

赵卫星,康利允,高宁宁,等. 整枝留果对甜瓜植株衰老的调控效应及生理机制[J]. 江苏农业科学,2022,50(9):154-159.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.09.025

# 整枝留果对甜瓜植株衰老的调控效应及生理机制

赵卫星,康利允,高宁宁,常高正,梁 慎,李海伦,王慧颖,徐小利,李晓慧

(河南省农业科学院园艺研究所,河南郑州 450002)

**摘要:**为阐明不同整枝留果方式对甜瓜植株衰老的调控效应及生理机制。以厚皮甜瓜雪彤 8 号为材料,探讨 6 种整枝留果方式的库源建成对植株衰老的影响及植株衰老过程中生理特征的变化。结果表明:双蔓四瓜、单蔓三瓜处理增加了植株叶面积的荷载量,降低了叶片叶绿素和蛋白质含量,加速了叶片衰老;双蔓双瓜、单蔓单瓜的处理方式使植株功能叶保持适宜的荷载量,间接延长了功能叶的光合能力与寿命。与其他整枝留果方式相比,双蔓四瓜、单蔓三瓜处理方式库源比例过大,造成果实发育后期 CAT、SOD 和 POD 等 3 种保护酶活性降低较快,MDA 含量和 ETH 释放量增加,其根系的伤流量和有效根体积均较小,导致植株早衰。因此,整枝留果可通过改变植株的库源关系调控植株的衰老进程,过分增库会使体内固有的自然平衡状态被打破,丧失保护性酶清除活性氧及降低活性氧伤害的功能,质膜过氧化程度增高,乙烯释放量加剧;通过减少根系的伤流量和有效根体积,使根系得不到必需有机物的供应,削弱了地上部植株的生长。只有合理运用整枝留果方式,才能有效调控甜瓜生长发育,实现正常成熟,为进一步提高产量和品质奠定基础。

**关键词:**甜瓜;整枝留果;库源建成;衰老;生理机制

**中图分类号:**S652.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)09-0154-05

我国是世界上甜瓜种植面积较大的国家之一,据世界粮农组织统计,2019 年我国甜瓜栽培面积为 39.4 万  $\text{hm}^2$ ,产量为 1 355.7 万 t。但甜瓜生产中整枝留果还存在很大的盲目性,造成植株早衰和果实品质劣变现象时有发生,已成为制约我国甜瓜产业化发展的瓶颈问题。因此,深入研究不同整枝留果方式对植株衰老的调控效应,并进一步揭示其生理机制,对甜瓜高效栽培的节本增产具有重要的指导意义。

衰老是生物界普遍存在的现象,是生物新陈代谢、发展进化过程中不可分割的一部分,其进程受到许多内、外部因子的影响,库/源比就是其中之一<sup>[1]</sup>。整枝留果是调节库源关系的有效途径,间接影响植物的衰老进程。近年来,利用改变库源比例来调控植物衰老进程已在棉花、水稻、花生等作物上得到了证实<sup>[2-4]</sup>。甜瓜是一种蔓性生长植物,自

然生长状态下分枝性强,发叶数多,冠层易于郁闭,但通过采取合理的整枝留果方式,可调节甜瓜营养与生殖生长之间的平衡,使有机养分最大化流向果实,从而提高其产量和品质。目前,相关学者相继开展了整枝留果方式对甜瓜产量、品质、库源关系的影响及调控叶片衰老等方面的研究<sup>[5-8]</sup>。但从库源建成的角度揭示甜瓜植株衰老生理机制的研究还鲜有报道。本研究以厚皮甜瓜雪彤 8 号为材料,探讨不同整枝留果方式对源库建成的影响及植株衰老过程中生理特征的变化,以期阐明库源关系对植株衰老的调控效应及生理机制,为甜瓜高效栽培生产实践提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试品种为雪彤 8 号,为厚皮甜瓜,由河南省农业科学院园艺研究所选育。

### 1.2 试验方法

试验于 2019 年在河南省农业科学院试验基地塑料大棚内进行,大棚为南北方向,长 60 m、跨度 8 m、高 2.5 m,土质为黏土,采用吊蔓栽培,膜下滴灌。设置双蔓单瓜( $T_1$ )、双蔓双瓜( $T_2$ )、双蔓四瓜( $T_3$ )、单蔓单瓜( $T_4$ )、单蔓双瓜( $T_5$ )、单蔓三瓜

