. Plant and Soil, 2011, 344(1/2): 213-225.
- [13] ZHANG Yi, SHI Yu, GONG Haijun, et al. Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(10): 2151-2159.
- [14] 姜玉萍, 郝婷, 张兆辉, 等. 淹水对不同蔬菜生长和光合作用的影响[J]. 上海农业学报, 2013, 29(5): 97-100.
- [15] 胡宗利, 陈国平, 吕丽娟, 等. 环境胁迫和乙烯对番茄ACO1基因表达的影响[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2007, 30(1): 129-133.
- [16] 胡宗利, 陈国平, 姚楠, 等. 环境胁迫和乙烯对番茄PR-NP24基因表达的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(2): 156-160.
- [17] 王寒. 淹水胁迫对玉米幼苗生长的影响及生理响应机[D]. 合肥:安徽农业大学, 2018.
- [18] 童丽丽, 陈志骏, 王哲宇. 淹水胁迫对枇杷、木瓜幼苗的生长及光合作用的影响[J]. 金陵科技学院学报, 2015, 31(4): 57-60.
- [19] BI Jianjie, LIU Jiandong, YE Baoxing, et al. Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of the summer maize leaf [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2008, 31(1): 10-15.
- [20] 李娟娟, 许晓妍, 朱文旭, 等. 淹水胁迫对丁香叶绿素含量及荧光特性的影响[J]. 经济林研究, 2012, 30(2): 43-47..
- [21] 胡旭光, 杨兵兵, 石磊, 等. 小麦拔节期淹水对叶片光合特性的影响[J]. 生态科学, 2018, 37(5): 72-76.
- [22] HUTHER C M, MARTINAZZO E G, ROMBALDI C V, et al. Effects of flooding stress in 'Micro-Tom' tomato plants transformed with different levels of mitochondrial SHSP23.6[J]. Brazilian Journal of Biology, 2017, 77(1): 43-51.
- [23] 甄博, 周新国, 陆红飞, 等. 高温与涝交互胁迫对水稻孕穗期生理指标的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(3): 1-7.
- [24] CHEN Sheng, WANG Zhenchang, GUO Xiangping, et al. Effects of vertically heterogeneous soil salinity on tomato photosynthesis and related physiological parameters[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 249: 120-130.
- [25] PETERSON R B, SIVAK M N, WALKER D A. Relationship between Steady-State Fluorescence Yield and Photosynthetic Efficiency in Spinach Leaf Tissue[J]. Plant Physiology, 1988, 88(1): 158-163.
- [26] 杨桦, 张忠学, 郑恩楠, 等. 水分亏缺对寒区水稻荧光参数、产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 35-41.
- [27] 郭欣欣, 朱玉英, 侯瑞贤, 等. 淹水胁迫对不结球白菜幼苗光合特性的影响[J]. 植物科学学报, 2015, 33(2): 210-217.
- [28] CHRISTIANE F, SMETHURST, SERGEY S. Screening methods for waterlogging tolerance in lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(3): 335-343.

- [29] AMANA KHATOON, SHAFIQ REHMAN, AFSHIN SALAVATI, et al. A comparative proteomics analysis in roots of soybean to compatible symbiotic bacteria under flooding stress[J]. *Amino Acids*, 2012, 43(6): 2 513-2 525.
- [30] 王寒, 高敏, 金梦灿, 等. 淹水胁迫对玉米苗期根系形态与养分吸收累积的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2018, 45(3): 538-544.
- [31] 衣英华, 樊大勇, 谢宗强, 等. 模拟淹水对池杉和栓皮栎光合生理生态过程的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(12): 6 025-6 033.
- [32] SAIRAM R K, DHARMAR K, CHINNUSAMY V, et al. Waterlogging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*)[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2009, 166(6): 602-616.
- [33] KOZDROJ J, VAN ELSAS J D. Response of the bacterial community to root exudates in soil polluted with heavy metals assessed by molecular and cultural approaches[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32 (10): 1 405-1 417.
- [34] 范龙惠. 淹水胁迫对四个核桃品种幼苗生理生化特性的影响[D]. 合肥:安徽农业大学,2018.
- [35] MOHANTY B P, MOUSLI Z . Saturated hydraulic conductivity and soil water retention properties across a soil-slope transition[J]. *Water Resources Research*, 2000, 36(11): 3 311-3 324.
- [36] WU Qiangsheng, ZOU Yingning, HUANG Yongming. The arbuscular mycorrhizal fungus *Diversispora spurca* ameliorates effects of water logging on growth, root system architecture and antioxidant enzyme activities of citrus seedlings[J]. *Fungal Ecology*, 2013, 6(1): 37-43.
- [37] 张凤, 王媛媛, 张佳蕾, 等. 不同生育时期淹水对花生生理性状及产量、品质的影响[J]. *花生学报*, 2012, 41(2): 1-7.
- [38] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 淹水胁迫对夏玉米籽粒灌浆特性和品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(21): 4 435-4 445.

Effects of Waterlogging on Morphology and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Cherry Tomato at Seedling Stage

TONG Mengying, HUANG Jiaquan, LI Changjiang*

(Hainan Key Laboratory for Sustainable Utilization of Tropical Bioresource,
College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: **【Objective】** The aim of this study was to investigate the responses of cherry tomato to waterlogging at seedling stage, and to provide reference for waterlogging resistance cultivation of off-season cherry tomato in the tropical area. **【Method】** Five different varieties of cherry tomatoes were used as materials in pot culture experiment, with soil waterlogging treatment and normal moisture treatment as the control (CK). The morphological characteristics indexes of shoot and root and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of cherry tomato were measured in different days of waterlogging. And the effects of waterlogging on morphological characteristics and chlorophyll fluorescence parameters at seedling stage of cherry tomato were analyzed. **【Result】** Results showed that waterlogging significantly decreased the plant height, stem diameter, leaf area, leaf number and *SPAD* value of cherry tomato, but had no significant effect on leaf thickness. The root diameter of cherry tomato had no significant affects, but the root volume was significantly increased in HongFei 6 and TaiwanZanMei during waterlogging. Compared with CK, the root length and root surface area of HongFei 6 increased significantly, while that of QianXi decreased significantly during waterlogging. Additionally, waterlogging increased the initial fluorescence (F_0) and non-photochemical quenching coefficient (NPQ), and significantly decreased the maximum photochemical efficiency (F_v/F_m), apparent electron transfer rate (ETR) and photochemical quenching coefficient (qP) of cherry tomato leaves, besides HongFei 6. **【Conclusion】** The results above indicated that during waterlogging the growth and development and chlorophyll fluorescence in leaves of cherry tomato were seriously affected, but there had different effects among five different varieties. Among five varieties of cherry tomatoes, the strongest waterlogging resistance was HongFei 6, while the weakest waterlogging resistance was QianXi.

Key words: Cherry tomato; flooding stress; morphological characteristics; fluorescence parameters

责任编辑:赵宇龙