

王 洁,赵路宽,邓逸桐,等. 光合参数用于甘薯抗旱性评价的适用性研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(15):89-94.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.15.014

# 光合参数用于甘薯抗旱性评价的适用性研究

王 洁,赵路宽,邓逸桐,周志林,戴习彬,袁 蕊,曹清河,赵冬兰  
(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所/农业农村部甘薯生物学与遗传育种重点实验室,江苏徐州 221131)

**摘要:**通过使用 20% 聚乙二醇(PEG)-6000 模拟干旱环境验证光合参数对于甘薯抗旱评价的适用性,并优化甘薯抗旱评价方法。结果表明,通过丙二醛(MDA)含量和相对含水量(RWC)变化值鉴定了 3 个甘薯栽培种的耐旱性,24、72 h 干旱胁迫下甘薯抗旱性表现一致,均为潮薯 1 号抗旱性最强,徐薯 18 居中,福薯 7-6 最弱。分别测量 3、24 h 干旱胁迫处理下净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ ) 4 个光合参数的变化值,24 h 干旱胁迫下光合参数的变化与 MDA 含量和 RWC 变化一致。相关性分析结果表明,4 个光合参数与 MDA 含量、RWC 均有极显著相关性,其中  $C_i$  与 MDA 含量、RWC 的相关系数均最大,证明了 4 个光合参数均可作为抗旱评价指标。对 24 h 干旱胁迫下 4 个光合参数的变化值进行主成分分析,第 1 主成分的特征值为 3.90,累计贡献率达到 97.39%,基于主成分分析方法利用光合参数建立了甘薯抗旱性综合评价指数模型。

**关键词:**甘薯;抗旱评价;光合参数;丙二醛含量;相对含水量

**中图分类号:**S531.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)15-0089-05

甘薯是旋花科甘薯属的一种,被广泛用于粮食、饲料和工业原料。我国甘薯种植面积以及产量均为世界首位<sup>[1-2]</sup>,甘薯食用部分为块根和茎叶,甘薯块根含有大量淀粉、可溶性糖,丰富的维生素<sup>[3]</sup>。甘薯鲜食茎叶口感好、营养高<sup>[4]</sup>,与其他叶菜相比,甘薯在蛋白质、膳食纤维、矿物质等营养成分上更具优势<sup>[5]</sup>,甘薯茎叶富含多酚类物质,具有较强的抗氧化活性<sup>[6]</sup>,在蔬菜市场具有广阔的推广潜力。

干旱是严重危害农业的自然灾害,造成农作物减产甚至绝收<sup>[7]</sup>。虽然甘薯较耐旱,但生育前期缺水仍会造成严重减产。甘薯不同部位对水分胁迫的耐受能力有差异,由强到弱依次是茎柄、须根、薯块、叶片<sup>[8]</sup>,由此可见,干旱对甘薯食用部位影响较大。有试验表明,在人为轻度干旱胁迫处理下,甘薯减产 18.76%<sup>[9]</sup>。在干旱胁迫下,作物叶片会发生气孔关闭、蒸腾速率( $T_r$ )降低、光合作用减弱等一系列反应<sup>[10]</sup>。水分管理是缓解干旱危害的重要手段,但田间灌溉需要耗费大量的人力、物力,挖掘

