

## 工业大麻–辣椒轮作对辣椒生长和生理特性的影响

杜光辉, 赵银鸿, 李蛟男, 汤开磊, 杨 阳, 刘飞虎\*

云南大学资源植物研究院, 云南昆明 650500

**摘要:** 辣椒是一种重要的蔬菜和调味品, 但目前的种植模式使其连作障碍问题日渐突出, 合理轮作是解决辣椒连作障碍的有效方法和手段。工业大麻是一种理想的轮作植物, 但工业大麻轮作对辣椒连作障碍的缓解机理还不清楚, 为探究工业大麻–辣椒轮作对辣椒生长发育及生理的影响, 本研究于 2018–2019 年在云南大学农学试验大棚中, 以工业大麻品种云麻 1 号和 2 个当地辣椒品种太阳红、羊角辣为材料, 进行辣椒连作和工业大麻–辣椒轮作盆栽试验, 通过对比分析工业大麻轮作后辣椒的形态生长与生理生化指标变化, 初步探索工业大麻轮作对后季辣椒生长和生理影响的机制。结果表明: 轮作组和连作组辣椒的主要生理生化指标变化趋势基本一致。但是, 与辣椒连作相比, 工业大麻轮作后, 2 个辣椒品种的叶绿素含量在定苗后 40、50、60、100 d 均有一定程度的提高, 而超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶 (peroxidase, POD) 活性和根系活力也相应提高, 尤其是在收获期 (100 d) 的增幅最大。工业大麻轮作后, 2 个辣椒品种叶片的净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ ) 4 个光合作用指标在定苗后 40、50、60 d 均显著提高, 进而导致收获期的株高、茎粗、地上部干重以及根冠比明显增加。与辣椒连作相比, 工业大麻轮作后, 羊角辣和太阳红的株高分别增加了 20.65% 和 16.85%, 茎粗分别增加了 16.32% 和 19.94%, 地上部干重分别增加了 15.39% 和 27.50%, 而根冠比分别增加了 33.26% 和 25.47%。综上, 工业大麻轮作增强了后季辣椒的生理活性, 更好地维持了辣椒的正常生长发育。该研究结果对今后辣椒合理种植模式的选择具有指导意义。

**关键词:** 工业大麻; 辣椒; 轮作; 生长; 生理

中图分类号: S641.3 文献标识码: A

## Effects of Industrial Hemp-Chili Pepper Rotation on the Growth and Physiological Characteristics of Chili Pepper

DU Guanghui, ZHAO Yinhong, LI Jiaonan, TANG Kailei, YANG Yang, LIU Feihu\*

Institute of Plants Resource, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650500, China

**Abstract:** Chili pepper (*Capsicum annuum*) is an important vegetable and condiment, but the current cropping pattern makes its continuous cropping obstacles increasingly prominent. Most studies show that reasonable rotation is an effective method and means to solve the continuous cropping obstacles of chili pepper. Industrial hemp (*Cannabis sativa*) is an ideal rotation plant, but the effect of industrial hemp rotation on alleviating the continuous cropping obstacle of chili pepper is not clear. In order to explore the effect of industrial hemp-chili pepper rotation on the growth and physiology of chili pepper, this study took the industrial hemp variety Yunma 1 and two local chili pepper varieties Taiyanghong and Yangjiaola as the materials in the agronomic experiment greenhouse of Yunnan University from 2018 to 2019. Pot experiments were carried out on chili pepper continuous cropping and industrial hemp-chili pepper rotation, respectively. The morphological growth and physiological and biochemical indexes of chili pepper after industrial hemp rotation were comparatively analyzed, and the effect of industrial hemp rotation on the growth and physiology of chili pepper in the later season was preliminarily explored. The results showed that the main physiological and biochemical indexes of chili

收稿日期 2022-07-12; 修回日期 2022-10-02

基金项目 农业农村部国家现代农业产业技术体系工业大麻生理与栽培岗位项目 (No. CARS-16-E15)。

作者简介 杜光辉 (1982—), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 工业大麻栽培与生理。\*通信作者 (Corresponding author): 刘飞虎 (LIU Feihu), E-mail: dmzpynu@126.com。

pepper in the rotation group and the continuous cropping group had the same trend. However, compared with the chili pepper continuous cropping, the chlorophyll content of the two chili pepper varieties increased to a certain extent at 40, 50, 60 and 100 days after seedling thinning, while the activities of antioxidant enzymes (SOD and POD) and root activity also increased correspondingly, especially in the harvest period (100 days after seedling thinning) in the industrial hemp-chili pepper rotation. After the industrial hemp rotation, the net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) and transpiration rate ( $T_r$ ) of the leaves of the two pepper varieties were significantly increased at 40, 50 and 60 days after seedling thinning, resulting in a significant increase in plant height, stem diameter, shoot dry weight and root shoot ratio at harvest stage. Compared with the chili pepper continuous cropping, the plant height of Yangjiaola and Taiyanghong increased by 20.65% and 16.85%, the stem diameter increased by 16.32% and 19.94%, the aboveground dry weight increased by 15.39% and 27.50%, and the root shoot ratio increased by 33.26% and 25.47% in the industrial hemp-chili pepper rotation, respectively. In conclusion, the industrial hemp rotation enhanced the physiological activity of late season chili pepper and better maintained the normal growth and development of chili pepper. The results have a guiding significance for the selection of reasonable planting mode of chili pepper in the future.