收稿日期:2021-07-06

基金项目:国家西甜瓜产业技术体系建设专项(编号:CARS-25);河南省科技攻关计划(编号:162102110099);河南省农业科学院自主创新项目(编号:2021ZC19)。

作者简介:赵卫星(1978—),男,河南上蔡人,博士,副研究员,主要从事西甜瓜育种及栽培生理研究。E-mail:wxzhao2008@163.com。

通信作者:李晓慧,硕士,副研究员,主要从事西甜瓜遗传育种与栽培生理研究。E-mail:lixiaohui80@126.com。

(T<sub>6</sub>)共 6 个处理(表 1),各个处理去除结果枝以外其他侧蔓。试验随机区组排列,每个处理小区面积 18 m<sup>2</sup>,株行距分别为 40 cm×100 cm,3 次重复。2 叶 1 心时(3 月 18 日)定植,定植前施鸡粪 45 000 kg/hm<sup>2</sup>,三元复合肥(纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量

分别为 17%、9%、19%) 1 200 kg/hm<sup>2</sup>,果实膨大期三元复合肥(纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 17%、9%、19%)150 kg/hm<sup>2</sup>。坐果期进行人工授粉,田间其他管理措施一致。

表 1 整枝留果方式处理

处理	整枝方式	留果方式
T <sub>1</sub>	主蔓 4 张真叶时打顶,选留 2 条强壮子蔓,子蔓 25 节打顶	1 条子蔓 10~13 节位孙蔓留 1 个瓜
T <sub>2</sub>	主蔓 4 张真叶时打顶,选留 2 条强壮子蔓,子蔓 25 节打顶	2 条子蔓 10~13 节位孙蔓各留 1 个瓜
T <sub>3</sub>	主蔓 4 张真叶时打顶,选留 2 条强壮子蔓,子蔓 25 节打顶	2 条子蔓 10~13 节位孙蔓各留 1 个瓜;17~19 节位孙蔓再各留 1 个瓜
T <sub>4</sub>	以母蔓作主蔓,25 节打顶	主蔓 10~13 节位子蔓留 1 个瓜
T <sub>5</sub>	以母蔓作主蔓,25 节打顶	主蔓 10~13 节位子蔓同时留 2 个瓜
T <sub>6</sub>	以母蔓作主蔓,25 节打顶	主蔓 10~13 节位子蔓同时留 2 个瓜;17~19 节位子蔓再留 1 个瓜

1.3 测定项目与方法

从开花坐果后 7 d(5 月 26 日)开始,每隔 10 d 进行相关指标的测定,每个处理取 3 株。

1.3.1 单株叶面积 参照陶洪斌等的打孔称质量法<sup>[9]</sup>测定。打孔时分别从距叶梢和叶柄 2 cm 处开始顺次打孔,注意避开中心叶脉和已经枯萎的部分。

1.3.2 有效根系体积 采用排水法<sup>[10]</sup>测定。

1.3.3 根系伤流量 参照金成忠等的收集法<sup>[11]</sup>略有改动。将植株距地面 10 cm 处剪断,迅速用脱脂棉把根部切口包好,套上塑料袋避免伤流液蒸发,收集后与收集前脱脂棉质量的差值即为根系伤流量。测定时间为 10:00 开始,16:00 结束。

1.3.4 生理指标测定 取坐瓜节位的功能叶进行相关生理指标的测定。其中,可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光化还原法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸显色法测定,以上均参照李合生的方法<sup>[12]</sup>进行测定。叶片乙烯、叶绿素含量,分别采用 MACView 便携式乙烯检测仪和 SPAD-502 PLUS 叶绿素仪测定,测定时间为 09:00—12:00。

1.4 数据统计

利用 Excel 2007 和 DPS 7.05 软件进行试验数据分析,差异显著性检验(α=0.05)采用 Duncan’s 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 整枝留果方式对叶面积承载量的影响