农作物自身的抗旱潜力能够节约种植成本。抗旱品种选育过程中,抗旱鉴定评价是重要的一环。甘薯抗旱鉴定方法近年来有较大进展,基于产量的抗旱系数是较为常见的耐旱筛选指标,甘薯叶片数、蔓长、叶面积系数和生物量等农艺性状受干旱胁迫而降低,可以作为耐旱筛选指标<sup>[11]</sup>。叶片生理生化活性受干旱胁迫影响较大,甘薯叶片可溶性蛋白含量、叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量、腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)含量与抗旱性有显著相关性<sup>[12]</sup>,叶片相对含水量(RWC)与品种抗旱性呈极显著正相关,与丙二醛(MDA)含量呈极显著负相关,这些指标可用于甘薯品种抗旱性鉴定<sup>[13]</sup>。此外,有研究表明呼吸强度、脱落酸含量、脯氨酸含量以及抗氧化酶活性均与植物抗旱能力相关<sup>[14]</sup>。干旱胁迫促使气孔关闭,影响叶片  $CO_2$  吸收,降低光合酶活性,进而削弱光合作用,净光合速率( $P_n$ )<sup>[15-17]</sup>、气孔导度( $G_s$ )<sup>[18]</sup>、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )<sup>[19]</sup>、 $T_r$ <sup>[20-21]</sup>常用作抗旱评价指标,抗旱性好的植物在干旱胁迫影响下光合参数变化小,表现出良好的适应能力<sup>[22]</sup>。干旱胁迫对甘薯幼苗光合作用的影响已有初步研究,周忠等的试验中干旱条件为断水处理,随着干旱程度加深(0、2、4、6、8 d),甘薯幼苗叶片的  $P_n$ 、 $G_s$  和  $T_r$  均降低, $C_i$  先在 0~2 d 内降低,后在 2~8 d 上升<sup>[23]</sup>。

甘薯抗旱评价方法有多种,用 MDA 含量等生

收稿日期:2021-10-25

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFD1001300,2019YFD1001303);

国家现代农业产业技术体系(编号:CARS-10-B07)。

作者简介:王 洁(1994—),男,湖北汉川人,硕士,研究实习员,主要从事甘薯种质资源研究。E-mail:928935162@qq.com。

通信作者:赵冬兰,硕士,副研究员,主要从事甘薯种质资源研究。

E-mail:zhldl812@163.com。

理生化指标做抗旱鉴定虽然较为精确,但试验预处理费时费力,而产量等农艺性状指标受环境影响较大且试验周期长。相比其他抗旱评价指标,利用光合参数可在甘薯生育前期进行抗旱评价,还可用于指导田间水分管理,且兼具无损、速度快、可便携等优点。潮薯 1 号的高度抗旱性被多次报道<sup>[24-25]</sup>,徐薯 18 具有中度抗旱性,被认为是甘薯品种抗旱性鉴定的标准品种<sup>[26]</sup>。福薯 7-6 田间表现对水分较敏感,但抗旱能力评价未见报道。叶片 MDA 含量和 RWC 被广泛用于抗旱评价,本试验旨在用这 2 个指标验证光合参数应用于甘薯抗旱评价的可靠性,并构建一套快速便捷的甘薯品种抗旱评价方案,以期 为甘薯生产抗旱栽培提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验甘薯品种分别为潮薯 1 号、徐薯 18、福薯 7-6,2020 年 5 月底将甘薯块根种植于江苏徐淮地区徐州农业科学研究所院内基地,40 d 后取 20 cm 左右的甘薯茎端在 1/4 Hoagland's 营养液(室温)中进行生根培养 5 d。生根后每个品种选 30 株,将每个品种分为 6 组,其中 3 组用 20% 聚乙二醇(PEG)-6000(用 1/4 Hoagland's 溶液配制)胁迫处理,另 3 组用来作对照(CK),分别在 1/4 Hoagland's 营养液中培养,培养过程均在室温环境下进行,随后进行各项指标测定。叶片 MDA 含量和 RWC 测定的时间为处理后 24、72 h,光合参数指标测定时间为处理后 3、24 h。

1.2 试验方法

从胁迫处理组与对照组分别取 5 张倒 2 至倒 4 叶测定 MDA 含量与 RWC。MDA 含量采用比色法测定,试验流程详见苏州科铭生物技术有限公司 MDA 含量试剂盒说明书。RWC 测量方法:剪下处理和对照的叶片,称取叶片鲜质量(FW),然后将叶片置入水中过夜,称取叶片饱和质量(SW)。随后将叶片至于 85 ℃ 烘箱中烘干,记录干质量(DW),

