

连作西瓜抗逆系统及土壤微生态对大蒜伴生的响应

吴绍军, 孟佳丽, 沈虹, 张黎杰, 周玲玲, 田福发, 余翔*

(江苏省农业科学院宿迁农科所, 江苏宿迁 223800)

摘要:以大蒜-西瓜化感伴生栽培模式为研究对象, 设置连作西瓜单作(对照)、大蒜苗期伴生连作西瓜、大蒜全生育期伴生连作西瓜 3 个处理, 考察西瓜枯萎病发病率, 西瓜叶片抗氧化酶活性和渗透调节物质含量, 以及根际土壤酶活性和微生物数量, 探索大蒜伴生对西瓜酶促抗氧化系统及土壤特性的影响。结果表明: (1) 大蒜-西瓜伴生栽培体系中, 西瓜枯萎病发病率比单作对照显著降低, 且全生育期伴生处理效果更好。 (2) 大蒜-西瓜伴生栽培的西瓜叶片抗氧化酶(超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶)活性均比连作单作对照显著增加, 且全生育期伴生处理增幅更大。 (3) 大蒜-西瓜伴生栽培的西瓜叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量比单作对照显著增加, 而其脯氨酸含量显著减少, 且全生育期伴生处理变化幅度更大。 (4) 大蒜-西瓜伴生栽培的西瓜根际周围土壤真菌、尖孢镰刀菌数量比单作对照显著减少, 而其细菌和放线菌数量显著增加; 同时其西瓜根际周围土壤多酚氧化酶、过氧化物酶、脲酶活性比单作对照增加, 而蔗糖酶活性显著降低。研究发现, 大蒜-西瓜伴生栽培能够显著降低西瓜连作枯萎病的发病率, 增强西瓜植株叶片抗氧化酶活性, 提高植株叶片渗透调节物质含量, 并有效改善根际周围土壤菌落平衡和土壤酶活性, 从而提高了连作西瓜抗性和根际土壤质量, 有效破除了西瓜连作的障碍。

关键词:连作西瓜; 酶促系统; 土壤微生物; 伴生大蒜

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

Response of Continuous Cropping Watermelon Resistance System and Soil Micro-ecology to Associative Garlic

WU Shaojun, MENG Jiali, SHEN Hong, ZHANG Lijie, ZHOU Lingling,
TIAN Fufa, YU Xiang*

(Agricultural Sciences Institute of Suqian, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian, Jiangsu 223800, China)

Abstract: Taking the garlic-watermelon allelopathy associated cultivation model as the research object, we set up three treatments of watermelon monocropping, garlic seedling stage accompanying watermelon, garlic full growth stage accompanying watermelon, and investigated the incidence of watermelon fusarium wilt, watermelon leaf antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment substance contents, as well as rhizosphere soil enzyme activity and microbial quantity, to explore the influence of garlic accompanying on the enzymatic antioxidant system of watermelon and soil characteristics. The results showed that: (1) in the garlic-associated cultivation system, the incidence of watermelon fusarium wilt was significantly lower than that of the monoculture control, and the associated treatment effect during the whole growth period was better. (2) The garlic-associated cultivation of watermelon leaf antioxidant enzymes (superoxide dismutase, superoxide dismutase, etc.) activities of peroxidase and catalase were significantly increased com-

收稿日期: 2020-12-23; **修改稿收到日期:** 2021-04-12

基金项目: 宿迁市科技计划(L202003)

作者简介: 吴绍军(1982—), 男, 助理研究员, 主要从事设施西甜瓜栽培和育种研究。E-mail: 297321312@qq.com

* **通信作者:** 余翔, 副研究员, 主要从事西甜瓜栽培及育种研究。E-mail: 125485676@qq.com

pared with the single control, and the increase in the associated treatments during the whole growth period was greater. (3) The soluble sugar and soluble protein contents in leaves of the garlic-associated cultivated watermelon were significantly increased than the single control, while its proline content was significantly reduced, and the accompanying treatments changed more throughout the growth period. (4) The number of fungi and *Fusarium oxysporum* in the rhizosphere soil of the garlic-associated watermelon was significantly reduced compared to the single control, while the number of bacteria and actinomycetes significantly increased. At the same time, the activities of polyphenol oxidase, peroxidase and urease in the rhizosphere soil of watermelon increased compared with the control, while the activity of invertase decreased significantly. It can be seen that garlic-associated cultivation significantly inhibited the incidence of watermelon fusarium wilt, enhanced plant leaf antioxidant enzyme activities, increased plant leaf osmotic adjustment substance contents, and effectively improved rhizosphere soil colony balance and soil enzyme activities, thereby increasing watermelon resistance and rhizosphere soil quality, effectively breaking the watermelon continuous cropping barriers.