**Keywords:** *Cannabis sativa*; *Capsicum annuum*; rotation; growth; physiology

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.08.014

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 为茄科 (Solanaceae) 辣椒属植株, 是一种重要的蔬菜和调味品。随着生产的专业化、集约化和规模化水平日益提升, 辣椒复种指数高, 品种相对单一, 这种模式带来高效益的同时, 更加剧了辣椒连作障碍的发生, 严重影响了辣椒生产的可持续发展<sup>[1]</sup>。据统计, 连作导致辣椒产量降低, 轻者减产 30% 左右, 严重的减产 80% 以上, 甚至绝产<sup>[2]</sup>。辣椒连作障碍问题日渐突出, 亟待解决。

研究表明, 合理轮作是解决辣椒连作的有效方法和手段。杨晓萍等<sup>[3]</sup>在进行双孢菇与辣椒轮作时发现, 双孢菇收获后种植辣椒不仅不用施底肥, 而且病害发生的程度较轻。蒋荣能<sup>[4]</sup>通过大蒜与辣椒轮作, 有效地减少了辣椒的病害和土壤中的有害物质。因此, 探讨辣椒合理的轮作制度对其生长生理、产量及品质的影响, 对优化辣椒栽培模式有重要意义。

大麻 (*Cannabis sativa* L.) 是大麻科 (Cannabaceae) 大麻属 (*Cannabis*) 一年生草本植物, 将植株群体花期顶部叶片及花穗干物质的四氢大麻酚 (THC) 含量 < 0.3% 的大麻称之为工业大麻。大麻是一种理想的轮作植物, 轮作大麻对减轻后继作物的病虫害效果明显。ZHANG 等<sup>[5]</sup>发现轮作大麻后农田上的病害有了明显的降低, 根腐病、镰刀菌、立枯丝核菌等病害显著低于连作大豆。也有研究表明, 大麻与小麦的轮作效应使小麦在第一年和第二年的产量与小麦单作相比均增加<sup>[6]</sup>。

本课题组前期田间试验发现, 大麻轮作后辣椒的产量显著高于连作。而且, 大麻轮作后可以更好地抑制甚至消除土壤中的炭疽病等有害病菌, 能较好地降低辣椒连作障碍现象的发生。但是, 大麻轮作后对辣椒生长具体的影响不够清楚, 鉴于此, 本研究通过盆栽的方法, 探讨了大麻-辣椒轮作对辣椒生长和生理的影响, 以期缓解辣椒连作障碍提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

供试材料: 工业大麻品种云麻 1 号的种子购自云南工业大麻股份有限公司; 朝天椒品种太阳红的种子由云南省农业科学院园艺作物研究所提供; 砚山当地辣椒品种羊角辣的种子由云南省砚山县经济作物工作站提供。

供试土壤: 取云南省砚山县江那镇狮子山村辣椒种植基地 (该基地已连续种植辣椒 5 a) 的土壤、泥炭 (挪威 JIFFY 公司生产) 和昆明大棚土壤, 按照 6 : 3 : 1 的比例进行混合。混合土的有机质含量为 67.930 g/kg、全氮 (N) 1.193 g/kg、全磷 ( $P_2O_5$ ) 0.102 g/kg、全钾 ( $K_2O$ ) 1.540 g/kg、水解性氮 0.210 g/kg、有效磷 0.069 g/kg、速效钾 0.284 g/kg, pH 5.01。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 用上口直径 40 cm、高 26 cm 的塑料盆, 每盆装混合土 9 kg, 加入复合肥 (N :  $P_2O_5$  :  $K_2O$  = 24 : 10 : 14) 25 g 作为基肥, 充分拌

匀,使表面平整,播种时种子与肥料不直接接触。试验于 2018—2019 年在云南大学农学试验大棚中进行。

1.2.2 2018 年盆栽试验 工业大麻品种云麻 1 号栽 16 盆,辣椒品种太阳红和羊角辣各栽 8 盆。挑选籽粒饱满大小一致种子,每盆均播种 50 粒种子。辣椒长到 2~3 片真叶时进行间苗,每盆留苗 8 株;大麻的苗高 10~15 cm 时进行间苗,每盆留苗 8 株。

1.2.3 2019 年盆栽试验 在上一年盆栽结束后,连作组与轮作组均只清除盆内植物残体,盆土不更换,只对土壤进行疏松、浸润。上年种大麻的 16 盆随机分成 2 组,每组 8 盆,分别种植羊角辣和太阳红;上年种辣椒的继续种植与上年相同的辣椒品种;经间苗、定苗后每盆定苗 8 株。