$$RWC = [(FW - DW) / (SW - DW)] \times 100\%$$

光合参数测量仪器为便携式光合作用测量系统 LI-6400XT(LICOR, USA),测量参数设置:叶室温度为 28 ℃,大气 CO<sub>2</sub> 浓度为 400 μmol/mol,光照度为 1 000 μmol/(m<sup>2</sup> · s)。测量甘薯倒 2 至倒 4 叶,每张叶片取 3 个测量点,每个点测量 3 次。本试验使用差异值的绝对值(A)表示 PEG 胁迫组与对照组光合参数的差异程度,假设对照组数值为 A<sub>0</sub>,PEG 胁迫组数值为 A<sub>1</sub>,则 A = |A<sub>1</sub> - A<sub>0</sub>|。A 越大,PEG 胁迫组与对照组差异越大。与不抗旱的品种相比,抗旱能力强的品种的光合参数差异值 A 更小。

1.3 数据处理

表 1 至表 3 中的数值均为平均值 ± 标准误。数据整理、表格制作、柱状图绘制均使用 Excel 2019,使用 IBM SPSS Statistics 24 分析数据差异显著性(独立样本 t 检验),使用 SAS 9.2 软件对数据进行相关性分析与主成分分析。

2 结果与分析

2.1 3 种甘薯的抗旱性评价

如表 1 所示,经过 24 h 干旱胁迫,潮薯 1 号、徐薯 18、福薯 7-6 叶片的 MDA 含量分别增加 2.41、6.54、8.60 nmol/g;叶片的 RWC 分别减少 12.77%、14.20%、15.61%。经过 72 h 胁迫处理,潮薯 1 号、徐薯 18、福薯 7-6 叶片的 MDA 含量分别增加 4.75、8.97、10.84 nmol/g;叶片的 RWC 分别减少 13.25%、15.69%、19.29%。MDA 含量与 RWC 测定结果表明,潮薯 1 号、徐薯 18、福薯 7-6 对干旱胁迫敏感程度依次增加,抗旱能力依次降低。差异性分析结果表明,24 h 干旱胁迫后 3 个品种的 MDA 含量在 0.05 水平下差异显著,而经过 72 h 干旱胁迫后徐薯 18 与福薯 7-6 的 MDA 含量无显著差异,3 个品种的 RWC 经 24、72 h 处理差异均不显著。

2.2 干旱胁迫下甘薯叶片 4 个光合参数变化情况

由表 2 和表 3 可知,20% PEG 胁迫处理 3 h 后,

表 1 3 种甘薯叶片的 MDA 含量与 RWC 在干旱(20% PEG)胁迫下的变化值

品种	MDA 含量增加量(nmol/g)		RWC 减少量(%)	
	24 h	72 h	24 h	72 h
潮薯 1 号	2.41 ± 0.22a	4.75 ± 0.41a	12.77 ± 1.45a	13.25 ± 1.31a
徐薯 18	6.54 ± 0.53b	8.97 ± 0.40b	14.20 ± 2.76a	15.69 ± 3.79a
福薯 7-6	8.60 ± 0.51c	10.84 ± 0.62b	15.61 ± 1.22a	19.29 ± 1.69a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

$P_n$  均小于 0,表明呼吸作用强于光合作用。在 PEG 胁迫处理下, $G_s$  与  $T_r$  明显减少, $C_i$  明显增加。如表 4 所示,经过 3 h 的 PEG 胁迫处理,潮薯 1 号、福薯 7-6、徐薯 18 的  $P_n$  差异值分别为 5.25、4.04、4.06  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $G_s$  差异值分别为 0.04、0.04、0.02  $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $C_i$  差异值分别为 242.28、249.86、241.97  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,  $T_r$  差异值分别为 0.65、0.69、0.55  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。3 个甘薯品种 4 个光合参数的变异系数分别是 0.13、0.20、0.01、0.10,表明 3 个甘薯品种在短期的干旱胁迫下反应差异较小。将每一个光合参数差异值转化为百分比堆积柱形图(图 1),可以直观地反映出 3 个品种光合参数的变化趋势不一致。

