

# 甜瓜和木薯间作模式对甜瓜生长及土壤酶活性的影响

孙彬杰<sup>1</sup>, 姜舒雅<sup>1</sup>, 李双江<sup>1</sup>, 陈文杰<sup>1</sup>, 邹天浩<sup>1</sup>, 宋 勇<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 湖南农业大学园艺学院 长沙 410128; 2. 湖南省马铃薯工程技术研究中心 长沙 410128; 3. 园艺作物种质创新与新品种选育教育部工程研究中心 长沙 410128; 4. 蔬菜生物学湖南省重点实验室 长沙 410128)

**摘 要:** 为研究甜瓜和木薯间作模式下甜瓜产量、品质、光合性能和土壤酶活性的变化,以甜瓜(湘甜薄脆)和木薯(南植 199)为试验材料,设计以甜瓜单作(CK)为对照,甜瓜和木薯间作时甜瓜 3 种植密度(T1、T2、T3,株距分别为 0.5 m、0.7 m、0.9 m)为处理。结果表明,与 CK 相比,T1 和 T2 处理降低了甜瓜蔓长与茎粗;T2 和 T3 处理下的可溶性固形物、可溶性糖、还原糖含量和果肉厚度,较 CK 分别降低 10.08%~10.40%、18.94%~20.44%、15.41%~33.36%和 8.99%~10.69%;T1 处理所测品质指标均与 CK 无显著性差异,T1 和 T2 处理下每 667 m<sup>2</sup>产值比 CK 处理增收 376.55~411.30 元;不同间作处理下甜瓜叶片的叶绿素含量、净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )均低于 CK 处理;T1 处理可显著提高土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性。综上所述,T1 栽培模式最优,为适合长沙产区的甜瓜和木薯间作模式。

**关键词:** 甜瓜;木薯;间作;光合性能;土壤酶活性;产量;品质

中图分类号: S652+S533

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)06-043-07

## Effects of intercropping patterns between muskmelon and cassava on growth and soil enzyme activities of muskmelon

SUN Binjie<sup>1</sup>, JIANG Shuya<sup>1</sup>, LI Shuangjiang<sup>1</sup>, CEHN Wenjie<sup>1</sup>, ZOU Tianhao<sup>1</sup>, SONG Yong<sup>1,2,3,4</sup>

(1. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China; 2. Potato Center of Hunan Province, Changsha 410128, Hunan, China; 3. Engineering Research Center for Horticultural Crop Germplasm Creation and New Variety Breeding, Ministry of Education, Changsha 410128, Hunan, China; 4. Key Laboratory for Vegetable Biology of Hunan Province, Changsha 410128, Hunan, China)

**Abstract:** To study the changes of yield, quality, photosynthetic performance and soil enzyme activity of melon under the intercropping mode between melon and cassava, in this experiment, muskmelon (Xiang sweet and crisp) and cassava (Nanzhi 199) were used as experimental materials. Muskmelon single cropping (CK) was used as control, and the planting densities (T1, T2, T3 plant spacing of 0.5 m, 0.7 m, 0.9 m) of muskmelon intercropping with cassava were used as treatment. The results show that compared with CK, T1 and T2 treatments reduced melon vine length and stem diameter. The soluble solid, soluble sugar, reducing sugar and pulp thickness under T2 and T3 treatments decreased by 10.08%-10.40%, 18.94%-20.44%, 15.41%-33.36% and 8.99%-10.69% compared with CK, respectively. There was no significant difference between T1 treatment and CK. The output value per 667 m<sup>2</sup> under T1 and T2 treatment increased by 376.55-411.30 Yuan compared with CK treatment. Chlorophyll, net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) of melon leaves under different intercropping treatments were lower than those under CK treatment. T1 treatment could increase the activities of catalase and sucrose in soil. In conclusion, T1 is the best cultivation mode, which is suitable for the intercropping mode of melon and cassava in Changsha.

**Key words:** Muskmelon; Cassava; Intercropping; Photosynthetic performance; Soil enzyme activity; Yield; Quality

收稿日期: 2022-10-12; 修回日期: 2023-03-31

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系建设项目 (CARS-11-HNSY)

作者简介: 孙彬杰, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培生理。E-mail: 1037249600@qq.com

通信作者: 宋 勇, 男, 教授, 研究方向为蔬菜和薯类作物栽培育种。E-mail: songyong1117@163.com

甜瓜(*Cucumis melo*)是葫芦科黄瓜属一年生蔓性草本植物,全球十大水果之一,栽培历史悠久,分布广泛,具有重要的营养价值<sup>[1]</sup>。随着经济的发展,人们对于甜瓜的需求量越来越大,扩大其种植面积和寻找新的合理有效的种植模式成为甜瓜高产优质的的重要途径。前人多项研究结果表明,相对于单一的传统种植模式,间作可提高土地利用效率,提高复种指数与提高作物产量<sup>[2]</sup>。同时,两种作物还可产生互补作用,减少肥料的投入,降低对生态系统多样性的破坏,减少病虫害的发生,提高生态系统的稳定性<sup>[3]</sup>。