由表 2 可知,不同整枝留果处理甜瓜叶面积载

荷量有明显差异。在果实发育过程中,单位叶面积的果实数以 T<sub>6</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理相对较高,显著高于其他处理,T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 处理相对较低,显著低于其他处理。单位面积果干质量在果实发育前期(5 月 26 日)和后期(6 月 18 日)有所不同。果实发育前期,T<sub>4</sub> 处理的单位面积干果质量显著高于其他处理,T<sub>1</sub>、T<sub>5</sub> 处理相对较低,显著低于其他处理;果实发育后期,T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理单位面积果干质量相对较高,显著高于其他处理,T<sub>3</sub> 处理相对较低,除与 T<sub>6</sub> 处理间差异不显著外,均显著低于其他处理。结果表明,T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub> 处理方式造成库源比例过大,不利于果实干物质的积累;T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理促进了生殖生长,有助于提高甜瓜的产量。

表 2 不同整枝留果方式对甜瓜叶面积承载量的影响

处理	果实发育前期(5 月 26 日)		果实发育后期(6 月 18 日)	
	果实数/ 叶面积 (个/m <sup>2</sup> )	果干质量/ 叶面积 (g/m <sup>2</sup> )	果实数/ 叶面积 (个/m <sup>2</sup> )	果干质量/ 叶面积 (g/m <sup>2</sup> )
T <sub>1</sub>	1.08c	13.60c	0.80d	125.39b
T <sub>2</sub>	1.55b	19.12b	1.53c	136.06a
T <sub>3</sub>	3.82a	19.60b	3.36a	107.53c
T <sub>4</sub>	1.03c	22.53a	0.96d	135.73a
T <sub>5</sub>	2.13b	14.33c	1.71c	125.03b
T <sub>6</sub>	3.98a	17.87b	2.68b	122.95bc

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

2.2 整枝留果方式对甜瓜叶片衰老的影响

由表 3 可知,随着甜瓜植株的生长,各处理叶片 SPAD 值均呈现逐渐下降的趋势。其中,T<sub>1</sub>、T<sub>6</sub> 处理叶片 SPAD 值下降较快,T<sub>5</sub> 处理下降较慢;膨瓜后期(6 月 18 日),T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub> 处理叶片 SPAD 值相对较低,显著低于其他处理,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理间差异不显著。结果表明,T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub> 处理的整枝留果方式,形成了源小

库大的情形,加速了叶片衰老;其他整枝留果方式间接延长了功能叶的光合能力与寿命。

由表 3 可知,不同整枝留果处理甜瓜叶片蛋白质含量变化相同,随着果实发育均表现为先增加后下降的趋势,且果实膨大的前期和后期变化较快。从处理间的比较来看,在膨瓜前期(5 月 26 日),T<sub>6</sub> 处理可溶性蛋白质含量显著低于其他处理,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理间差异不显著;膨瓜后期(6 月 18

日),T<sub>2</sub> 处理可溶性蛋白质含量与 T<sub>4</sub> 间差异不显著,但显著高于其他处理;T<sub>6</sub> 处理含量最低,除与 T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub> 处理间差异未达显著水平外,显著低于其他处理。结果表明,功能叶片在开花坐果期到果实膨大期起到重要的营养供应作用,随果实膨大的进程,加快叶片向果实输送有机养分,加速叶片衰老;其中,T<sub>6</sub> 处理加速叶片的衰老作用较为明显,T<sub>3</sub> 处理次之,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理具有延缓植株衰老的作用。

表 3 整枝留果方式对甜瓜叶片 SPAD 值和可溶性蛋白质含量的影响

处理	SPAD 值				可溶性蛋白质含量(mg/g)			
	05-26	06-02	06-11	06-18	05-26	06-02	06-11	06-18
T <sub>1</sub>	81.44a	57.79b	54.04ab	53.07a	0.805 9a	1.043 9a	0.992 1a	0.604 5b
T <sub>2</sub>	71.09bc	66.22a	55.61a	53.01a	0.812 7a	1.045 0a	1.019 3a	0.636 6a
T <sub>3</sub>	61.69d	52.18c	50.96b	48.56b	0.846 4a	1.042 9a	0.982 5a	0.585 8bc
T <sub>4</sub>	68.05c	59.20ab	55.26a	52.83a	0.839 8a	1.026 5a	0.993 3a	0.613 6a
T <sub>5</sub>	66.49c	61.55a	54.75ab	53.98a	0.802 5a	1.027 4a	0.980 1a	0.598 3bc
T <sub>6</sub>	76.28ab	48.40d	47.99c	45.92b	0.733 6b	1.033 6a	0.921 1a	0.548 5c