Key words: continuous cropping watermelon; enzymatic system; soil microorganisms; associated garlic

植物通过释放某些化学物质到环境中进而影响自身或其他活体植物、动物及其他微生物的生长发育称为化感作用。化感作用在中国农业生产中具有重要地位,地表覆盖、翻压、填闲,以及各种种植方式,都对植物生长有直接或者间接影响^[1]。化感植物可减轻病虫害^[2-5],促进生长^[6]、保护环境。前人研究表明,小麦-西瓜伴生系统可有效减缓西瓜叶片衰老,提高光合作用效率,增加植株及果实生长量^[7];小麦和玉米秸秆还田后可增加小麦根际土壤有机酸物质,小麦根系活力及相关生理活性显著降低^[8];巴茅草叶片和植物茎秆浸提液可有效减少白菜生物量^[9];不同浓度谷子水浸提液可以有效抑制谷子田间杂草的恶性生长、降低杂草光合速率及杂草的蒸腾速率^[10];银木凋叶和落叶腐烂分解物可以降低黄瓜光合速率和气孔导度大小,降低黄瓜叶片相关氧化酶活性,减缓了黄瓜植株生物量生长^[11];核桃凋落叶分解物质能抑制小麦叶片氧化酶活性,致使叶片渗透调节物质可溶性糖含量减少,膜氧化产物 MDA 含量显著增加^[12]。

大蒜为百合科葱属植物,由于有杀菌杀虫重要作用,常用来与一些忌连作的作物间套作或轮作,改善大蒜-间套作作物根际土壤理化性质^[13]。利用大蒜化感物质防治土传病虫害及改良土壤等相关研究已有报道。大蒜与番茄伴生栽培,能够增加番茄根际土壤酶活性和土壤根际菌群发生数量,改善根际菌落微环境,减少根际根结线虫数量,降低根际真菌数量,改善土壤肥力和土壤酸碱化程度,从而促进番茄生物量和产量增加,以及果实生长和品质改善^[14-15];大蒜与小麦伴生栽培可以改善小麦根际菌落平衡,增强小麦根际土壤相关酶活性^[16]。

连作障碍是指同一种或同科等近缘作物连茬种植后,在正常的栽培管理下,产生植株长势变弱、产量下降、品质变劣以及土传病虫害蔓延等现象^[17]。西瓜(*Citrullus lanatus*)原产非洲,是一种重要的园艺作物,在中国经济作物中占有重要地位,是农业增效农民增收的重要瓜类之一^[18]。西瓜忌重茬,由于连年规模化、集约化种植,不良的种植施肥浇水习惯,加之设施本身的封闭特性,导致土壤理化性质恶化、肥力下降以及酸化、盐渍化,还使土壤酶活性下降、土壤微生物群落失衡,造成西瓜土传病害多发,尤其是枯萎病的发作,引起西瓜植株死亡,严重的导致西瓜减产,甚至大面积绝收^[19]。因此,西瓜连作障碍尤其是枯萎病和设施土壤退化成为限制西瓜优质可持续发展的关键因素。目前关于西瓜连作障碍的研究已有相关报道,但研究或多或少都存在的问题:抗病育种时间长、病原菌不断变化,出现新的变种;嫁接防治枯萎病,西瓜果实口感变差,品质下降,长时间多年种植设施土壤盐渍化、根结线虫严重;化学农药处理土壤污染大气、土壤和水体,农残多;生防菌和土壤调理剂防治在自然条件下稳定性、持久性不好等^[20]。迄今,关于各种大蒜伴生对连作西瓜障碍影响的相关研究报道较少,且大多数研究集中在实验室,至于大蒜大田化感伴生研究更少,而且不够系统。因此,本试验以西瓜品种‘迁丽 2 号’为试验材料,利用大蒜间套作化感作用研究其对连作西瓜土壤障碍缓解效果,探讨大蒜间套作对西瓜枯萎病发病率、叶片抗氧化酶系统和根际土壤微生物功能特性的影响,旨在探寻大蒜化感栽培对连作西瓜土壤障碍防控作用机理,以期能够为连作西瓜生态优质栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料和方法

1.1 供试材料

参试西瓜品种为‘迁丽 2 号’,中果型花皮红瓤,由江苏省农业科学院宿迁农科所选育而成。供试大蒜为地方品种‘邳州白蒜’。供试土壤为沙壤土,2014—2018 年已连续 5 年种植西瓜,2018 年 10 月种植大蒜,2019 年 2 月底西瓜播种,4 月初移栽,6 月初种植西瓜收获。

1.2 试验设计

本次试验于 2018 年 10 月至 2019 年 6 月在江苏省农业科学院宿迁农科所试验基地内进行。试验设 3 组处理:一组为连作西瓜+空白为对照(CK);二组为连作西瓜+大蒜苗期伴生,大蒜抽薹前拔除(T_1);三组为连作西瓜+大蒜全生育期伴生,西瓜收获时收蒜头(T_2)。每组处理 3 次重复,每重复 40 株。其中,CK 为大棚中间开一条 40 cm 宽、25 cm 深的沟,沟两侧 60 cm 处按株行距 3 m×0.3 m 栽植西瓜; T_1 和 T_2 处理在离走道 60 cm 内按株行距 20 cm×10 cm 种植 3 行大蒜,其他正常管理。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 西瓜枯萎病发病率 座瓜后 20 d,开始逐株统计西瓜枯萎病发病率(发病标准为植株叶片萎蔫,占全株的 1/2 以上),以后每隔 5 d 统计 1 次,累计统计 4 次。