以上工业大麻和辣椒的种植盆随机排列,后期管理同大田正常管理方法。

1.2.4 生理指标测定 于 2019 年定苗后 40、50、60 d,每处理随机选取 5 株辣椒,在光强为  $300 \mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  条件下,测定植株心叶外侧第 2~3 片功能叶的光合指标净光合速率 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 和蒸腾速率 ( $T_r$ )。同时,于定苗后 40、50、60、100 d,每个处理每盆取顶部 2 片功能叶,测定叶绿素含量、过氧化物酶 (POD) 活性和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性;然后每盆随机确定 1 株,小心取出整株的根系,测定根系活力。具体测定方法如下:使用 LI-6400XT 便携式光合测定仪对光合指标进行测定,采用氮蓝四唑 (NBT) 法测定 SOD 活性,乙醇浸泡法测定叶绿素含量,愈创木酚法测定 POD 活性,氯化三苯基四氮唑 (TTC) 法测定根系活力<sup>[7]</sup>。

1.2.5 生长指标测定 于 2019 年在辣椒收获期 (定苗后 100 d),随机从每盆中选取 5 株,测量株高 (地上部分的长度) 和茎粗 (植株基部茎直径)。同时,把 5 株辣椒植株洗净晾干,分为地上部和根部,于  $105^\circ\text{C}$  下杀青 30 min,  $75^\circ\text{C}$  烘干至恒重,称重、记录地上部干重和根干重,计算根冠比 (根干重/地上部干重)。

### 1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 软件处理试验数据,利用 SPSS 20.0 数据处理系统进行方差分析,显著性水平设为  $\alpha=0.05$ ,运用新复极差比较法进行平均值多重比较,采用 Sigma Plot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 大麻轮作对辣椒生理指标的影响

2.1.1 辣椒叶片叶绿素含量 大麻-辣椒轮作模式下,2 个辣椒品种的叶绿素含量在 4 个时间点 (主要处于快速生长期和成熟期) 均高于辣椒连作模式。与连作相比,大麻轮作对辣椒叶绿素含量的影响差异不明显 (图 1)。2 种植模式下,辣椒的叶绿素含量在 4 个时间点的变化趋势一致,均呈现先略微增加后减少的趋势。因辣椒品种不同,叶绿素含量下降的拐点不同。

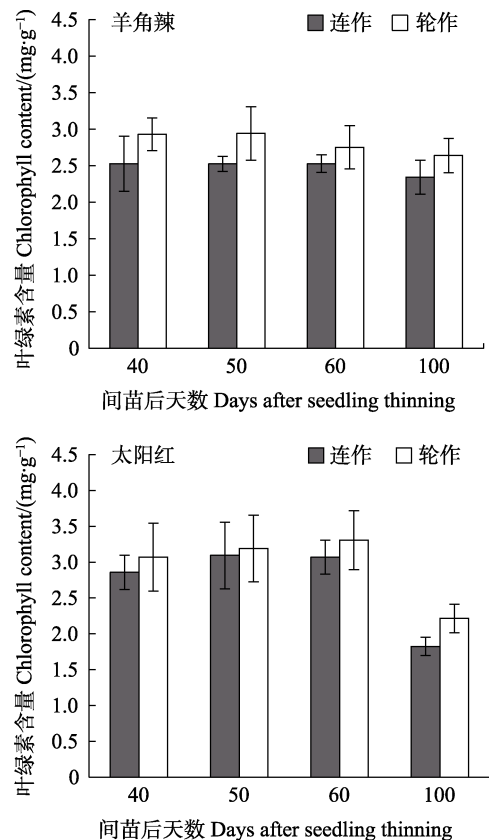


图 1 大麻-辣椒轮作下的辣椒叶片叶绿素含量  
Fig. 1 Chlorophyll content of chili pepper leaves under hemp-chili pepper rotation

2.1.2 辣椒叶片光合指标 在定苗后 40、50、60 d,辣椒叶片的光合指标变化如图 2 所示,轮作组和连作组的辣椒叶片净光合速率变化趋势一致,只是轮作组辣椒叶片净光合速率在 3 个时期均高于连作组;轮作辣椒的胞间  $\text{CO}_2$  浓度、气孔导度以及蒸腾速率均高于连作组。尤其是在 2 个辣椒品种定苗后 50 d,以上指标均出现拐点。有些指标,如羊角辣气孔导度比连作明显增加,增幅高达 76.66%;而太阳红气孔导度比连作明显增加,增幅为 53.49%。