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)属大戟科木薯属植物,为全球第六大粮食作物,具有耐旱、抗贫瘠、容易栽培和高产等优良特性<sup>[4-5]</sup>。但木薯生育期较长(8~11个月),初期生长缓慢,种植密度小(株行距约1.0 m×1.0 m)。木薯与甜瓜的间作模式利用了高、矮作物的有效搭配,有效地利用了土地,提高了复种指数,从而提高了种植效益<sup>[6-8]</sup>。陈仲南<sup>[6]</sup>在研究木薯间作西瓜时发现,间作比单作木薯每hm<sup>2</sup>增收26 400~48 600元。宋付平等<sup>[7]</sup>在木薯间作蜜本南瓜时发现间作比单作木薯产量提高38%左右。廖浩培等<sup>[8]</sup>调查发现,木薯套种香瓜的净收入是单作木薯的4.7倍。光能是植物产生有机物的能源,其强弱将直接影响到作物的光合生理特征和干物质质量<sup>[9]</sup>。一般认为高矮作物间作时,低位作物受到遮蔽的影响会降低叶绿素含量及净光合速率<sup>[10]</sup>。范元芳等<sup>[11]</sup>在研究玉米大豆间作时发现,由于间作大豆处于低位作物,虽然植株的茎、柄生物量显著增加,但叶生物量、叶绿素a含量、叶绿素总含量及净光合速率( $P_n$ )均显著低于单作大豆。有研究进一步指出,合理的栽培密度对缓解种内竞争、提高作物光合作用有一定的促进作用。吴娜等<sup>[12]</sup>在对马铃薯燕麦间作时发现,由于马铃薯处于低位,作物生长受到抑制,将马铃薯行数由2行增加到4行后改善了马铃薯的光照条件,提高了叶片叶绿素含量,此时燕麦光合生理特性表现最优。张昆等<sup>[13]</sup>在对玉米花生间作研究时也指出,提高花生行比可以保持花生叶片较高的光合能力,获得产量优势。前人研究表明,作物间作有助于改善土壤环境,提高生态系统稳定性<sup>[14-15]</sup>。苏必孟<sup>[14]</sup>在研究木薯间作花生时表明,间作模式的木薯理论最大氮素、磷素的累积量均高于单作木薯,间作模式中以2行木薯间作4行花生的种植模式木薯根际土壤的肥力最高。唐秀梅等<sup>[15]</sup>对木薯花生的间作试验结果显示,1行木薯

间作1行花生,木薯与花生行距为0.3 m间作时,木薯根际土壤过氧化氢酶活性较单作木薯提高59.20%。

可见,合理的种植方式对提高作物的光合性能、改良土壤结构、提高土壤品质具有重要作用。但目前对甜瓜与木薯间作时的土壤酶活性变化研究甚少。因此,笔者以甜瓜单作为对照,甜瓜和木薯间作时甜瓜3种植密度为处理,并对单作与间作模式下甜瓜产量、品质、光合性能及土壤酶活性进行测定分析,探究甜瓜和木薯间作模式下甜瓜产量、品质、光合性能和土壤酶活性的变化,为改进长沙产区甜瓜和木薯间作栽培技术提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验在湖南省长沙县湘研种业试验基地进行,试验田耕种前0~20 cm耕层土壤理化性质为:pH为5.83,有机质、全氮、全磷、全钾含量(w,下同)分别为24.7、1.38、0.81、9.9 g·kg<sup>-1</sup>,水解性氮、有效磷、速效钾含量分别为122、35.9、172 mg·kg<sup>-1</sup>。

甜瓜品种为湘甜薄脆(早熟杂交薄皮甜瓜,植株生长健壮),由湖南湘研种业公司提供。木薯品种为南植199(甜木薯品种,植株直立、株型紧凑、顶端一般不分枝或分枝极少),由广西武鸣农技推广站提供。

### 1.2 试验设计

试验共置4个处理,分别为单作甜瓜(用CK表示),甜瓜和木薯间作时甜瓜的3种不同种植密度(用T1、T2、T3表示),采用1.6 m包沟起垄种植,垄宽1.0 m,沟宽0.6 m,种植前统一施用(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 12-5-25)复合肥。木薯种植方式采用宽窄行种植,木薯宽行为1.0 m,窄行为0.6 m,木薯株距均为1.0 m。甜瓜和木薯间作处理为2行木薯1行甜瓜,甜瓜均在垄上种植,木薯与甜瓜之间行距均为0.5 m。T1处理的甜瓜株距为0.5 m,T2处理的甜瓜株距为0.7 m,T3处理的甜瓜株距为0.9 m。种植设计参照图1。试验按随机区组排列,每处理3次重复,共计12个小区,小区面积为1.6 m×10 m=16 m<sup>2</sup>。甜瓜于2022年3月11日育苗,4月14日移栽,6月23日收获,整个生长周期共105 d;木薯于2022年4月14日种植,11月25日收获,木薯与甜瓜的共生生长期为71 d。