1.3.2 西瓜叶片理化指标 座瓜后 20 d,取西瓜第 15 片叶(从基部数)作为样品,采用氮蓝四唑法测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性,采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用紫外分光光度法测定过氧化氢酶酶(CAT)活性;叶片丙二醛含量采用硫代巴比妥酸加热显色法^[21]测定,过氧化氢含量参照林植芳等^[22]的方法测定,脯氨酸含量采用磺基水杨酸法测定,可溶性糖含量采用苯酚硫酸方法测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮兰方法测定。

1.3.3 土壤微生物及土壤酶 西瓜收获后,采用取土器在地表下 10 cm 处分别取土样。采用稀释平板法测定细菌、真菌、放线菌以及尖孢镰刀菌的生物量^[23]。细菌含量测定采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌含量测定采用马丁氏培养基,放线菌含量测定采用改良高氏一号培养基,尖孢镰刀菌含量采用 Komda H 的选择性培养基。土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性参照关松荫等^[24]的方法测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据处理,利用 SAS 软件

对试验数据进行方差分析和 Duncan’s 多重比较。

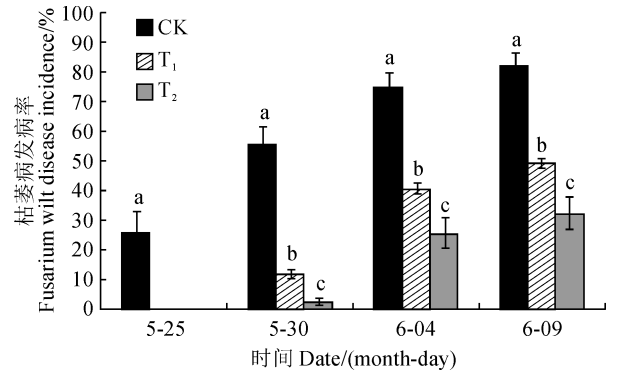
2 结果与分析

2.1 大蒜伴生对连作西瓜枯萎病发病率的影响

大蒜化感伴生栽培使得连作西瓜枯萎病发病率显著降低。在西瓜座瓜后,从 5 月 25 日到 6 月 9 日,各处理西瓜枯萎病发病率均逐渐增加,但大蒜伴生处理始终显著低于对照(CK),且始终表现为 CK> T_1 > T_2 (图 1)。其中,5 月 25 日,CK 发病率为 25.81%, T_1 和 T_2 发病率均为 0;5 月 30 日,CK 发病率为 55.38%, T_2 、 T_1 的发病率与对照相比均差异显著($P<0.05$);6 月 4 日,各处理发病率继续呈增加趋势, T_1 、 T_2 处理的枯萎病发病率分别比对照显著减少 46.00%和 123%;各处理枯萎病发病率均在 6 月 9 日达到最高值, T_1 、 T_2 处理分别比对照显著减少 39.73%和 61.00%。

2.2 大蒜伴生对连作西瓜叶片抗氧化酶活性和膜氧化产物含量的影响

大蒜化感伴生栽培对连作西瓜叶片抗氧化酶活性和膜质氧化产物含量均有显著的影响(表 1),即大蒜伴生提高了西瓜叶片保护酶活性,降低了膜质过氧化程度。其中, T_1 处理西瓜叶片超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性比单作对照分别显著增加 46.12%、2.73%和 13.94%, T_2 处理则分别显著增加 59.85%、18.72%和 22.53%; T_2 处理与 T_1 处理相比又分别显著增加 9.40%、15.57%和 7.53%。同时,大蒜伴生处理 T_2 和 T_1 西瓜叶片膜



不同小写字母表示同期处理间在 0.05 水平差异显著($P<0.05$),下同
图 1 大蒜伴生对连作西瓜枯萎病发病率的影响
Different letters during same time indicate significant difference among various treatments at 0.05 level ($P<0.05$).
The same as follows

Fig.1 Effect of garlic allelopathy on the incidence of watermelon wilt in continuous cropping

氧化产物丙二醛的含量均比单作对照显著降低。降幅分别为 15.47%和 11.40%;T₂ 处理过氧化氢含量最低,比对照显著减少 13.38%,而 T₁ 处理比对照稍低,但与对照无显著差异;各处理西瓜叶片超氧阴离子清除能力表现为 T₂>T₁>CK,T₂ 和 T₁ 处理分别比对照提高 21.81%和 18.33%。

2.3 大蒜伴生对连作西瓜叶片渗透调节物质含量的影响

大蒜化感伴生栽培对连作西瓜叶片渗透调节物质均有显著影响,表现为脯氨酸含量显著降低,可溶性蛋白、可溶性糖含量明显增加,并均以 T₂ 处理变幅最大(表 2)。其中,大蒜伴生栽培处理 T₂ 西瓜叶片脯氨酸含量比 CK 显著减少 22.0%,其可溶性蛋白和可溶性糖含量分别比 CK 显著增加 5.0%和 14.0%(*P*<0.05)。

2.4 大蒜伴生对连作西瓜根际土壤微生物数量的影响

表 3 显示,大蒜化感伴生栽培使得连作西瓜根际土壤细菌和放线菌含量均显著增加,且增加幅度表现为 T₂ 处理大于 T₁ 处理;与对照相比,T₂ 和 T₁

处理根际土壤细菌数量比对照分别显著增加 46.64%和 14.88%,其放线菌数量分别显著增加 187%和 169%。同时,大蒜伴生栽培却使得连作西瓜根际真菌和尖孢镰刀菌数量显著减少,且 T₂ 处理降幅更大,分别比相应对照显著减少 70.0%和 67.86%。说明大蒜化感伴生栽培显著增加了连作西瓜根际土壤细菌和放线菌数量,却显著减少了根际真菌和尖孢镰刀菌数量,且全生育期伴生处理效果更明显。