2.3 整枝留果方式对甜瓜叶片相关保护酶活性的影响

由表 4 可知,不同整枝留果方式处理甜瓜叶片 CAT、SOD、POD 这 3 种酶活性有明显不同。CAT 活性呈现先下降后上升再下降的趋势,SOD、POD 则呈现先上升后下降的趋势。在果实发育前期,处理间 3 种酶的活性均未达显著差异水平,在果实发育后

期(6 月 18 日)表现出显著差异,其中,T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub> 处理酶活性均显著低于其他处理。结果表明,增源有助于增加果实发育前期 3 种保护酶的活性,可能是自身自我保护能力增强的一种表现,发育后期,叶片逐渐丧失功能作用,造成酶活性的衰减。其中,T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub> 处理库源比例过大,打破了固有的自然平衡状态,加速叶片酶活性的丧失,植株过早衰老。

表 4 不同整枝留果方式对甜瓜叶片相关保护酶活性的影响

处理	CAT 活性[ mg/(g·min) ]				SOD 活性(U/g)				POD 活性[U/(g·min) ]			
	05-26	06-02	06-11	06-18	05-26	06-02	06-11	06-18	05-26	06-02	06-11	06-18
T <sub>1</sub>	9.60a	8.54a	9.07a	7.90b	36.7a	48.0a	46.9ab	43.6a	48.21a	132.16a	187.14a	185.07b
T <sub>2</sub>	9.36a	8.05a	9.29a	8.16ab	35.2a	55.6a	51.3ab	41.4a	47.80a	135.76a	212.89a	203.04a
T <sub>3</sub>	9.56a	7.25a	8.65a	6.99c	28.3a	43.3a	40.1ab	27.8c	48.20a	158.40a	183.51a	157.61c
T <sub>4</sub>	9.29a	6.80a	8.61a	8.35ab	35.4a	59.1a	53.4a	50.1a	49.59a	143.42a	185.59a	179.09b
T <sub>5</sub>	9.75a	7.48a	8.46a	9.18a	30.7a	49.9a	45.4ab	42.4a	45.92a	132.72a	217.71a	199.35ab
T <sub>6</sub>	9.56a	6.31a	8.24a	7.20c	29.0a	45.3a	36.1b	30.1c	46.71a	123.91a	181.69a	155.77c

2.4 整枝留果方式对甜瓜叶片乙烯(ETH)释放量和 MDA 含量的影响

通过不同整枝留果方式来改变库源比例可影响叶片乙烯释放量。由表 5 可知,随果实发育的进程,叶片 ETH 释放量逐渐升高,其中 T<sub>6</sub> 处理升高较快,果实发育后期(6 月 18 日)达 1.42 μL/L,显著高于其他处理;T<sub>3</sub> 处理次之,除与 T<sub>5</sub> 处理差异不显著外,显著高于除 T<sub>6</sub> 外的其他处理;T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理升高较慢,果实发育后期(6 月 18 日)叶片 ETH 释放量除与 T<sub>1</sub> 处理差异不显著外,显著低于其他处理。结果表明,T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub> 处理促进了甜瓜植株叶片的衰老,

而 T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理延缓了叶片的衰老。

由表 5 可知,不同整枝留果处理甜瓜叶片 MDA 含量有明显差异,随果实发育进程,叶片 MDA 含量逐渐升高。其中 T<sub>3</sub> 处理升高较快,果实发育后期(6 月 18 日)达 0.68 μmol/g,显著高于其他处理,T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub> 处理次之;T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理升高较慢,果实发育后期(6 月 18 日)分别仅为 0.44、0.43 μmol/g,显著低于除 T<sub>1</sub> 处理以外的其他处理。结果表明,随果实发育进程,细胞质膜过氧化程度增高;T<sub>3</sub> 处理加重了质膜过氧化程度,促进了叶片的衰老;T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理减轻了质膜过氧化,延缓了叶片的衰老。