24 h 干旱胁迫处理下潮薯 1 号、福薯 7-6、徐

薯 18 的  $P_n$  差异值分别为 3.24、7.47、4.44  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $G_s$  差异值分别为 0.02、0.07、0.03  $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,  $C_i$  差异值分别为 249.51、353.04、295.65  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,  $T_r$  差异值分别为 0.39、1.39、0.40  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。3 个甘薯品种 4 个光合参数的变异系数分别是 0.35、0.49、0.14、0.65,不同甘薯品种间,  $T_r$  差异最大,  $C_i$  差异最小。从光合参数差异值堆积柱形图(图 2)可以看出,潮薯 1 号 4 个光合参数的差异值均最小,徐薯 18 居中,福薯 7-6 光合参数的差异值均最大,表明潮薯 1 号抗旱能力最强,徐薯 18 次之,福薯 7-6 最弱,这与 MDA 含量、RWC 测定结果一致。与 3 h 干旱胁迫相比,24 h 干旱胁迫下的光合参数更能反映甘薯品种的抗旱能力。

表 2 3 h 干旱(20% PEG)胁迫处理下光合参数测量结果

品种	组别	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
潮薯 1 号	CK	3.56 ± 0.09	0.054 ± 0.002 7	328.17 ± 1.71	0.97 ± 0.024
	PEG	-1.69 ± 0.06	0.017 ± 0.000 3	570.44 ± 1.23	0.32 ± 0.006
福薯 7-6	CK	2.42 ± 0.08	0.056 ± 0.002 7	301.89 ± 2.06	1.00 ± 0.038
	PEG	-1.62 ± 0.02	0.017 ± 0.000 3	551.75 ± 1.77	0.32 ± 0.003
徐薯 18	CK	2.58 ± 0.24	0.040 ± 0.002 6	302.78 ± 7.60	0.85 ± 0.048
	PEG	-1.48 ± 0.03	0.015 ± 0.000 3	544.75 ± 1.85	0.31 ± 0.006

表 3 24 h 干旱(20% PEG)胁迫处理下光合参数测量结果

品种	组别	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
潮薯 1 号	CK	2.18 ± 0.06	0.034 ± 0.000 7	298.80 ± 5.00	0.59 ± 0.017
	PEG	-1.06 ± 0.01	0.010 ± 0.000 2	548.32 ± 1.67	0.20 ± 0.004
福薯 7-6	CK	6.31 ± 0.32	0.077 ± 0.005 7	254.69 ± 0.46	1.57 ± 0.034
	PEG	-1.15 ± 0.01	0.009 ± 0.000 1	607.74 ± 5.31	0.17 ± 0.002
徐薯 18	CK	2.69 ± 0.10	0.044 ± 0.001 1	291.29 ± 2.47	0.67 ± 0.032
	PEG	-1.75 ± 0.01	0.014 ± 0.000 4	586.94 ± 4.46	0.26 ± 0.006

表 4 干旱(20% PEG)胁迫处理下各光合参数的差异值

处理时间 (h)	品种	净光合速率差异值 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	气孔导度差异值 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度差异值 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	蒸腾速率差异值 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
3	潮薯 1 号	5.25	0.04	242.28	0.65
	福薯 7-6	4.04	0.04	249.86	0.69
	徐薯 18	4.06	0.02	241.97	0.55
	变异系数	0.13	0.20	0.01	0.10
24	潮薯 1 号	3.24	0.02	249.51	0.39
	福薯 7-6	7.47	0.07	353.04	1.39
	徐薯 18	4.44	0.03	295.65	0.40
	变异系数	0.35	0.49	0.14	0.65