2.5 大蒜伴生对连作西瓜根际土壤酶活性影响

大蒜化感伴生栽培的连作西瓜根际土壤酶活性测定结果(表 4)显示,大蒜伴生显著增加了根际土壤

表 2 大蒜伴生栽培连作西瓜叶片渗透调节物质的变化

处理 Treatment	脯氨酸含量 Proline content /(μg·g ⁻¹)	可溶性蛋白含量 Soluble protein content /(mg·g ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(mg·g ⁻¹)
CK	108.65±2.38a	59.62±1.05b	17.89±0.71b
T ₁	96.24±2.53b	61.16±1.48a	18.01±0.80b
T ₂	85.03±3.93c	61.51±1.23a	20.35±0.76a

表 1 大蒜伴生栽培连作西瓜叶片抗氧化酶活性和膜氧化产物含量的变化

处理 Treatment	超氧化物歧化酶 SOD /(U·g ⁻¹)	过氧化物酶 POD /(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	过氧化氢酶 CAT /(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	丙二醛 Malondialdehyde /(μmol·g ⁻¹)	过氧化氢 Hydrogen peroxide /(μmol·g ⁻¹)	超氧阴离子清除能力 Superoxide anion scavenging ability/%
CK	476.14±15.46c	186.98±1.80c	25.52±0.44c	35.1±1.69a	5.68±0.16a	6.10
T ₁	695.73±27.92b	192.09±7.69b	29.08±1.11b	31.1±1.81b	5.53±0.15a	7.22
T ₂	761.11±18.55a	221.99±15.01a	31.27±1.95a	29.67±1.79c	4.92±0.45b	7.43

注:同列数值后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著,下同
Note: Different letters within same column indicate significant difference among various treatments at 0.05 level (*P*<0.05). The same as follows

表 3 大蒜伴生条件下连作西瓜根际土壤微生物数量的变化

处理 Treatment	细菌 Bacterial/(×10 ⁶ cfu·g ⁻¹)	真菌 Fungus/(×10 ⁶ cfu·g ⁻¹)	放线菌 Actinomycetes/(×10 ⁶ cfu·g ⁻¹)	尖孢镰刀菌 <i>Fusarium oxysporum</i> /(×10 ² cfu·g ⁻¹)
CK	551±65.77c	370±35.11a	39±5.51b	28±1.53a
T ₁	633±34.29b	147±4.36b	105±13.23a	19±4.73b
T ₂	808±35.79a	111±28.01c	112±17.95a	9±0.58c

表 4 大蒜伴生条件下连作西瓜根际土壤酶活性的变化

处理 Treatment	多酚氧化酶活性 Polyphenol oxidase /(μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	过氧化物酶活性 Peroxidase activity /(μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶活性 Urease activity /(μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	蔗糖酶活性 Sucrase activity /(μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
CK	42.79±2.39c	53.32±2.04c	309.68±17.47c	128.28±1.52a
T ₁	46.26±1.30b	68.77±0.73b	362.45±22.19b	71.33±2.56b
T ₂	48.27±0.86a	69.24±1.45a	419.10±18.93a	76.04±1.91b

多酚氧化酶、过氧化物酶、脲酶的活性,却降低了土壤蔗糖酶活性,且全生育期伴生处理的效果更明显。其中,与对照相比较, T_1 和 T_2 处理连作西瓜根际土壤多酚氧化酶活性分别显著增加 8.11%和 12.81%,过氧化物酶活性分别显著提高 28.97%和 29.86%,脲酶活性分别显著增加 17.04%和 35.33%,蔗糖酶活性分别显著降低 44.40%和 40.72%。

3 讨论与结论

3.1 大蒜伴生对连作西瓜土壤生物学特性影响

化感作用可以改良土壤理化性质,改善土壤生物学特性^[25]。土壤中的微生物对养分吸收、转运及利用具有重要作用,是衡量土壤生态质量和评价植物健康状况的重要指标^[26]。小麦化感栽培改变了西瓜根际真菌的群落组成和结构、降低了西瓜根际真菌的 Shannon 指数和 sobs 指数,对西瓜根际细菌群落及其多样性影响不大^[27]。大麦、芥菜 2 种化感作物伴生栽培辣椒显著增加了其土壤中放线菌、细菌发生数量,显著降低其真菌数量^[28]。小麦伴生栽培番茄的土壤有害真菌繁殖数量大幅显著减少,有益菌放线菌和有益细菌繁殖数量显著增加,改善了植物土壤中的菌落数量和丰富程度^[29]。本试验结果表明:大蒜套作化感栽培西瓜显著增加了栽培系统中西瓜根际土壤细菌、放线菌数量,降低了土壤真菌、尖孢镰刀菌数量,一定程度改善了土壤微生物生态。这一点在陈昱^[30]的研究中已经得到充分验证。这可能是大蒜根系细胞分泌的各种营养物质,促进根系物质间的转化,增加了根系水分和植物矿质素等元素的消化吸收,或者大蒜根系细胞分泌的某些糖类等各种物质为根系微生物正常活动繁殖提供了各种能量,并与之结合形成了相互适应的根系菌群以及菌落结构,各种根系微生物丰度的改变改善了大蒜根际土壤的微生物群落,提高了根系土壤营养质量^[31]。