表 5 整枝留果方式对甜瓜叶片乙烯(ETH)和MDA含量影响

处理	ETH 释放量(μL/L)				MDA 含量(μmol/g)			
	05-26	06-02	06-11	06-18	05-26	06-02	06-11	06-18
T <sub>1</sub>	0.30b	0.35c	0.52c	0.73cd	0.27ab	0.33c	0.41c	0.46cd
T <sub>2</sub>	0.28bc	0.52b	0.66b	0.68d	0.28ab	0.41b	0.42c	0.44d
T <sub>3</sub>	0.26c	0.70a	0.89a	1.03b	0.31a	0.47a	0.59a	0.68a
T <sub>4</sub>	0.32b	0.47b	0.53c	0.66d	0.26b	0.30c	0.36d	0.43d
T <sub>5</sub>	0.34b	0.51b	0.59bc	0.90bc	0.28ab	0.38b	0.45c	0.52bc
T <sub>6</sub>	0.40a	0.52b	0.66b	1.42a	0.29ab	0.41b	0.49bc	0.58b

2.5 整枝留果方式对甜瓜有效根体积和伤流量的影响

由表 6 可知,随甜瓜果实的发育,有效根体积呈现先上升后下降的趋势,各处理均在果实发育中期(6 月 2 日)达到峰值;其中,T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理的有效根体积在测定时期内均高于其他处理,T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub> 处理在峰值后下降较快,果实发育后期(6 月 18 日)的有效根体积分别为 7.00、7.57、7.43 cm<sup>3</sup>,显著低于其他处理。由图 2-B 可知,随甜瓜果实的发育,根系伤流量呈现先上升后下降的趋势,各处理均在果实发

育中期(6 月 11 日)达到峰值,其中,以 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理的峰值相对较高,T<sub>3</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>5</sub> 处理的峰值相对较低。在果实发育前期(5 月 26 日),T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>1</sub> 处理间根系伤流量差异不显著,但显著高于其他处理,T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub> 处理间差异不显著;随果实发育进程,果实发育后期(6 月 18 日)各处理间差异不显著。结果表明,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理较有助于果实发育前期甜瓜根系的生长及活性的提高,使植株地上部保持较强的生命力;T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub> 处理削弱了地上部植株的生长。

表 6 整枝留果方式对有效根体积和伤流量的影响

处理	有效根体积(cm <sup>3</sup> )				伤流量(mg)			
	05-26	06-02	06-11	06-18	05-26	06-02	06-11	06-18
T <sub>1</sub>	6.83b	8.65b	8.00b	7.97b	225.23a	263.72ab	319.59a	140.00a
T <sub>2</sub>	9.93a	13.00a	11.67a	10.33a	218.00a	270.50a	357.25a	148.34a
T <sub>3</sub>	6.77b	8.40b	7.67b	7.00c	168.17b	221.00bc	327.84a	127.50a
T <sub>4</sub>	8.70a	11.85a	10.33a	9.00ab	234.50a	248.50b	335.42a	151.66a
T <sub>5</sub>	6.93b	8.67b	8.50ab	7.57c	185.14b	279.42a	336.50a	133.34a
T <sub>6</sub>	6.13b	8.50b	8.30b	7.43c	145.50b	177.67c	326.35a	131.34a

3 讨论

近年来,相关学者采用整枝或疏果等方法研究甜瓜的库源关系,为合理地整枝留果方式提供了相应的理论依据。陈书霞等研究发现,厚皮甜瓜爬地栽培时,双蔓双瓜是调节源库关系的适宜整枝方式<sup>[7]</sup>;孔祥义等研究认为,海南省采用简易竹木大棚进行哈密瓜类甜瓜生产,采用双蔓单果(主蔓留果)方式有利于产量和品质的提高<sup>[5]</sup>;胡敏等研究表明,对一个特定品种来说,都有一个源库协调的问题,过多或不及,均不利植株的生长<sup>[8]</sup>。但这些研究多数以果实和叶片个数代表植株的库和源,受个体叶面积大小的影响较大,具有一定的局限性。单位叶面积载荷量(单位叶面积的果个数和果干质量)可作为反映作物群体源库是否协调的依据<sup>[13]</sup>。本试验结果显示,不同整枝留果方式作为直接调控