### 1.3 测定项目

1.3.1 甜瓜生长指标的测定 每个处理选取健康、

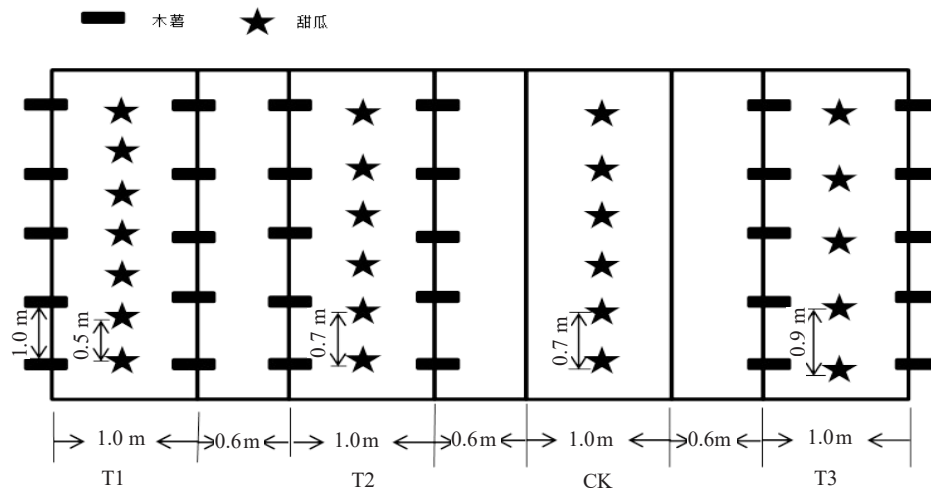


图1 田间布置图

无病虫害且具有代表性的植株5株,测量蔓长、茎粗。蔓长用卷尺测定甜瓜茎基部至生长点的长度,用游标卡尺测定茎基部的茎粗。

1.3.2 甜瓜光合指标的测定 在甜瓜移栽20 d后,每10 d从小区随机选取5株健康、无病虫害且具有代表性的甜瓜植株,采用LI-6400 XT 光合仪测定甜瓜功能叶的净光合速率( $P_n$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T$ );采用叶绿素测定仪测定甜瓜功能叶的叶绿素含量。

1.3.3 土壤酶活性的测定 取土时间:于甜瓜种植前(3月26日)、甜瓜收获期(6月23日)分别采集土样。

取样方法:甜瓜单作时,在两株甜瓜中间采用五点交叉取样法;间作时,在木薯与甜瓜中间采用五点交叉取样法;每个取样点在垂直方向上取0~20 cm土层。样品放于37℃烘干箱内烘干,烘干后分别过40目与60目筛,供土壤酶活性的分析测定使用。

测定方法:采用靛酚蓝比色法测定土壤脲酶活性,采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性,采用高锰酸钾滴定法测定土壤过氧化氢酶活性,采用磷酸苯二钠比色法测定土壤酸性磷酸酶活性<sup>[16-17]</sup>。

1.3.4 作物产量与品质的测定 甜瓜小区产量测定:自甜瓜采收期开始记录每小区甜瓜实际产量。

甜瓜经济产量测定:根据每小区甜瓜实际产量,折算每667 m<sup>2</sup>产量。

甜瓜667 m<sup>2</sup>产值测定:根据其经济产量结合当时甜瓜价格以4元·kg<sup>-1</sup>计算。

木薯单株产量测定:收获时各处理随机选取10

株木薯,实测鲜薯块根质量。

木薯经济产量测定:收获时各处理随机选取10株木薯,实测鲜薯块根质量,根据小区的株数折算每667 m<sup>2</sup>产量。

木薯667 m<sup>2</sup>产值测定:根据其经济产量结合当时鲜薯价格以800元·t<sup>-1</sup>计算。

甜瓜品质测定:采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量<sup>[18]</sup>,采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量<sup>[19]</sup>,采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素C含量<sup>[20]</sup>,采用直尺直接测定果肉厚度,采用手持测糖仪测定果实中心、边部可溶性固形物含量,采用3,5-二硝基水杨酸法测定还原糖含量<sup>[21]</sup>。

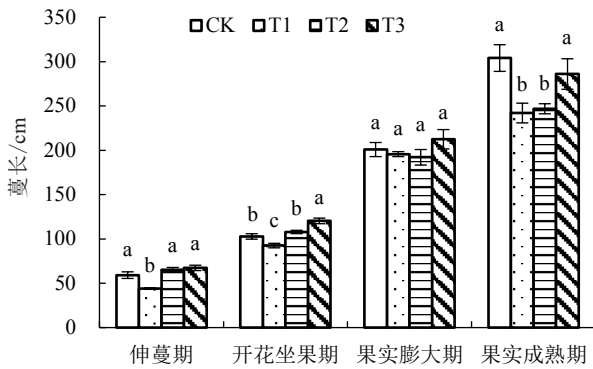
## 1.4 数据处理

采用Excel 2010软件对数据进行处理和作图,用SPSS 26软件的ANOVA对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同间作模式对甜瓜生长特性的影响

2.1.1 不同间作模式对甜瓜蔓长的影响 由图2可知,在甜瓜所有测定时期,T1处理各个时期甜瓜蔓长均低于CK,仅果实膨大期与CK无显著差异,其他时期与CK均存在显著差异;T2处理在果实膨大期和成熟期均低于CK;T3处理仅在果实成熟期低于CK且无显著差异。在伸蔓期,T1处理甜瓜蔓长比CK处理显著降低了25.60%,其他处理与CK无显著差异。在开花坐果期,T1处理甜瓜蔓长比CK处理显著降低了10.05%,T3处理甜瓜蔓长比CK处理显著提高了17.02%。在果实膨大期,各处理无显著差异。在果实成熟期,T1和T2处理甜瓜蔓长分别比CK处理显著降低20.39%和18.82%。