西瓜土壤中的酶主要来源于动植物残体及其土壤分泌物,是一种生物活性化学物质。其活性与检测土壤层内微生物细菌数量、有机质生物含量及提供土壤所需养分生物含量均具有一定的正相关性,是检测土壤生物质量的重要化学指示性试剂^[32]。大麦伴生栽培增强了番茄根际土壤中脲酶、蛋白酶和其他蔗糖酶活性^[29];分蘖洋葱提高了洋葱番茄体系内番茄根际土壤中的脱氢酶、多酚类抗氧化酶及脲酶活性^[33];紫背天葵化感栽培提高了连作豇豆生长根系土壤中脲酶、蔗糖氧化酶、多酚类抗氧化酶和

多种磷酸酶活性^[30]。本研究结果表明:大蒜伴生化感栽培西瓜增强了西瓜根际土壤中多酚氧化酶、过氧化物酶和脲酶的活性,降低了根际土壤中蔗糖酶的活性。这一点与韩哲^[34]伴生芹菜在黄瓜上的化感研究结果一致。究其原因主要是因为伴生大蒜根系土壤分泌物更加丰富,而大蒜伴生增加了西瓜根系土壤周围纤维素、糖类等营养物质,从而间接改变伴生根际土壤微生物生态生长环境,有效提高西瓜根际土壤酶活性^[35]。

3.2 大蒜伴生对连作西瓜叶片酶促保护系统的影响

正常情况下,植物体内的氧化酶类和保护代谢系统处于平衡活动状态,当植物受到来自外界各种逆境胁迫时,细胞内各种抗氧化酶通常会通过协同相互作用,清除留在细胞内过多的细胞活性氧,避免造成细胞膜脂的过氧化。因此各种抗氧化剂的酶活性在很大程度上直接反映了细胞抗逆性的作用强弱^[36]。丙二醛是作物逆境下膜脂过程中氧化的主要代谢产物,其含量是植物细胞膜上膜脂受伤害氧化程度的重要指标。伴生大麦和芥菜化感栽培辣椒,可有效提高伴生栽培系统辣椒植株叶片过氧化物酶和过氧化氢酶活性,显著有效降低伴生栽培系统中辣椒叶片过氧化氢含量^[28];化感小麦根系分泌物能显著提高看麦娘叶片超氧歧化酶活性、过氧化物酶活性,叶片 MDA 含量比对照至少提高了 30.0%^[37];小麦-西瓜伴生化感栽培系统内,小麦化感作用增强了西瓜叶片中的 SOD 和 PPO 活性,降低了西瓜叶片中过氧化产物 MDA 的含量^[7]。本研究表明:大蒜化感栽培后,伴生栽培系统中西瓜植株叶片中的 SOD、POD 和 CAT 活性均显著大幅提高,叶片中的 MDA、 H_2O_2 含量显著大幅降低,叶片超氧阴离子清除能力显著增加。这与西瓜辣椒伴生栽培的研究结果一致^[38],也与玉米设施草莓伴生栽培的研究结果类似^[39],但与肖雪梅^[35]的大蒜伴生连作黄瓜相关研究结果完全相反。这可能是因为大蒜的多种根系分泌物直接活化了西瓜土壤,增加了西瓜对某些矿质元素的吸收,提高了西瓜叶片保护酶活性,从而减少体内有害物质积累,保护其细胞膜不受伤害^[40]。

另外,植物细胞受到自然逆境胁迫时会自动产生大量具有渗透性和调节性的物质,如脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白等,以维持植物细胞膜内渗透压的平衡,维护植物细胞正常生理功能^[41]。脯氨酸含量代表其细胞渗透调节能力的强弱大小,可溶性蛋白

含量可有效缓解高温逆境对原生植物表皮细胞的严重伤害^[42],而可溶性糖是某些物质化学合成的一种重要能量来源,对细胞膜和原生质中的胶体结构有重要的保护作用。本研究结果表明:大蒜化感西瓜栽培体系中,西瓜叶片中脯氨酸含量明显减少,可溶性糖和可溶性蛋白含量明显增加。前人研究发现盐胁迫处理后植株体内活性游离脯氨酸含量明显增加^[43],本研究结果与之正好相反,可能与品种及其在逆境中的胁迫处理时间延长有关。一般来说,高温、高盐等逆境胁迫条件下,脯氨酸大量转化积累可提高植物逆境下渗透调节能力和耐胁迫能力,有助于维持植物细胞的正常新陈代谢。也有研究表明脯氨酸是植物逆境渗透胁迫的自然产物,是植物细胞受到各种逆境胁迫伤害的自然反应^[44]。本试验研