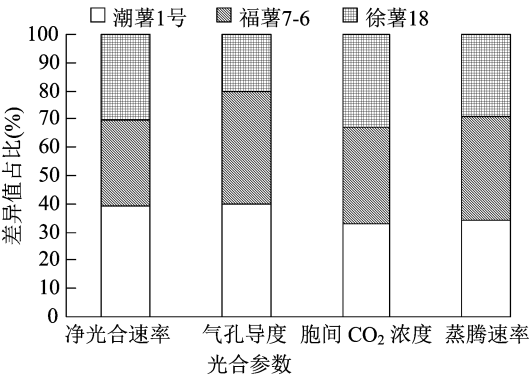


图1 3 h 干旱(20% PEG)胁迫下 3 个甘薯品种光合参数差异值堆积柱形图

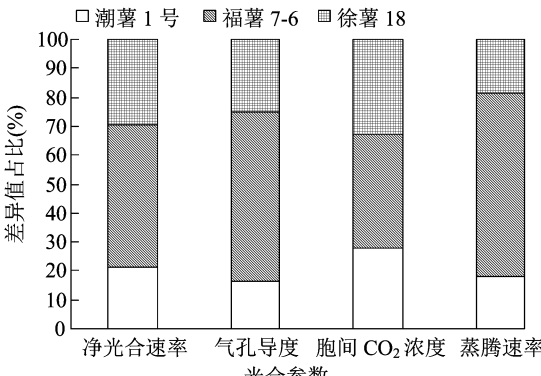


图2 24 h 干旱(20% PEG)胁迫下 3 个甘薯品种光合参数差异值堆积柱形图

2.3 抗旱指标间相关性分析

如表 5 所示,24 h 与 72 h 干旱胁迫处理下,MDA 含量与 RWC 之间的相关系数均很高,其中 72 h - MDA 含量与 72 h - RWC 之间的相关系数最小,为 0.946 2,说明 MDA 含量与 RWC 在干旱胁迫下变化一致。光合参数与 MDA 含量、RWC 的相关系数在不同的干旱胁迫处理时间下具有一致性, $C_i$  与 MDA 含量、RWC 之间相关系数较大,与 24 h -

MDA 含量、72 h - MDA 含量、24 h - RWC、72 h - RWC 之间的相关系数分别为 0.968 1、0.960 5、0.997 8、0.998 9; $T_r$  与 MDA 含量、RWC 之间的相关系数较小,与 24 h - MDA 含量、72 h - MDA 含量、24 h - RWC、72 h - RWC 之间的相关系数分别为 0.761 2、0.742 4、0.868 3、0.919 3。相关性分析结果表明,光合参数与 MDA 含量、RWC 高度相关,验证了光合参数用于甘薯抗旱评价的可靠性。

表 5 MDA 含量、RWC 与 4 个光合参数之间的相关性分析结果

项目	相关系数							
	$P_n$	$G_s$	$C_i$	$T_r$	24 h - MDA 含量	72 h - MDA 含量	24 h - RWC	72 h - RWC
$P_n$	1.000 0	0.996 1	0.983 5	0.963 7	0.906 7	0.894 3	0.969 2	0.991 0
$G_s$		1.000 0	0.963 6	0.983 6	0.865 7	0.851 1	0.943 6	0.975 2
$C_i$			1.000 0	0.899 5	0.968 1	0.960 5	0.997 8	0.998 9
$T_r$				1.000 0	0.761 2	0.742 4	0.868 3	0.919 3
24 h - MDA 含量					1.000 0	0.999 6	0.982 6	0.955 0
72 h - MDA 含量						1.000 0	0.976 9	0.946 2
24 h - RWC							1.000 0	0.993 5
72 h - RWC								1.000 0

2.4 主成分分析

光合参数主成分分析结果(表 6)显示,仅第 1 主成分的特征值大于 1,为 3.90。第 1 主成分累计贡献率达到 97.39%。根据主成分分析结果,确定了一个 24 h 干旱胁迫处理下的抗旱评价指数  $X$ , $X = 0.51P_n + 0.51G_s + 0.49C_i + 0.49T_r$ 。评价指数  $X$  越小,表示抗旱能力越强,计算得出潮薯 1 号、徐薯 18、福薯 7 - 6 的评价指数分别为 125.04、148.44、178.81,说明潮薯 1 号的抗旱能力最强,徐薯 18 次之,福薯 7 - 6 最弱。

3 讨论

甘薯属于低投入的高产稳产作物,水分欠缺是

表 6 光合参数的主成分分析结果

光合参数	第 1 主成分的载荷
24 h - $P_n$	0.51
24 h - $G_s$	0.51
24 h - $C_i$	0.49
24 h - $T_r$	0.49
特征值	3.90
累计贡献率(%)	97.39