注:同一生长期不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

图2 不同间作模式对甜瓜蔓长的影响

从以上结果可以看出, T1 和 T2 处理降低了甜瓜蔓长, T3 与 CK 处理无显著性差异。

2.1.2 不同间作模式对甜瓜茎粗的影响 由图3可知, 在甜瓜伸蔓期, 各间作处理甜瓜茎粗均显著低于 CK 处理; 在开花坐果期, T3 处理甜瓜茎粗比 CK 处理显著提高了 15.38%, 其他处理与 CK 无显著差异; 在果实膨大期, 各处理甜瓜茎粗无显著差异; 在果实成熟期, T3 处理甜瓜茎粗比 CK 处理显著提高 27.52%。从以上结果可以看出, T3 处理提高了甜瓜从开花坐果期到果实成熟期的茎粗。

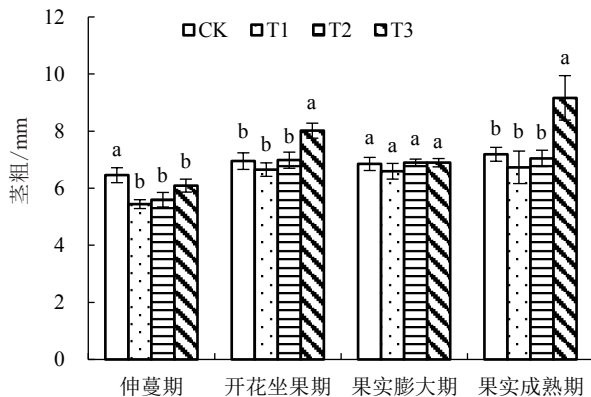


图3 不同间作模式对甜瓜茎粗的影响

## 2.2 不同间作模式对甜瓜光合特性的影响

2.2.1 不同间作模式对甜瓜叶绿素相对含量的影响 由图4可知, 甜瓜叶片的叶绿素相对含量随生育期的推进呈现出先升高后降低的趋势, 均在开花坐果期达到最高。间作处理的甜瓜叶片的叶绿素相对含量均低于 CK 处理, 但各处理间差异不显著, 表明间作处理对甜瓜叶绿素相对含量无显著影响。

2.2.2 不同间作模式对甜瓜净光合速率( $P_n$ )的影响 由图5可知, 各处理甜瓜叶片的  $P_n$  随生育期的推进均呈现出先升高后降低趋势, 均在果实膨大期

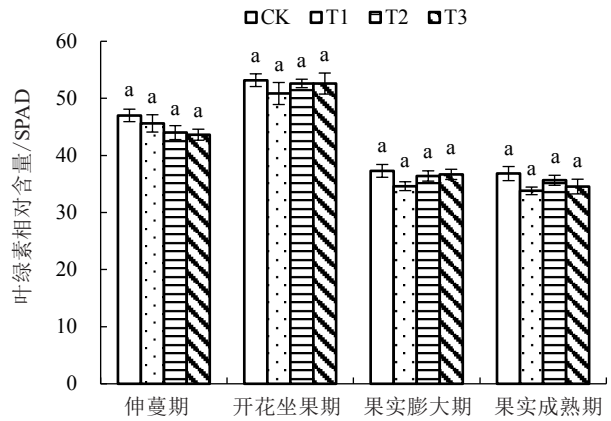


图4 不同间作模式对甜瓜叶绿素相对含量的影响

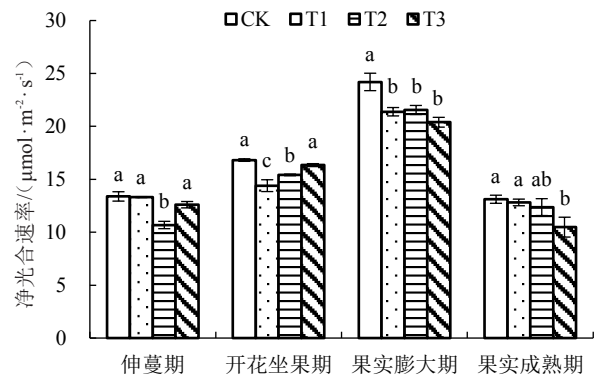


图5 不同间作模式对甜瓜净光合速率的影响

达到最大值。在各生长期, 间作各处理的  $P_n$  均低于 CK, T1 和 T2 处理的  $P_n$  在甜瓜开花坐果期和果实膨大期均与 CK 存在显著差异, 说明间作处理降低了甜瓜叶片的  $P_n$ 。在甜瓜伸蔓期, T2 处理的  $P_n$  比 CK 显著降低了 20.17%, 其他处理与 CK 无显著差异; 在开花坐果期, T1、T2 处理的  $P_n$  分别比 CK 显著降低了 14.37%、8.33%; 在果实膨大期, 间作处理的  $P_n$  显著低于 CK 11.65%~15.74%; 在果实成熟期, T3 处理的  $P_n$  比 CK 显著降低 18.21%, 其他处理与 CK 无显著差异。