库源的重要措施,对甜瓜源库大小和相互关系均具有显著的调节作用,在果实发育过程中,双蔓四瓜、单蔓三瓜处理方式单位叶面积果个数较高,但单位叶面积干果质量较低。而单蔓单瓜、双蔓单瓜处理方式单位叶面积果个数较低,则有利于果实干物质质量的积累。充分说明甜瓜植株在营养生长和生殖生长转化的过程中存在一个最佳平衡点,过分增源或减库则会引起库源关系的失衡,与董合忠等对棉花的研究结果<sup>[14]</sup>一致。因此,在甜瓜生产上,应采取合理的整枝留果方式,保持适当的库源比例,以达到优质高产的目的。

早衰是作物生产常见的熟相表现,叶片失绿和蛋白质水解是衡量叶片衰老的重要生理指标,真正衰老是叶绿素和可溶性蛋白含量减少<sup>[15]</sup>。本研究发现,双蔓四瓜、单蔓三瓜处理在果实发育后期叶片 SPAD 值和蛋白质含量相对较低,其他处理间叶

片 SPAD 值无显著差异,双蔓双瓜、单蔓单瓜处理蛋白质含量相对较高。表明双蔓四瓜、单蔓三瓜处理形成了源小库大的情形,造成营养物质供应不足,叶片负载量过大,加速植株衰老,这与孙红春等对棉花的研究结果<sup>[16]</sup>一致。其他处理方式均未造成植株过早衰老,但植株生长过程中,源小库大,在一定程度上也会造成植株生长过旺,导致植株贪青晚熟。从单位叶面积的果干质量来看,双蔓双瓜、单蔓单瓜处理方式更有利于植株正常生长。本研究还发现,在测定范围内,各个处理叶片 SPAD 值均逐渐下降,蛋白质含量先上升后下降,而胡敏等研究认为,可溶性蛋白降解早于叶绿素降解,可能是叶绿素和蛋白质在植物体内合成与降解速度受源库增减程度调控所致<sup>[8]</sup>,具体原因还有待进一步研究。

不同整枝留果方式不仅改变了源库比例,也会引起植株体内一系列生理变化发生改变,从而改变植株的衰老进程。本研究表明,相比其他整枝留果方式,由于双蔓四瓜、单蔓三瓜处理方式库源比例过大,造成果实发育后期 CAT、SOD 和 POD 等 3 种保护酶活性降低较快,MDA 含量和 ETH 释放量增加,这与其过早衰老相对应,王丽丽等在对花生和水稻的研究<sup>[2,17]</sup>上也得到了证实。植株过早衰老,体内固有的自然平衡状态被打破,丧失保护性酶清除活性氧及降低活性氧伤害的功能,质膜过氧化程度增高,乙烯释放量增大。植物衰老是一个复杂的生理过程,受激素、相关的衰老基因合成与编码等多种因素的影响和制约,仅从生理生化特性的变化探讨其衰老机制,具有一定的片面性,还需应用分子生物学和细胞生物学等技术手段,从分子水平、亚细胞水平上深入揭示不同整枝留果对甜瓜植株衰老的调控机制,进一步完善甜瓜衰老的相关基础理论。

根系是植株的重要组成部分,其生理活性的高低决定了地上部组织和器官生长发育的好坏<sup>[18]</sup>。保持强大而具有活力的根系是作物栽培的重要目标,其在一定程度上受地上部库源关系的影响和制约<sup>[19]</sup>。沈波等研究认为,根系伤流强度和生长量准确地反映了根系活性的变化,可作为反映根系活力的重要指标<sup>[20]</sup>。本研究通过对基部节间伤流量与有效根体积的测定结果显示,双蔓四瓜、单蔓三瓜处理方式根系的伤流量和有效根体积均较小,削弱了地上部植株的生长,可能是因为过分增源,根系得不到必需有机物的供应,导致根系衰老加快;而根系衰老又阻碍了矿物质和细胞分裂素的输送,促