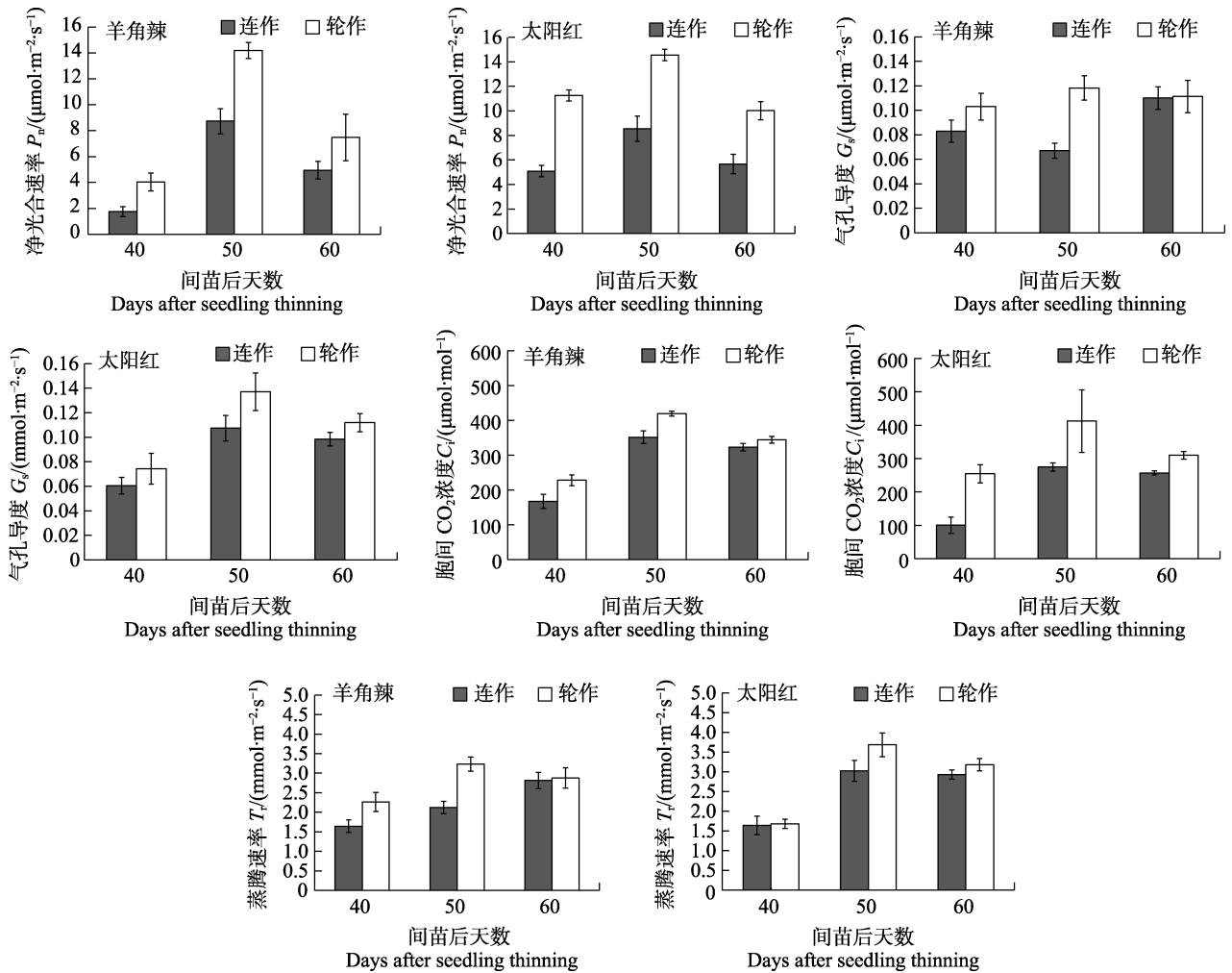


图 2 大麻-辣椒轮作下的辣椒叶片光合相关参数

Fig. 2 Photosynthesis-related parameters of chili pepper leaves under hemp-chili pepper rotation

2.1.3 辣椒叶片抗氧化酶活性 如图 3 所示，连作导致辣椒 SOD 活性和 POD 活性发生明显降低。大麻轮作后，羊角辣和太阳红叶片的 SOD 活性与连作相比差异明显。2 个辣椒品种在定苗 40、50、60 d 以及收获期 100 d，大麻轮作后辣椒各时段的 SOD 活性和 POD 活性均高于连作组，尤其是羊角辣在收获期，轮作组的 SOD 活性和 POD 活性与连作组均呈现显著差异。

2.1.4 辣椒根系活力 羊角辣和太阳红与大麻轮作后，根系活力在辣椒定苗后 40、50、60 d 三个阶段均高于连作组。在辣椒定苗后 100 d 即成熟期，大麻轮作后羊角辣的根系活力[11.66  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]明显高于羊角辣连作[5.15  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]; 大麻轮作后太阳红的根系活力[7.01  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]也明显高于太阳红连作[4.38  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ] (图 4)。

## 2.2 大麻轮作对辣椒生长指标的影响

2.2.1 辣椒株高和茎粗 大麻轮作对羊角辣和太

阳红 2 个辣椒品种株高的影响均未达到显著性差异 (图 5A)，但轮作组 2 个辣椒品种的株高均明显高于连作组。与连作相比，大麻轮作后羊角辣的株高增加了 20.65%，而太阳红的株高增加了 16.85%。茎粗的测定结果与株高相似，但大麻轮作对羊角辣和太阳红 2 个品种辣椒茎粗的影响均存在显著性差异 (图 5B)，轮作组 2 个辣椒品种的茎粗显著增粗。与连作相比，大麻轮作后羊角辣的茎粗增加了 16.32%，而太阳红的茎粗增加了 19.94%。