2.2.3 不同间作模式对甜瓜气孔导度( $G_s$ )的影响 由图6可知, T1 和 T3 处理甜瓜叶片的  $G_s$  随生育期的推进呈现出先升高后降低的趋势, 均在开花坐果期达到最大值。在甜瓜伸蔓期, T2 处理的  $G_s$  显著低于其他处理, 比 CK 显著降低了 30.64%; 在开花坐果期, 间作处理的  $G_s$  均显著低于 CK, 不同间作处理间无显著差异; 在果实膨大期与果实成熟期, T3 处理的  $G_s$  比 CK 分别显著降低了 20.89% 和 45.04%, 其他处理均与 CK 无显著差异。说明间作处理显著降低了甜瓜伸蔓期与开花坐果期叶片的  $G_s$ 。

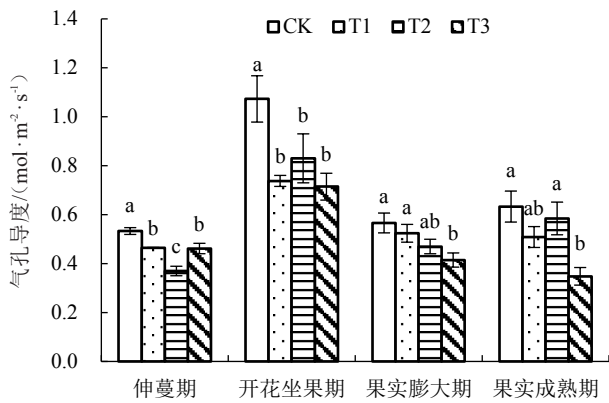


图6 不同间作模式对甜瓜气孔导度的影响

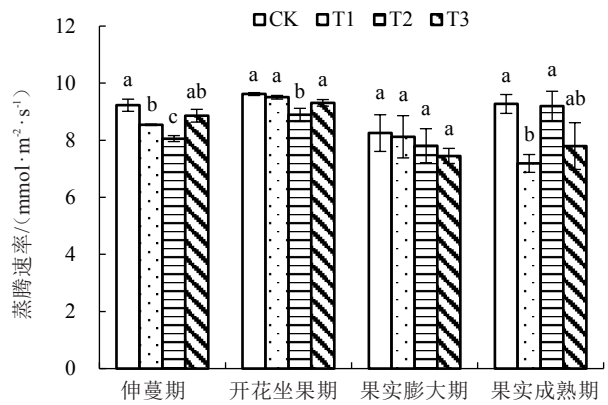


图8 不同间作模式对甜瓜蒸腾速率的影响

2.2.4 不同间作模式对甜瓜胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(C<sub>i</sub>)的影响 由图7可知,CK、T1和T2处理的甜瓜叶片的C<sub>i</sub>随生育期的推进呈现出先升高后降低的趋势,果实膨大期达到最大值。在甜瓜伸蔓期,T2处理的C<sub>i</sub>比CK显著降低了2.92%,T1、T3处理间无显著差异;在开花坐果期,T3处理的C<sub>i</sub>显著低于其他处理,比CK显著降低了6.56%,其他处理与CK无显著差异;在果实膨大期,T1处理的C<sub>i</sub>显著高于CK和T3处理,比CK显著提高了9.65%;在果实成熟期,各处理间C<sub>i</sub>存在显著差异,从大到小依次为T1处理>CK>T2处理>T3处理。说明T1处理提高了从甜瓜开花坐果期到果实成熟期叶片的C<sub>i</sub>,T2和T3处理降低了甜瓜叶片的C<sub>i</sub>。

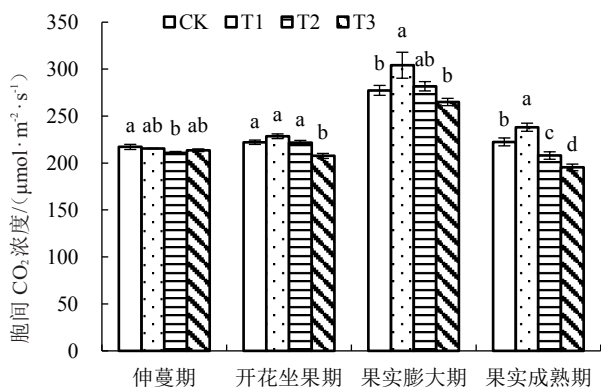


图7 不同间作模式对甜瓜胞间CO<sub>2</sub>浓度的影响

2.2.5 不同间作模式对甜瓜蒸腾速率(T<sub>r</sub>)的影响 由图8可知,在甜瓜伸蔓期,T1和T2处理的T<sub>r</sub>分别比CK处理显著降低了7.42%和12.66%,T3处理与CK无显著差异;在开花坐果期,T2处理的T<sub>r</sub>与其他处理存在显著差异,比CK显著降低了7.58%,其他处理与CK无显著差异;在果实膨大期,各处理间均无显著差异;在果实成熟期,T1处理的T<sub>r</sub>显著低于CK,其他处理与CK无显著差异。说明间作