使叶片进一步衰老。这充分说明,根系衰老是引发叶片衰老的诱因,与代惠萍对糜子的研究结果<sup>[21]</sup>一致。因此,栽培上可通过增施膨瓜肥,协调源库之间的矛盾,保障根际营养的供应,延缓地上叶片衰老。

#### 4 结论

相对于其他整枝留果方式,双蔓四瓜、单蔓三瓜处理增加了植株叶面积的荷载量,降低了叶片叶绿素和蛋白质含量,加速了叶片衰老;双蔓双瓜、单蔓单瓜使植株功能保持适宜库源比例,间接延长了功能叶的光合能力与寿命。库源的改变引起植株内一系列生理生化变化,与其他整枝留果方式相比,双蔓四瓜、单蔓三瓜处理库源比例过大,造成果实发育后期 CAT、SOD 和 POD 等 3 种保护酶活性降低较快,MDA 含量和 ETH 释放量增加,其根系的伤流量和有效根体积均较小,是引起甜瓜植株过早衰老的重要生理机制之一。整枝留果措施是调节源库比例、延缓早衰的有效手段,只有合理运用,才能有效调控甜瓜生长发育,实现正常成熟,进一步提高产量和品质。

#### 参考文献:

- [1] 李向东,王晓云,张高英,等. 花生衰老进程的研究[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1169-1175.
- [2] 王丽丽,李向东,周录英,等. 改变源库比对花生叶片和根系衰老的影响[J]. 花生学报,2005,34(3):1-5.
- [3] 董合忠,李维江,唐薇,等. 留叶枝对抗虫杂交棉库源关系的调节效应对叶片衰老与皮棉产量的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(5):909-915.
- [4] 黄升谋,邹应斌. 库源关系对杂交水稻根系及叶片衰老的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2002,28(3):192-194.
- [5] 孔祥义,李劲松,许如意,等. 不同整枝留果方式对甜瓜产量与品质的影响[J]. 中国瓜菜,2008,21(1):10-12.
- [6] 陈幼源. 植株调整对无土栽培网纹甜瓜不同品种产量和品质的影响[J]. 上海农业学报,2000,16(2):60-64.
- [7] 陈书霞,高晶霞,王生伟,等. 不同整枝留瓜方式对大棚厚皮甜瓜源库关系的调节效应[J]. 西北农业学报,2012,21(3):142-147.
- [8] 胡敏,唐瑞永,张玉鑫,等. 叶果比对甜瓜叶片衰老的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(4):295-300.
- [9] 陶洪斌,林杉. 打孔称重法与复印称重法和长宽校正法测定水稻叶面积的方法比较[J]. 植物生理学通讯,2006,42(3):496-498.
- [10] 彭廷,陈浩,陆云,等. 水稻伤流强度与根系形态和生理指标的关系研究[J]. 河南农业大学学报,2016,50(3):299-303.
- [11] 金成忠,许德威. 作为根系活力指标的伤流液简易收集法[J]. 植物生理学通讯,1959(4):51-53.
- [12] 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.

汪毅,郭海林,宗俊勤,等. 干旱胁迫及复水条件下 2 种抗旱性不同结缕草种质的生长和生理响应[J]. 江苏农业科学,2022,50(9):159-168.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.09.026