制约甘薯产量的重要因素<sup>[27]</sup>。甘薯在当今生物质能源开发中扮演着重要角色,是一种大有可为的作物。我国人口众多,耕地面积有限,为了不与大宗作物争地,想要保障和扩大甘薯种植面积,可以利用沙地、滩涂、盐碱地等边际土地。甘薯常种植在

水肥条件较差的地块,培育并推广抗旱能力强的甘薯品种可以有效缓解农业用水压力。关于甘薯的抗旱鉴定指标,已有不少研究报道,MDA 含量增加值以及 RWC 减少值均与抗旱能力成反比,二者是进行植物抗旱能力评价的可靠指标<sup>[28]</sup>。本次试验发现在 24 h 干旱胁迫后 3 个品种的 MDA 含量变化值差异显著,但干旱胁迫时间增至 72 h 后,徐薯 18 与福薯 7-6 差异不显著,这可能是试验材料在逆境中自我调节所致。差异不显著也可能与试验材料偏少有关,虽然 3 个甘薯品种相对含水量变化值差异不显著,但是在 24 h 与 72 h 的干旱胁迫下变化趋势一致。抗旱指标在测量过程中往往具有较大不确定性,因此综合的抗旱指标比单一抗旱指标更能反映作物的抗旱能力。田小霞等基于主成分分析方法,将株高、生长速率等 13 个生理生化指标转化为 7 个独立评价指标,构建成黄花草木樨苗期综合抗旱评价模型<sup>[29]</sup>。李红宇等利用主成分分析法将 17 个单项指标的抗旱系数转化为 5 个独立的综合评价指标,用于旱地粳稻抗旱鉴定<sup>[30]</sup>。近年来,光学无损分析技术发展迅猛,极大地方便了光合参数的数据采集。李素等的研究表明,光合参数  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_r$  对干旱胁迫反应灵敏,可用于油菜苗期抗旱性快速鉴定<sup>[31]</sup>。对于甘薯,光合参数已初步应用于抗旱评价,龚秋等基于光合参数评价了 14 个紫甘薯的抗旱能力<sup>[32]</sup>。

本试验通过 MDA 含量与 RWC 变化评价了 3 个甘薯品种的抗旱能力,由强到弱依次为潮薯 1 号、徐薯 18、福薯 7-6。在先前的报道中,潮薯 1 号为高度抗旱品种,徐薯 18 为中度抗旱品种<sup>[26,33]</sup>,本研究结果与之一致。在合适的干旱(20% PEG, 24 h)胁迫条件下,甘薯叶片的光合参数( $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_r$ )能够准确反映甘薯的抗旱能力,适合作为甘薯品种抗旱评价指标。

#### 4 结论

MDA 含量、RWC 是常用的抗旱评价指标,本研究用二者证明光合参数适用于甘薯抗旱评价。在合适的干旱(20% PEG, 24 h)胁迫条件下,甘薯叶片光合参数( $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_r$ )能够准确反映甘薯的抗旱能力。并基于以上研究结果,建立了一个甘薯综合抗旱评价指数。