处理降低了甜瓜叶片的T<sub>r</sub>。

### 2.3 不同间作模式对土壤酶活性的影响

由表1可知,T1处理的土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性均显著高于CK、T2、T3处理,T2和T3处理的土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性与CK相比均差异不显著;间作处理的土壤酸性磷酸酶活性均显著低于CK;各处理的土壤脲酶活性无显著差异。说明T1处理可提高土壤过氧化氢酶和蔗糖酶活性。

表1 不同间作模式对土壤酶活性的影响

处 理	过氧化氢酶活性/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )	脲酶活性/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	蔗糖酶活性/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	酸性磷酸酶活 性/( $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )
CK	77.56±2.36 b	35.91±3.45 a	14.13±0.12 b	917.03±91.14 a
T1	86.12±1.03 a	45.02±4.01 a	23.65±0.30 a	606.27±102.74 b
T2	76.00±4.53 b	38.58±5.24 a	14.27±0.21 b	558.32±84.29 b
T3	76.00±0.52 b	36.00±1.93 a	17.01±0.17 b	570.80±79.42 b

注:同列数字后不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。下同。

### 2.4 不同间作模式对甜瓜产量、产值与品质的影响

2.4.1 不同间作模式对甜瓜产量、产值的影响 由表2可知,T1、T2处理甜瓜小区产量和经济产量虽低于CK,但均与CK差异不显著,T3处理的甜瓜小区产量和经济产量均显著低于CK。各间作处理综合经济产量均显著高于CK,T1和T2处理的667m<sup>2</sup>产值比CK增收376.55~411.30元,T3处理综合产值低于CK。说明T1和T2处理可提高单位面积土地的综合产值。

2.4.2 不同间作模式对甜瓜品质的影响 由表3可知,T1处理的甜瓜的品质指标与CK相比差异均不显著;T2处理的可溶性蛋白和维生素C含量与CK差异不显著,可溶性固形物、可溶性糖、还原糖含量和果肉厚度均显著低于CK,分别比CK显著降低了10.08%、18.94%、15.41%、10.69%;T3处理下可溶性固形物、可溶性糖、还原糖、维生素C含量和

表2 不同间作模式对作物产量和产值的影响

处理	甜瓜			木薯			综合	
	小区产量/kg	经济产量/(kg·667 m <sup>2</sup> )	产值/(元·667 m <sup>2</sup> )	单株产量/kg	经济产量/(kg·667 m <sup>2</sup> )	产值/(元·667 m <sup>2</sup> )	经济产量/(kg·667 m <sup>2</sup> )	产值/(元·667 m <sup>2</sup> )
CK	45.09±1.62 a	1 875.81±67.53 a	7 503.25±270.12 a				1 875.81±67.53 c	7 503.25±270.12 ab
T1	40.05±1.27 ab	1 665.94±52.66 ab	6 663.77±210.65 ab	1.87±0.10 a	1 563.47±84.00 a	1 250.78±67.20 a	3 229.41±68.71 a	7 914.55±180.40 a
T2	40.43±1.90 a	1 681.89±79.00 a	6 727.55±316.02 a	1.73±0.02 a	1 440.32±18.06 a	1 152.25±14.45 a	3 122.21±97.00 a	7 879.80±330.40 a
T3	35.19±1.22 b	1 463.88±50.58 b	5 855.51±202.31 b	1.69±0.03 a	1 406.79±25.32 a	1 125.43±20.26 a	2 870.67±46.26 b	6 980.94±194.81 b

表3 不同间作模式对甜瓜品质的影响

处理	w(可溶性固形物)/%	w(可溶性糖)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(还原糖)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(维生素 C)/(mg·g <sup>-1</sup> )	果肉厚度/mm
CK	12.50±0.31 a	91.67±4.90 a	0.41±0.02 a	27.13±1.53 a	0.25±0.02 a	21.80±0.65 a
T1	11.85±0.36 ab	78.40±5.17 ab	0.39±0.00 a	25.16±0.78 ab	0.20±0.02 ab	20.87±0.53 ab
T2	11.24±0.14 b	74.31±6.78 b	0.42±0.01 a	22.95±1.07 b	0.21±0.03 ab	19.47±0.30 b
T3	11.20±0.25 b	72.93±2.75 b	0.42±0.00 a	18.08±0.80 c	0.17±0.02 b	19.84±0.61 b

果肉厚度均显著低于 CK, 分别比 CK 显著降低了 10.40%、20.44%、33.36%、32.00%、8.99%。说明 T1 处理对甜瓜品质影响不大, T2 和 T3 处理降低了甜瓜品质, 且 T3 处理的影响最大。