# 干旱胁迫及复水条件下 2 种抗旱性不同结缕草种质的生长和生理响应

汪毅,郭海林,宗俊勤,陈静波,李丹丹,李健建,刘建秀

(江苏省中国科学院植物研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**结缕草(*Zoysia japonica* Steud.)种内在抗旱性方面存在广泛的遗传变异,其抗旱机制值得深入探讨。本试验中,将 2 份抗旱性差异显著的结缕草种质(Z077:抗旱型;Z119:敏感型)栽植于装满河沙的聚氯乙烯管中,以研究其在干旱胁迫(停止浇水)及复水条件下的生长和生理响应。结果表明,干旱胁迫下,Z077 的叶片过氧化氢酶(CAT)活性维持在对照水平,同时抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性先上升后下降,基本高于对照,而 Z119 的 CAT 活性则在干旱胁迫下显著低于对照( $P < 0.05$ ),同时 APX 活性在整个处理过程中与对照差异不显著。干旱胁迫 9 d,2 份种质的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )均出现下降,与 Z077 相比,Z119 的降幅更明显;干旱胁迫 17 d,Z077 的  $G_s$  恢复至对照水平,而 Z119 的  $P_n$ 、 $G_s$  和  $T_r$  仍显著或极显著( $P < 0.01$ )低于对照;复水 18 d,Z077 的  $P_n$  表现出超补偿效应;整个处理过程中,Z077 的胞间  $CO_2$  浓度始终处于对照水平,Z119 则在干旱胁迫下显著或极显著高于对照。干旱胁迫下,Z077 的叶绿素浓度与对照无显著差异,Z119 在干旱 17 d 时显著低于对照。尽管在干旱胁迫期间,2 份种质的各项生物量指标并未与对照产生明显差异,但处理结束时,与对照相比,Z077 的总干质量未受影响同时根冠比显著增加,而 Z119 的总干质量则显著下降。上述结果表明,相对于 Z119,Z077 通过维持 CAT 活性、提高 APX 活性、维持较为活跃的光合气体交换和较高的叶绿素含量,能够更好地抵御逆境,减轻干旱胁迫对生长的不利影响。

**关键词:**结缕草;干旱胁迫;渗透保护;抗氧化酶;光合作用

**中图分类号:**S688.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)09-0159-10

近年来,受到气候变化及人类活动等多种因素的影响,水资源短缺状况日趋严峻,干旱缺水影响草坪草的生长,使草坪质量下降。因此,理解干旱

胁迫下草坪草的生理机制并阐明抗旱机制,有利于选育抗旱品种以及为供水受限情况下的生产管理提供指导<sup>[1]</sup>。结缕草(*Zoysia japonica* Steud.)为禾本科(Gramineae)画眉草亚科(Eragrostoideae)结缕草属(*Zoysia* Willd.)多年生草本植物,是已获得广泛应用的暖季型草坪草之一。该草种原产于东亚地区,在我国境内,其自然分布范围北起辽宁省,南达福建省,横跨多个气候带,涵盖多种土壤类型,是同属植物当中分布最广的一个种,种质资源具有丰

收稿日期:2021-07-19

基金项目:国家自然科学基金(编号:NSFC31328019);江苏省创新能力建设计划(编号:BM2015019-1)。

作者简介:汪毅(1974—),男,江苏南通人,硕士,实验师,研究方向为观赏植物抗逆性及景观应用。E-mail:1193804491@qq.com。

通信作者:刘建秀,博士,研究员,研究方向为草坪草遗传育种与繁育利用。E-mail:turfunit@aliyun.com。

[13]李健,赵宇,李锦锦,等. 不同基因型玉米叶片衰老与活性氧代谢的关系及其调控[J]. 华北农学报,2011,26(1):131-135.

[14]董合忠,牛曰华,李维江,等. 不同整枝方式对棉花源库关系的调节效应[J]. 应用生态学报,2008,19(4):819-824.

[15]王冰林,李媛媛,何启伟,等. 厚皮甜瓜叶片展开至衰老过程中保护酶活性及膜脂过氧化的变化[J]. 华北农学报,2007,22(5):93-96.

[16]孙红春,李存东,王文新,等. 初花期源库比变化对棉花下部“铃-叶系统”生理特征的影响[J]. 棉花学报,2004,16(5):286-290.

[17]潘晓华,王永锐. 水稻库/源比对叶片光合作用、同化物运输和分

配及叶片衰老的影响[J]. 作物学报,1998,24(6):821-827.

[18]杨建昌. 水稻根系形态生理与产量品质形成及养分吸收利用的关系[J]. 中国农业科学,2011,44(1):36-46.

[19]王熹,陶龙兴,黄效林,等. 灌溉稻田水稻旱作法研究——水稻的生育与生理特性[J]. 中国农业科学,2004,37(9):1274-1281.

[20]沈波,王熹. 籼粳亚种间杂交稻根系伤流强度的变化规律及其与叶片生理状况的相互关系[J]. 中国水稻科学,2000,14(2):122-124.

[21]代惠萍. 糜子植株衰老与活性氧代谢研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.