究结果表明脯氨酸含量减少,可能是因为大蒜化感栽培减少了西瓜叶片受伤的程度,降低西瓜叶片叶中脯氨酸的大量积累。

综上所述,大蒜伴生化感栽培西瓜,显著抑制了连作西瓜枯萎病的发病率,同时,大蒜伴生栽培增强了西瓜叶片中的抗氧化生物酶活性,提高了进入西瓜叶片中的可溶性糖和可溶性蛋白含量,而降低了西瓜叶片脯氨酸含量;另外,大蒜伴生栽培还增加了西瓜根际土壤中细菌和放线菌群的数量,减少了根际真菌和尖孢镰刀菌群的数量,也增强了西瓜植株根际土壤多酚抗氧化酶、过氧化物酶和脲酶活性,降低了西瓜根际蔗糖酶活性。总之,大蒜伴生栽培显著改变了西瓜根际土壤微生态、生长环境,提高了西瓜植株抗逆性,有效缓解了西瓜的连作障碍。

参考文献:

[1] 陈 锋, 孟永杰, 帅海威, 等. 植物化感物质对种子萌发的影响及其生态学意义[J]. 中国生态农业学报, 2017, **25**(1): 36-46.
CHEN F, MENG Y J, SHUAI H W, *et al.* Effect of plant allelochemicals on seed germination and its ecological significance[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, **25**(1): 36-46.

[2] 高晓敏, 王璐钢, 云兴福, 等. 西芹醇层物对黄瓜枯萎病菌的化感作用及化感物质鉴定[J]. 中国生物防治学报, 2017, **33**(2): 281-288.
GAO X M, WANG J G, YUN X F, *et al.* Allelopathic effects of fresh parsley root ethanol extracts on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumbrinum* and allelochemicals identification[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, **33**(2): 281-288.

[3] 江冰冰, 张 彧, 郭存武, 等. 韭菜和辣椒间作对辣椒疫病的防治效果及其化感机理[J]. 植物保护学报, 2017, **44**(1): 145-151.
JIANG B B, ZHANG Y, GUO C W, *et al.* Control effects and allelopathic mechanism of pepper and Chinese chives intercropping on pepper *Phytophthora* blight [J]. *Journal of Plant Protection*, 2017, **44**(1): 145-151.

[4] 王一凡, 鲁 韵, 李二峰. 探究姜和大蒜粗提取液对甘蓝枯萎病菌的抑制作用[J]. 中国农学通报, 2020, **36**(16): 128-134.
WANG Y F, LU Y, LI E F. Crude extracts of ginger and garlic: Inhibition on cabbage *Fusarium wilt* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, **36**(16): 128-134.

[5] 缪 勇, 高希武, 江俊起, 等. 甘蓝与大蒜间作对甘蓝田主要害虫及节肢动物群落的影响[J]. 华南农业大学学报, 2013, **34**(3): 352-355.
MIAO Y, GAO X W, JIANG J Q, *et al.* Effects of intercropping of cabbage and garlic on major pests and arthropod com-

munity in spring cabbage fields[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2013, **34**(3): 352-355.

[6] 孙丛丛, 刘守伟, 吴凤芝. 不同品系小麦根系分泌物对西瓜幼苗生长的化感效应[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, **44**(5): 628-633.
SUN C C, LIU S W, WU F Z. Allelopathy effects of root exudates from different wheat cultivars on watermelon seedling growth[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2013, **44**(5): 628-633.

[7] 徐伟慧, 吴凤芝, 王志刚, 等. 连作西瓜光合特性及抗病性对小麦伴生的响应[J]. 中国生态农业学报, 2014, **22**(6): 655-660.
XU W H, WU F Z, WANG Z G, *et al.* Response of photosynthetic characteristics and disease resistance of watermelon to companion with wheat[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, **22**(6): 655-660.

[8] 赵绪生, 齐永志, 闫翠梅, 等. 小麦、玉米两熟秸秆还田土壤中6种有机酸对小麦纹枯病的化感作用[J]. 中国农业科学, 2020, **53**(15): 3 095-3 107.
ZHAO X S, QI Y Z, YAN C M, *et al.* Allelopathy of six organic acids on wheat sheath blight in the soil of winter wheat-summer maize double cropping straw returning system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, **53**(15): 3 095-3 107.

[9] 李金鑫, 叶俊伟, 刘大会. 巴茅草水浸提液对3种作物种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 应用生态学报, 2020, **31**(7): 2 219-2 226.
LI J X, YE J W, LIU D H. Allelopathic effects of *Miscanthus floridulus* on seed germination and seedling growth of three crops[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(7): 2 219-2 226.