### 3 讨论与结论

在间作体系中, 通常高位作物会对低位作物的营养生长产生抑制作用。株高、茎粗等是反映植株各个时期生长发育状况的外观指标, 它们能够直接地体现作物的农艺学性状<sup>[3]</sup>。本研究结果表明, 甜瓜和木薯间作处理, 随着甜瓜密度的增加, 农艺性状中的蔓长在各个生育时期多呈现逐渐降低的趋势, 在成熟期 T1 和 T2 处理蔓长均显著低于单作处理; 间作处理茎粗也随着密度的增加呈现逐渐降低的趋势, 在开花坐果期到果实成熟期, T1 和 T2 处理与 CK 差异不显著, T3 处理在开花坐果期和果实成熟期, 茎粗均显著高于 CK。这与张西亮<sup>[22]</sup>和高莹<sup>[23]</sup>的研究结果一致。这是由于合理的栽培密度可充分利用光能和土壤肥力, 甜瓜和木薯间作, 甜瓜属于低位作物, 木薯生长迅速对甜瓜产生了遮蔽作用, 且随着种植密度的增加会导致种内竞争的加剧, 影响甜瓜蔓长和茎粗, 合理的栽培密度可改善光照和养分的供给条件, 促进植株生长发育<sup>[24]</sup>。

光能是植物产生有机物的能源, 其强弱将直接影响到作物的光合生理特征和干物质量<sup>[9]</sup>, 叶绿素是植物进行光合作用的主要色素, 与植物光合作用密切相关。唐秀梅等<sup>[15]</sup>和范虹等<sup>[25]</sup>认为, 高矮作物

间作时, 矮作物受到遮蔽会导致叶片叶绿素含量下降, 叶片光合作用受到抑制。笔者在本研究中发现, 间作条件下甜瓜所有时期叶片的叶绿素含量均低于单作处理, 且叶片  $P_n$ 、 $G_s$  和  $T_r$  也低于单作处理, 但 T1 处理的甜瓜叶片的  $C_i$  在果实膨大期与果实成熟期均显著高于 CK。这是由于参与叶绿素形成的酶与光照度密切相关, 一般认为弱光会使叶绿素合成受到抑制<sup>[26]</sup>, 因此在选择间作的作物时应充分考虑高矮作物对强光和弱光的适应性, 以实现强光和弱光的充分利用。 $P_n$  是指光合作用积累的有机物质, 是影响作物发育的主要因子。吴正峰等<sup>[27]</sup>研究发现, 遮阴会导致 Rubisco 酶活性降低, 碳同化受到抑制, 从而导致  $P_n$  下降。闫庆祥等<sup>[28]</sup>研究发现,  $C_i$  与  $P_n$  呈负相关, 认为叶片  $C_i$  越高, 气孔内外  $CO_2$  浓度差越小, 气孔能吸收的  $CO_2$  越少, 导致光合速率越低。本研究结果表明, 随着种植密度的增加,  $C_i$  呈现逐渐升高的趋势, T1 处理从甜瓜开花坐果期到果实成熟期均显著高于 T3 处理, 但整个生育期的变化却不与  $P_n$  呈负相关, 说明  $P_n$  不仅受  $C_i$  的影响, 还与  $G_s$  和  $T_r$  及环境因素等密切相关。因此, 在间作时不仅要考虑合理的栽培密度, 创造良好的微环境, 还要给与适当的肥水管理, 提高光能利用率, 从而实现作物高产。

土壤酶是土壤的组成成分之一, 主要来源于土壤中动植物残体的分解物以及微生物的细胞分泌物, 在土壤有机质矿化和元素循环中起重要作用<sup>[20]</sup>。前人研究表明, 作物间作有助于改善土壤酶

种类的组成,对土壤酶活性的提高具有重要意义<sup>[15]</sup>。在土壤中,蔗糖酶对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用;过氧化氢酶能加速过氧化氢的降解,并能有效地阻止其对植物的毒性<sup>[29]</sup>。试验结果显示,T1处理的土壤过氧化氢酶与蔗糖酶活性均显著高于CK,这是由于木薯甜瓜间作时根系互作可促进微生物的形成<sup>[17]</sup>,改善土壤理化性质<sup>[30]</sup>,甜瓜后期枝蔓的腐化又可增加土壤有机质含量,提高土壤肥力水平和熟化程度,提高蔗糖酶和过氧化氢酶活性。间作处理的土壤酸性磷酸酶活性均显著低于CK,其原因可能是间作种类不同,根系分泌物也不相同,木薯甜瓜间作时根系分泌物随着植株的生长逐渐积累,导致土壤pH值升高,使酸性磷酸酶活性均低于单作处理。

作物产量与品质除了受遗传因素的影响之外,还与光照、温度、湿度等自然因素以及施肥量、栽培模式密切相关<sup>[31]</sup>。本研究结果表明,T1、T2处理的甜瓜小区产量和经济产量虽低于CK,但均与CK差异不显著,T3处理的甜瓜小区产量和经济产量均显著低于CK。间作处理的综合经济产量均显著高于CK,T1和T2处理的每667 m<sup>2</sup>产值比CK增收376.55~411.30元。T2和T3处理的甜瓜可溶性固形物、可溶性糖、还原糖含量和果肉厚度均显著低于CK,较CK分别降低10.08%~10.40%、18.94%~20.44%、15.41%~33.36%和8.99%~10.69%,T1处理所测品质指标均与CK无显著差异。这是因为间作处理加剧了种内竞争,但研究发现合理的栽培密度可改善间作群体的通风透光性,减少种内竞争,提高光能利用率<sup>[14]</sup>,又可改善土壤酶种类的组成,提高了土壤酶活性,从而提高作物产量、品质和单位面积的土壤总产值<sup>[15]</sup>。