2.2.2 辣椒地上部干重和根冠比 大麻轮作对太阳红地上部干重的影响存在显著性差异，而对羊角辣地上部干重的影响差异不显著，但大麻轮作均明显增加了 2 个辣椒品种的地上部干重 (图 5C)。与连作相比，大麻轮作后羊角辣的地上部干重增加了 15.39%，而太阳红的地上部干重增加了 27.50%。同时，大麻轮作对羊角辣和太阳红 2

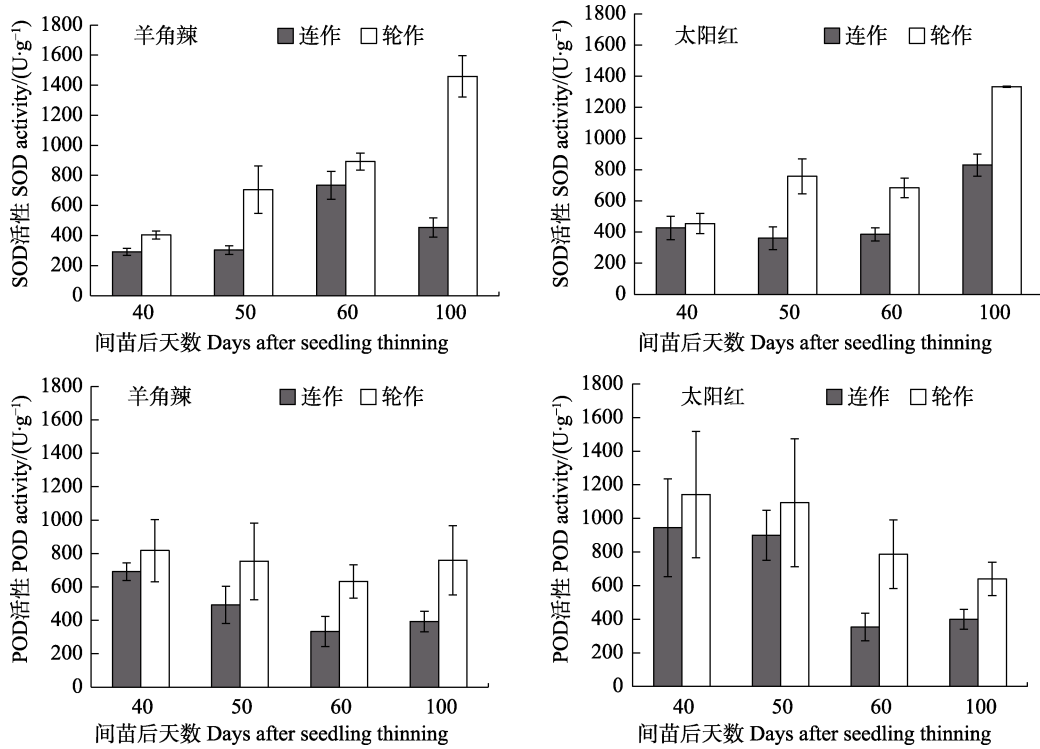


图 3 大麻-辣椒轮作下的辣椒叶片 SOD 活性和 POD 活性  
Fig. 3 SOD and POD activities of chili pepper leaves under hemp-chili pepper rotation

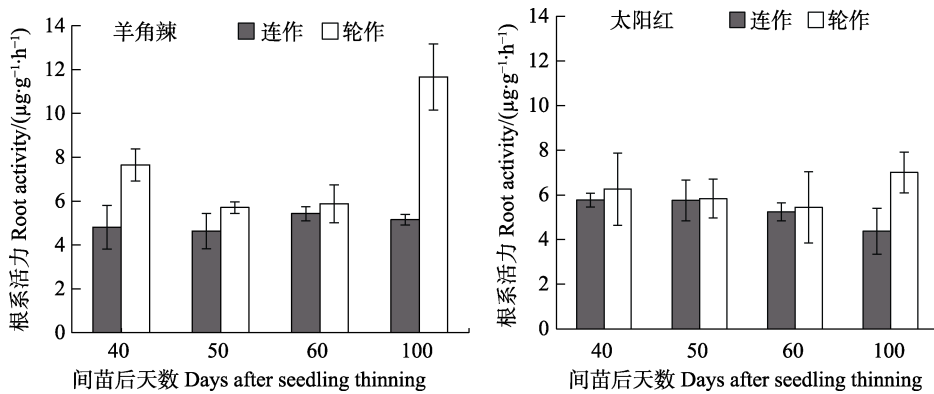


图 4 大麻-辣椒轮作下的辣椒根系活力  
Fig. 4 Root activity of chili pepper under hemp-chili pepper rotation