[10] 董淑琦, 曹 鹏, 胡春艳, 等. 谷子秸秆不同部位水浸液对3种杂草的化感作用[J]. 应用生态学报, 2020, **31**(7): 2 243-

- 2 250.
- DONG S Q, CAO P, HU C Y, *et al.* Allelopathic effects of water extracts from different parts of foxtail millet straw on three kinds of weeds[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(7): 2 243-2 250.
- [11] 杨珊珊, 王 茜, 胡庭兴, 等. 3 种农作物(玉米、黄瓜、豇豆)对银木凋落叶化感作用的生理响应[J]. *应用与环境生物学报*, 2018, **24**(2): 292-298.
- YANG S S, WANG Q, HU T X, *et al.* Physiological responses to allelopathy of decomposing *Cinnamomum septentrionale* leaf litter of three crops(corn, cucumber, and cowpea)[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2018, **24**(2): 292-298.
- [12] 史洪洲, 汪扬媚, 胡庭兴, 等. 核桃凋落叶分解对小麦生长的影响及施氮的缓解效应[J]. *应用与环境生物学报*, 2017, **23**(5): 818-825.
- SHI H Z, WANG Y M, HU T X, *et al.* Effects of decomposing walnut leaf litter on growth of wheat and counteracting effect of N fertilization[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2017, **23**(5): 818-825.
- [13] ICIEK M, KWIECIEŃ I, WŁODEK L. Biological properties of garlic and garlic-derived organosulfur compounds[J]. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 2009, **50** (3): 247-265.
- [14] 刘素慧, 徐金强, 束 瑞, 等. 不同套蒜期对番茄根际土壤酶活性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, **46**(18): 104-107.
- LIU S H, XU J Q, SHU R, *et al.* Impacts of different intercropping times of garlic on soil enzyme activities in rhizosphere of tomato[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, **46**(18): 104-107.
- [15] 孙彩菊, 程智慧, 孟焕文, 等. 大棚番茄连续套蒜第 3 年作物生产和土壤养分分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, **42**(12): 102-110.
- SUN C J, CHENG Z H, MENG H W, *et al.* Analysis of crop production and soil nutrients after three years tomato/garlic continuous intercropping under plastic tunnel [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2014, **42**(12): 102-110.
- [16] 孟自力, 叶美金, 闫延梅, 等. 间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. *农业资源与环境学报*, 2018, **35**(5): 430-438.
- MENG Z L, YE M J, YAN Y M, *et al.* Soil microorganism quantity and soil enzyme activity in the wheat-garlic intercropping system[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, **35**(5): 430-438.
- [17] 喻景权, 杜尧舜. 蔬菜设施栽培可持续发展中的连作障碍问题[J]. *沈阳农业大学学报*, 2000, 31: 124-126.
- YU J Q, DU Y S. Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2000, 31: 124-126.
- [18] 黄春艳, 卜元卿, 单正军, 等. 西瓜连作病害机理及生物防治研究进展[J]. *生态学杂志*, 2016, **35**(6): 1 670-1 676.
- HUANG C Y, BU Y Q, SHAN Z J, *et al.* Research advances in mechanisms of watermelon continuous cropping diseases and its biological control[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, **35**(6): 1 670-1 676.
- [19] 吴宇佳, 谢良商, 张冬明, 等. 西瓜连作对热区土壤微生物多样性的影响[J]. *生态环境学报*, 2017, **26**(5): 778-784.
- WU Y J, XIE L S, ZHANG D M, *et al.* Response of soil microbial diversities to continuous watermelon cropping in tropical region in China[J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2017, **26**(5): 778-784.
- [20] 魏晓明, 赵银平, 杨瑞平. 设施西瓜连作障碍及防治措施研究进展[J]. *中国瓜菜*, 2016, **29**(9): 1-5.
- WEI X M, ZHAO Y P, YANG R P. Advances on watermelon continuous cropping obstacles and its prevention measures under protective cultivation[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2016, **29**(9): 1-5.
- [21] 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.
- [22] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 衰老叶片和叶绿体中 H₂O₂ 的累积与膜脂过氧化的关系[J]. *植物生理学报*, 1988, **14** (1): 16-22.
- LIN Z F, LI S S, LIN G Z, *et al.* The accumulation of hydrogen peroxide in senescing leaves and chloroplasts in relation to lipid peroxidation [J]. *Chinese Journal of Plant Physiology*, 1988, **14**(1): 16-22.
- [23] 程丽娟, 薛泉宏. 微生物学实验技术[M]. 北京: 世界图书出版公司, 2000.
- [24] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [25] 王建华, 陈 婷, 林文雄. 植物化感作用类型及其在农业中的应用[J]. *中国生态农业学报*, 2013, **21**(10): 1 173-1 183.
- WANG J H, CHEN T, LIN W X. Plant allelopathy types and their application in agriculture[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, **21**(10): 1 173-1 183.
- [26] 贾志红, 杨珍平, 张永清, 等. 麦田土壤微生物三大种群数量的研究[J]. *麦类作物学报*, 2004, **24**(3): 53-56.
- JIA Z H, YANG Z P, ZHANG Y Q, *et al.* Study on the quantity of three main colony of soil microbe in wheat farmland[J]. *Acta Tritical Crops*, 2004, **24**(3): 53-56.
- [27] 张晓晓. 小麦伴生对西瓜枯萎病和根际土壤微生物的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [28] 张福建, 陈 昱, 杨有新, 等. 伴生大麦和芥菜对连作辣椒叶片保护酶活性及根际土壤环境的影响[J]. *中国蔬菜*, 2018, (2): 42-46.
- ZHANG F J, CHEN Y, YANG Y X, *et al.* Effect of companion barley and mustard on protective enzyme activity and root soil environment of continuous cropping pepper[J]. *China Vegetables*, 2018, (2): 42-46.
- [29] 杨瑞娟, 王腾飞, 周 希, 等. 禾本科作物伴生对番茄根区土壤酶活性、微生物及根结线虫的影响[J]. *中国蔬菜*, 2017, (3): 38-42.
- YANG R J, WANG T F, ZHOU X, *et al.* Effects of com-

panion cereal crops on soil enzyme activities, microorganism and root knot *Nematodes* of tomato rhizosphere[J]. *China Vegetables*, 2017,(3): 38-42.