综上所述,与甜瓜单作相比,甜瓜和木薯间作模式虽然降低了甜瓜光合能力、经济产量和品质,但提高了单位面积的土壤总产值,其中以2行木薯间作1行甜瓜、甜瓜株距为0.5 m的栽培模式(T1)最优,为适合长沙产区的木薯间作甜瓜模式。

#### 参考文献

- [1] 孟令波,褚向明,秦智伟,等.关于甜瓜起源与分类的探讨[J].北方园艺,2001(4):20-21.
- [2] 韩全辉.木薯/花生不同间作模式的效应比较[D].海口:海南大学,2014.
- [3] 王雅梅.玉米-大豆不同宽幅间作对大豆光合特性和水分利用效率的影响[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [4] 张箭.木薯发展史初论[J].中国农史,2011,30(2):19-30.
- [5] 王林.淀粉的糊化与凝胶特性及食用品质研究[J].保鲜与加工,2021,21(2):67-73.
- [6] 陈仲南.木薯间种西瓜高产高效栽培技术[J].中国蔬菜,2009,(11):42-43.
- [7] 宋付平,覃新导,冯朝阳,等.木薯间作蜜本南瓜高效立体种植技术[J].广东农业科学,2011,38(24):16-17.
- [8] 廖浩培,李兆贵,陆昆典,等.武鸣县西瓜、毛节瓜套种木薯的生产技术规程[J].广东农业科学,2011,38(20):32-33.
- [9] 杜进勇.小麦间作玉米耐密的光合生理生态机制[D].兰州:甘肃农业大学,2020.
- [10] 焦念元,杨萌珂,宁堂原,等.玉米花生间作和磷肥对间作花生光合特性及产量的影响[J].植物生态学报,2013,37(11):1010-1017.
- [11] 范元芳,刘沁林,王锐,等.玉米-大豆带状间作对大豆生长、光合荧光特性及产量的影响[J].核农学报,2017,31(5):972-978.
- [12] 吴娜,刘晓侠,刘吉利,等.马铃薯/燕麦间作对马铃薯光合特性与产量的影响[J].草业学报,2015,24(8):65-72.
- [13] 张昆,万勇善,刘凤珍,等.不同玉米花生间作模式对饱果期花生冠层微环境及光合特性的影响[J].山东农业科学,2021,53(8):28-32.
- [14] 苏必孟.木薯/花生不同间作模式竞争与互补效应的机制研究[D].海口:海南大学,2017.
- [15] 唐秀梅,钟瑞春,蒋菁,等.木薯/花生间作对根际土壤微生态的影响[J].基因组学与应用生物学,2015,34(1):117-124.
- [16] 崔爱花,黄国勤.间作对棉花产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J].江西农业学报,2021,33(4):22-26.
- [17] 陈海生,何文,杨海霞,等.木薯与红籽瓜间套种模式研究及效益分析[J].中国瓜菜,2019,32(8):74-79.
- [18] 欧阳翠.高低淀粉木薯品种块根可溶性糖含量与块根淀粉积累研究[J].农业科技通讯,2018(1):78-82.
- [19] 韦婉玲,罗兴录,王天亮,等.不同木薯品种对朱砂叶螨抗性分析[J].南方农业学报,2017,48(12):2182-2189.
- [20] 王素萍,张贵友,杜雷,等.不同施肥处理对甜瓜产量、品质及土壤状况的影响[J].长江蔬菜,2022(6):21-25.
- [21] 张明明,白羽嘉,热合满·艾拉,等.乙烯与1-MCP处理对伯谢克辛甜瓜采后生理品质的影响[J].新疆农业科学,2018,55(10):1829-1836.
- [22] 张西亮.玉米-小豆间作模式对小豆生长发育及产量的影响[D].河北:河北农业大学,2019.
- [23] 高莹.小麦/玉米间作系统生产力与养分光热资源利用研究[D].北京:中国科学院大学,2015.
- [24] 罗亚红,杨龙,罗春芳,等.不同间作方式和种植密度对木薯产量及效益的影响[J].热带农业科学,2022,42(1):22-26.
- [25] 范虹,殷文,柴强.间作优势的生理机制及其冠层微环境特征[J].中国生态农业学报,2022,30(11):1750-1761.
- [26] 李艳红.玉米花生间作体系产量效应分析及其生理基础研究[D].山东泰安:山东农业大学,2019.
- [27] 吴正锋,孙学武,王才斌,等.弱光胁迫对花生功能叶片RuBP羧化酶活性及叶绿体超微结构的影响[J].植物生态学报,2014,38(7):740-748.
- [28] 闫庆祥,魏云霞,黄洁,等.木薯/大豆不同间作模式对木薯光合生理特性、产量的影响研究[J].热带农业科学,2017,37(12):10-15.
- [29] 张伟伟.间作对西瓜生理生化特性及根际土壤特性影响的研究[D].成都:四川农业大学,2017.
- [30] 姜凌,张春义.植物维生素生物强化进展[J].生物技术进展,2016,6(6):381-388.
- [31] 李佳懿.外界因素对农作物品质的影响研究[J].农业科技与装备,2020(3):77-78.