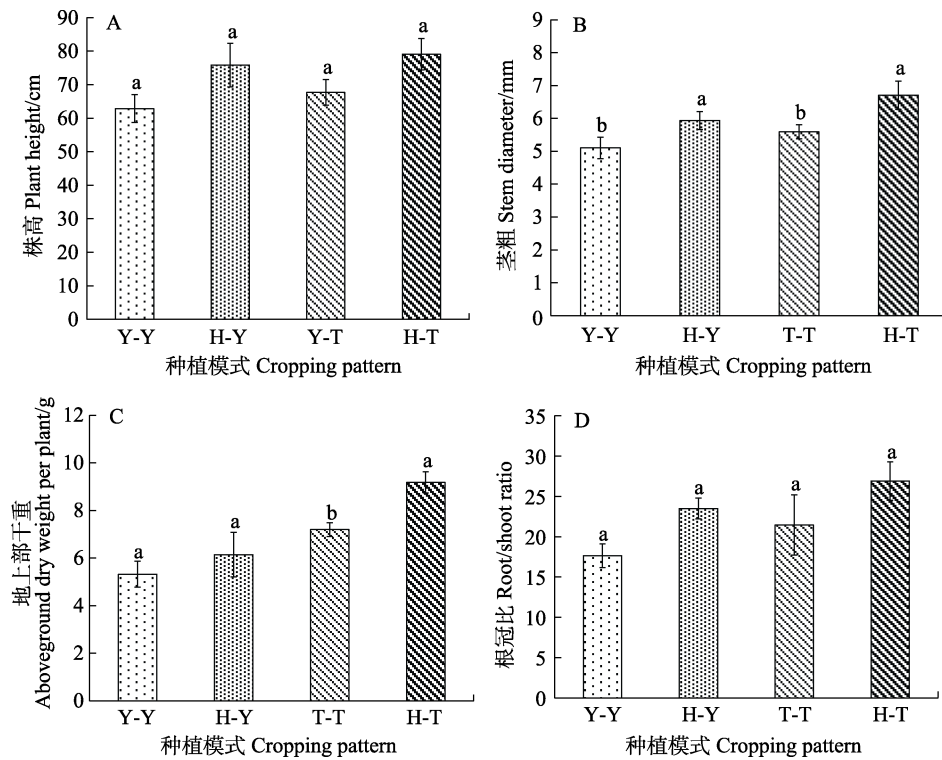
个辣椒品种根冠比的影响均差异不显著，但大麻轮作明显提高了 2 个辣椒品种的根冠比(图 5D)。与连作相比，大麻轮作后羊角辣的根冠比增加了 33.26%，而太阳红的根冠比增加了 25.47%。

### 3 讨论

#### 3.1 大麻轮作对辣椒光合指标的影响

光合作用是植物进行物质循环和能量流动的基础，叶绿素则是植物光合作用过程中的重要色素，与光合效率呈正相关，可以作为反映植物逆境生理指标之一。吴晓玲等<sup>[8]</sup>发现辣椒采用轮作后的叶绿素含量始终高于连作。同时，研究发现，

连作会使植物的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等光合因子显著下降，而通过轮作可以缓解此现象<sup>[9]</sup>。魏飞等<sup>[10]</sup>在进行小麦轮作棉花的试验过程中，发现轮作后棉花的光合速率得以提高。而轮作油葵明显增加了马铃薯叶片的光合速率，促进了马铃薯的生长发育<sup>[11]</sup>。刘洪庆等<sup>[12]</sup>的研究也发现苜蓿-小麦轮作模式下会显著提高小麦在灌浆期和成熟期的净光合速率、降低孕穗期的蒸腾速率。在本研究中，大麻轮作能显著提高连作辣椒叶片的叶绿素含量，增强净光合速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等光合参数，进一步促进辣椒植株正常生长。说明轮作会缓解连作引起的辣



Y: 羊角辣; T: 太阳红; H: 大麻。不同小写字母表示不同种植模式差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Y: Yangjiaola; T: Taiyanghong; H: Hemp. Different lowercase letters indicate significant difference of different planting modes ( $P < 0.05$ ).

图 5 大麻-辣椒轮作下的辣椒生长指标

Fig. 5 Growth indexes of chili pepper under hemp-chili pepper rotation

椒叶片光合作用水平下降现象。

### 3.2 大麻轮作对辣椒抗氧化酶活性的影响

抗氧化酶是植株抗逆性保护机制的重要部分,通过酶催化清除氧自由基,避免对细胞膜的伤害。研究发现,连作使植物叶片的抗氧化酶(SOD、POD等)活性下降,使得 $O_2^-$ 积累,膜脂过氧化作用加快,植物遭受胁迫明显<sup>[13]</sup>。而轮作可以改善植物的生理代谢,有效减轻连作造成的危害。盛萍萍等<sup>[14]</sup>以芹菜轮作西瓜可以提高嫁接西瓜的SOD活性和POD活性。轮作油葵明显抑制了马铃薯SOD活性的下降,使得 $O_2^-$ 水平下降,从而减轻膜脂过氧化作用对细胞膜的损伤,提高植株的抗氧化能力,促进马铃薯正常生长<sup>[11]</sup>,这与吕毅等<sup>[15]</sup>的研究结果相似。在本研究中,大麻轮作能显著提高连作辣椒叶片的SOD活性和POD活性,从而提高辣椒植株的抗性。