#### 参考文献:

[1] 陆建珍,汪翔,秦建军,等. 我国甘薯种植业时空布局分析及产

- 业发展建议[J]. 天津农业科学,2020,26(3):53-62.
- [2] 陆建珍,易中懿,徐雪高,等. 中国甘薯产业国际竞争力分析[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版),2021,39(2):35-39,70.
- [3] 张立明,王庆美,王荫墀. 甘薯的主要营养成分和保健作用[J]. 杂粮作物,2003,23(3):162-166.
- [4] 王文亮,杜方岭,徐同成. 甘薯茎叶的营养价值及其开发利用研究[J]. 中国食物与营养,2009,15(7):29-31.
- [5] 沈梦兰,庞林江,陆国权,等. 甘薯叶菜的营养保健及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品工业,2019,40(5):270-274.
- [6] 邱俊凯,隋伟策,木泰华,等. 58 个不同品种甘薯茎叶营养与功能成分的研究[J]. 核农学报,2021,35(4):911-922.
- [7] 纪瑞鹏,车宇胜,朱永宁,等. 干旱对东北春玉米生长发育和产量的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(11):3021-3026.
- [8] 肖利贞. 土壤干旱对甘薯生育及产量的影响[J]. 华北农学报,1995,10(2):106-110.
- [9] 王金强,李思平,刘庆,等. 喷施生长调节剂缓解甘薯干旱胁迫的机理[J]. 中国农业科学,2020,53(3):500-512.
- [10] Fulda S, Mikkat S, Stegmann H, et al. Physiology and proteomics of drought stress acclimation in sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. Plant Biology, 2011, 13(4):632-642.
- [11] 张明生,谢波,戚金亮,等. 甘薯植株形态、生长势和产量与品种抗旱性的关系[J]. 热带作物学报,2006,27(1):39-43.
- [12] 张明生,谢波,谈锋,等. 甘薯可溶性蛋白、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗旱性关系的研究[J]. 中国农业科学,2003,36(1):13-16.
- [13] 张明生,谈锋,张启堂. 快速鉴定甘薯品种抗旱性的生理指标及方法的筛选[J]. 中国农业科学,2001,34(3):260-265.
- [14] 陈丽飞,刘越,李雪萌,等. 植物抗旱性研究进展[J]. 吉林农业,2019(2):78-79.
- [15] 彭素琴,刘郁林. 不同品种金银花光合作用对干旱胁迫的响应[J]. 北方园艺,2010(19):191-193.
- [16] 常巍,李雪,周燕飞,等. 基于苗期叶片形态及光合特性的苜蓿种质资源抗旱性综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(5):57-68.
- [17] 胡继超,姜东,曹卫星,等. 短期干旱对水稻叶水势、光合作用及干物质分配的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(1):63-67.
- [18] 李银,刘锐敏,曾风,等. 6 种园林草本植物的抗旱光合特性[J]. 热带农业科学,2019,39(7):12-17.
- [19] 赵媛媛,石瑛,张丽莉. 马铃薯抗旱种质资源的评价[J]. 分子植物育种,2018,16(2):633-642.
- [20] 刘国荣,王芳芳,徐振华,等. 八宝景天等地被植物的抗旱光合特性研究[J]. 河北农业科学,2015,19(6):47-51.
- [21] 付士磊,周永斌,何兴元,等. 干旱胁迫对杨树光合生理指标的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(11):2016-2019.
- [22] 朱万泽,薛建辉,王金锡. 台湾桉木种源对水分胁迫的光合响应及其抗旱性[J]. 水土保持学报,2004,18(4):170-173,181.
- [23] 周忠,李杨,马代夫,等. 干旱胁迫对甘薯幼苗光合作用的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(6):2215-2216.
- [24] 王忠安,袁照年,李文卿. 水分胁迫对不同抗旱性甘薯膜脂过氧化和非酶促保护物质的影响[J]. 热带作物学报,2004,25(4):54-57.

杨海波, 杨荣华, 李承男, 等. 不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(15): 94–100.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.15.015

# 不同土壤改良措施对土壤特性和番茄生长发育及品质、产量的影响

杨海波, 杨荣华, 李承男, 马 兰, 曹云娥

(宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021)

**摘要:**为了改善化肥农药施用过量、蔬菜品质下降和产量不稳等问题,以番茄粉宴 1 号为材料,设置 8 个处理,即空白对照(CK)、撒施生物炭(B)、蚯蚓粪(V)、覆盖三叶草(T)、生物炭+蚯蚓粪(B+V)、生物炭+覆盖三叶草(B+T)、蚯蚓粪+覆盖三叶草(V+T)与生物炭+蚯蚓粪+覆盖三叶草(B+V+T),研究不同土壤改良措施对番茄生长及土壤特性的影响。结果表明,V+T 处理的土壤 pH 值最高为 7.52,V+T 处理显著提高了土壤全磷、全钾含量,与 CK 相比分别提高了 31.16%、34.41%。B+V+T 处理显著提高了土壤全氮、有机质含量,与 CK 相比分别提高了 40.91%、13.24%;降低了土壤 Pb、Cd、Cr、Hg 元素的含量;提高了土壤脲酶活性,与 CK 相比提高了 49.93%;提高了可溶性糖、维生素 C 含量,与 CK 相比分别提高了 23.91%、40.86%,产量比对照提高了 36.57%。生物炭+蚯蚓粪+覆盖三叶草处理可以增加番茄产量,提高番茄品质,改善土壤理化性质。综合分析认为,生物炭+蚯蚓粪+覆盖三叶草处理更有利于番茄产量和果实品质的提高。