[30] 陈 昱, 张福建, 杨有新, 等. 伴生芹菜和紫背天葵对连作豇豆生长发育及根际土壤环境的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, **24**(5): 1 406-1 414.

CHEN Y, ZHANG F J, YANG Y X, *et al.* Effect of celery and *Gynura bicolor* as companion crops on growth and development of cowpea as continuous crop and soil rhizosphere[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2018, **24**(5): 1 406-1 414.

[31] 吴会芹, 董林林, 王 倩. 大蒜对日光温室黄瓜生长及土壤生物学特性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, **16**(3): 95-99.

WU H Q, DONG L L, WANG Q. Effects of garlic on cucumber growth and soil biology in solar greenhouse [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, **16**(3): 95-99.

[32] 万忠梅, 吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, **33**(6): 87-92.

WAN Z M, WU J G. Study progress on factors affecting soil enzyme activity[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 2005, **33**(6): 87-92.

[33] 吴 瑕, 吴凤芝, 周新刚. 分蘖洋葱伴生对番茄矿质养分吸收及灰霉病发生的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, **21**(3): 734-742.

WU X, WU F Z, ZHOU X G. Effect of intercropping with tillered onion on mineral nutrient uptake and gray mold disease occurrence of tomato[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, **21**(3): 734-742.

[34] 韩 哲, 刘守伟, 潘 凯, 等. 不同栽培模式对黄瓜根际土壤酶活性及细菌群落结构的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, **18**(4): 922-931.

HAN Z, LIU S W, PAN K, *et al.* Effects of cultivation modes on soil enzyme activities and bacterial community structures in the cucumber rhizosphere[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, **18**(4): 922-931.

[35] 肖雪梅. 套作大蒜和青蒜消减大棚黄瓜连作障碍的效果及机理研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2013.

[36] 陈 磊, 朱月林, 杨立飞, 等. 氮素不同形态配比对菜用大豆生长、种子抗氧化酶活性及活性氧代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, **16**(3): 768-772.

CHEN L, ZHU Y L, YANG L F, *et al.* Effects of nitrogen forms and ratios on plant growth, seed antioxidant enzyme activities and reactive oxygen metabolism of vegetable soybean[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, **16**(3): 768-772.

[37] 邱秋金, 洪 涌, 肖清铁, 等. 化感小麦根系分泌物对看麦娘生长及保护酶活性的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, **48**(5): 545-549.

QIU Q J, HONG Y, XIAO Q T, *et al.* Impacts of root exudates from allelopathy wheat (*Triticum aestivum* L.) on the growth and protective enzyme activity of *Alopecurus aequalis* (L.)[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (Natural Science Edition), 2019, **48**(5): 545-549.

[38] 陈 潇, 盛萍萍, 刘润进, 等. 西瓜与辣椒间作体系接种 AM 真菌对连作西瓜植株生长和防御酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2014,(12): 6-9.

CHEN X, SHENG P P, LIU R J, *et al.* Effect of intercropping system of pepper-watermelon crops inoculating arbuscular mycorrhizal fungus on growth and defence enzymes activity of the continuous cropping watermelon [J]. *Northern Horticulture*, 2014,(12): 6-9.

[39] 关 玲, 赵密珍, 于红梅. 套作玉米对草莓生长生理特性及其产量和品质的影响[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(9): 1 692-1 699.

GUAN L, ZHAO M Z, YU H M. Growth, physiology, yield and quality changes of strawberry intercropping with corn[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(9): 1 692-1 699.

[40] 杨瑞平. 西瓜连作障碍缓解技术及其机理研究[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2016.

[41] 陈淑芳, 朱月林, 刘友良, 等. NaCl 胁迫对番茄嫁接苗保护酶活性、渗透调节物质含量及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2005, **32**(4): 609-613.

CHEN S F, ZHU Y L, LIU Y L, *et al.* Effects of NaCl stress on activities of protective enzymes, contents of osmotic adjustment substances and photosynthetic characteristics in grafted tomato seedlings [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, **32**(4): 609-613.

[42] 刘开力, 韩航如, 徐颖洁, 等. 外源一氧化氮对盐胁迫下水稻根部脂质过氧化的缓解作用[J]. 中国水稻科学, 2005, **19**(4): 333-337.

LIU K L, HAN H R, XU Y J, *et al.* Exogenous nitric oxide alleviates salt stress-induced membrane lipid peroxidation in rice seedling roots[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, **19**(4): 333-337.

[43] 张云起, 刘世琦, 杨凤娟, 等. 耐盐西瓜砧木筛选及其耐盐机理的研究[J]. 西北农业学报, 2003, **12**(4): 105-108.

ZHANG Y Q, LIU S Q, YANG F J, *et al.* Study on the screening of salt-tolerant watermelon stock and mechanism of salt-tolerance[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2003, **12**(4): 105-108.

[44] DEUSCHLE K, FUNCK D, FORLANI G, *et al.* The role of $\Delta 1$ -pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase in proline degradation[J]. *The Plant Cell*, 2004, **16**(12): 3 413-3 425.

(编辑:裴阿卫)