### 3.3 大麻轮作对辣椒根系活力的影响

根系活力反映作物对水分和养分吸收效率,对作物生长发育及产量产生直接影响<sup>[16]</sup>。连作会使植物的根系活力下降,从而影响植物的光合作用,轮作其他作物可以改善土壤环境,为根系发

育提供条件,并进一步促进地上部的生长。魏飞等<sup>[10]</sup>的研究发现长期连作的棉田在经过小麦轮作后,促进了棉花的根系生长和发育,提高了棉花的光合速率,从而提高棉花的地上部鲜重。唐朝辉等<sup>[17]</sup>发现甘薯-花生轮作也增加了花生各生育期的根系活力。本研究中,大麻轮作后,辣椒的根系活力明显提高,尤其是在辣椒定苗后100d即成熟期,与连作相比,根系活力显著提高。

### 3.4 大麻轮作对辣椒植株生长的影响

连作影响植株的正常生长,使植物的生长发育受限制。李晓雪等<sup>[2]</sup>研究发现在辣椒整个生长期,连作土壤中生长的辣椒植株均不同程度低于非连作土壤。周倩<sup>[18]</sup>的研究也表明,连作明显影响了辣椒的营养生长,植株生长受到连作障碍的影响导致产量降低。而株高、茎粗等生长指标为植株健康状况的重要指标,其值越大,说明植株生长越旺盛。在本研究中,大麻轮作后,辣椒的株高、茎粗均有不同程度的增加,尤其是2个辣椒品种的茎粗增加程度达到了显著水平。说明轮作可以缓解连作引起的植株生长受限的问题。

干物质是产量形成的基础, 轮作模式对作物干物质积累量也有不同的影响。王劲松等<sup>[19]</sup>研究发现轮作促进了高粱地上部的生长, 增加了地上部干重。本研究发现, 大麻轮作后, 辣椒的地上部干重有一定程度的增加, 尤其是太阳红的地上部干重增加的程度达到了显著水平。说明轮作可以促进植株地上部分生长。同时, 在本研究中, 根冠比的增加, 说明大麻轮作, 不仅促进了辣椒地上部的生长, 也促进了根系的生长。因为, 研究表明轮作能提高土壤的 pH, 改善土壤有效养分的含量和质量, 更有利于植物根系的生长<sup>[20]</sup>。

#### 4 结论

大麻与辣椒轮作可以提高后茬辣椒叶片的光合作用、抗氧化能力和根系活力, 从而增强辣椒植株的生长, 其株高、茎粗、地上部分和地下的根系均得到明显提高。因此, 大麻轮作可在一定程度上消减连作导致的辣椒植株生长和生理两方面的不利影响。以上研究结果对今后辣椒合理种植模式的选择具有指导意义。