**关键词:**土壤改良;番茄;生长发育;土壤特性;果实品质;产量

**中图分类号:** S641.206<sup>+</sup>.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)15-0094-07

随着设施栽培的逐步推广,设施蔬菜生产已成为不少地区的主导产业。然而种植户为了提高经济效益,大量使用农药、化肥,导致环境恶化<sup>[1]</sup>;此外,种植户种植的作物单一且存在连作现象,直接致使土壤的肥力下降,作物的品质、产量也随之下降,并对生态环境产生了严重威胁<sup>[2]</sup>。针对这个问题,添加有机肥,在合理的范围内施用化肥可以改

良土壤结构,提高土壤的蓄肥能力和土壤肥力效能<sup>[3]</sup>;在土壤中施用有机物料能够提高土壤微生物量碳、氮的含量以及土壤酶活性,并且随着有机肥的施用量增大,其展现出来的效果越明显<sup>[4]</sup>。此外,施用有机肥还能够对土壤微生物多样性的恢复起到一定的促进作用,有效地抑制连作障碍的发生进程<sup>[5]</sup>。

生物炭是枯枝落叶、作物秸秆等在缺氧的条件下通过高温裂解形成的稳定的固体富碳产物,具有巨大的比表面积,能够长时间地稳定土壤结构<sup>[6-7]</sup>。蚯蚓粪是蚯蚓处理有机废弃物的产物,是一种良好的土壤改良剂,富含多种有益微生物、腐殖质、氨基酸活性酶等天然活性物质。二者作为新兴的有机

收稿日期:2021-10-27

基金项目:宁夏重点研发计划(编号:2021BBF02025)。

作者简介:杨海波(1997—),男,四川蓬溪人,硕士研究生,主要从事蔬菜栽培与生理生态研究。E-mail:1848168644@qq.com。

通信作者:曹云娥,博士,副教授,主要从事作物生理与营养调控研究。E-mail:caohua3221@163.com。

[25]张明生,刘 志,戚金亮,等. 甘薯品种抗旱适应性综合评价的方法研究[J]. 热带亚热带植物学报,2005,13(6):469–474.

[26]张海燕,解备涛,汪宝卿,等. 不同甘薯品种抗旱性评价及耐旱指标筛选[J]. 作物学报,2019,45(3):419–430.

[27]许育彬,陈 越,付增光. 甘薯的抗旱生理及栽培技术研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(1):128–131.

[28]陈由强,朱锦懋,叶冰莹. 水分胁迫对芒果(*Mangifera indica* L.)幼叶细胞活性氧伤害的影响[J]. 生命科学研究,2000,4(1):60–64.

[29]田小霞,许明爽,郑明利,等. 黄花草木樨苗期抗旱性鉴定及抗

旱指标筛选[J]. 干旱区资源与环境,2021,35(10):120–127.

[30]李红宇,夏玉莹,刘梦红,等. 寒地粳稻抗旱性鉴定指标筛选及综合评价[J]. 西南农业学报,2021,34(6):1138–1145.

[31]李 素,李心昊,刘 晨,等. 三种类型油菜苗期抗旱性综合评价及抗旱指标筛选[J]. 分子植物育种,2021,19(12):4108–4116.

[32]龚 秋,王 欣,后 猛,等. 干旱胁迫对不同品系紫甘薯光合特性及干物质积累的影响[J]. 华北农学报,2015,30(3):111–116.

[33]刘恩良,曹清河,唐 君,等. 甘薯抗旱鉴定及生理响应研究[J]. 新疆农业科学,2016,53(6):999–1005.