#### 参考文献

- [1] GAO J, PEI H, XIE H. Synergistic effects of organic fertilizer and corn straw on microorganisms of pepper continuous cropping soil in China[J]. *Bioengineered*, 2020, 11(1): 1258-1268.
- [2] 李晓雪, 武菊平, 李翔宇, 杜佳燕, 刘文菊, 陆秀君, 李博文. 辣椒不同品种对土壤连作障碍的响应效应研究[J]. *河北农业大学学报*, 2021, 44(2): 56-62.  
LI X X, WU J P, LI X Y, DU J Y, LIU W J, LU X J, LI B W. Response of two varieties of chili pepper to continuous cropping obstacles in soil[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2021, 44(2): 56-62. (in Chinese)
- [3] 杨晓萍, 冯德华. 河西冷凉灌区日光温室双孢菇与辣椒轮作栽培技术[J]. *中国蔬菜*, 2013(21): 52-54.  
YANG X P, FENG D H. Rotation cultivation techniques of *Agaricus bisporus* and *Capsicum annuum* in solar greenhouse in cool irrigation area of Hexi[J]. *China Vegetables*, 2013(21): 52-54. (in Chinese)
- [4] 蒋荣能. 大蒜与辣椒轮作试验初探[J]. *中国农业信息*, 2015(18): 108-109.  
JIANG R N. Preliminary study on the rotation of garlic and pepper[J]. *China Agriculture Information*, 2015(18): 108-109. (in Chinese)
- [5] ZHANG Q Y, LI Z L, HANB J, ZHOU K Q. Immediate responses of cyst nematode, soil-borne pathogens and soybean yield to one-season crop disturbance after continuous soybean in northeast China[J]. *International Journal of Plant Production*, 2013, 7(2): 341-354.
- [6] GORCHS G, LLOVERAS J, SERRANO L, CELA S. Hemp yields and its rotation effects on wheat under rainfed Mediterranean conditions[J]. *Agronomy Journal*, 2017, 109: 1551-1560.
- [7] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013.  
CAI Q S. *Plant physiology experiment*[M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2013. (in Chinese)
- [8] 吴晓玲, 周宝利, 侯永侠. 连作、轮作对辣椒不同品种生育和土壤肥力、微生物种群的影响[J]. *辽宁农业科学*, 2006(2): 1-4.  
WU X L, ZHOU B L, HOU Y X. Effects of continuous cropping and rotation on growth, soil fertility and microbial population of different pepper varieties[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2006(2): 1-4. (in Chinese)
- [9] 徐丽霞, 董雪, 张艾英, 郭二虎, 孙靓. 不同轮作模式对谷子生理生化指标和产量的影响[J]. *华北农学报*, 2022, 37(3): 68-76.  
XU L X, DONG X, ZHANG A Y, GUO E H, SUN L. Effects of the different rotation patterns on physiological and biochemical indicators and yield of millet's[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2022, 37(3): 68-76. (in Chinese)
- [10] 魏飞, 孙新展, 刘建国, 陈华伟, 马怡茹, 韩羽, 吴国丽, 符家伟. 连作棉田轮作苜蓿、小麦后对棉花光合能力和根系生长的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(12): 126-128.  
WEI F, SUN X Z, LIU J G, CHEN H W, MA Y R, HAN Y, WU G L, FU J W. Effects of rotation of alfalfa and wheat on photosynthetic capacity and root growth of cotton in continuous cropping cotton field[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(12): 126-128. (in Chinese)
- [11] 徐雪风, 李朝周, 张俊莲. 轮作油葵对马铃薯生长发育及抗性生理指标的影响[J]. *土壤*, 2017, 49(1): 83-89.  
XU X F, LI C Z, ZHANG J L. Effects of oil-sunflower rotation on growth and resistance physiology indexes of potato[J]. *Soils*, 2017, 49(1): 83-89. (in Chinese)
- [12] 刘洪庆, 付丹丹, 武海杰, 苗福泓, 孙娟, 杨国锋. 不同轮作模式对后茬作物小麦产量及生理指标的影响[J]. *草业学报*, 2018, 27(8): 59-66.  
LIU H Q, FU D D, WU H J, MIAO F H, SUN J, YANG G F. Effects of rotation systems on yields and physiological indicators of wheat[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(8): 59-66. (in Chinese)
- [13] ZHANG X H, LANG D Y, ZHANG E H, BAI C C, WANG H Z. Diurnal changes in photosynthesis and antioxidants of *Angelica sinensis* as influenced by cropping systems[J].

- Photosynthetica, 2013, 51(2): 252-258.
- [14] 盛萍萍, 宋尚成, 李敏, 刘润进. 蔬菜作物轮作对嫁接西瓜植株生理代谢与生长的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2011, 28: 205-209.  
SHENG P P, SONG S C, LI M, LIU R J. Effects of rotation with vegetables on physiological metabolism and growth of grafted watermelon[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2011, 28(3): 205-209. (in Chinese)
- [15] 吕毅, 宋富海, 李园园, 沈向, 陈学森, 吴树敬, 毛志泉. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(14): 2830-2839.  
LYU Y, SONG F H, LI Y Y, SHEN X, CHEN X S, WU S J, MAO Z Q. The influence of different crops rotation on the environment of soil and physiological characteristics of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(14): 2830-2839. (in Chinese)
- [16] 王素芳, 薛惠云, 张志勇, 汤菊香. 棉花根系生长与叶片衰老的协调性[J]. 作物学报, 2020, 46(1): 93-101.  
WANG S F, XUE H Y, ZHANG Z Y, TANG J X. Coordination of root growth and leaf senescence in cotton[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(1): 93-101. (in Chinese)
- [17] 唐朝辉, 郭峰, 张佳蕾, 杨莎, 王建国, 孟静静, 耿耘, 李新国, 万书波. 甘薯花生轮作对花生生理及产量品质的影响[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(6): 80-87.  
TANG C H, GUO F, ZHANG J L, YANG S, WANG J G, MENG J J, GENG Y, LI X G, WAN S B. Effect of sweet potato and peanut rotation on physiological characteristics and yield and quality of peanut[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020, 42(6): 80-87. (in Chinese)
- [18] 周倩. 连作对线辣椒矿质元素吸收的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.  
ZHOU Q. Effects of continuous cropping on absorption of mineral elements of chili pepper[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese)
- [19] 王劲松, 樊芳芳, 郭珺, 武爱莲, 董二伟, 白文斌, 焦晓燕. 不同作物轮作对连作高粱生长及其根际土壤环境的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2283-2291.  
WANG J S, FAN F F, GUO J, WU A L, DONG E W, BAI W B, JIAO X Y. Effects of different crop rotations on growth of continuous cropping sorghum and its rhizosphere soil micro-environment[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(7): 2283-2291. (in Chinese)
- [20] KATSVAIRO T, COX W J, VAN ES H V. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(2): 299-304.