



张芮,温文,董博,等.不同水分条件下菌肥施用对陇椒产量与品质的影响[J].江西农业大学学报,2023,45(2):337-348.
ZHANG R,WEN W,DONG B,et al.Effects of bacterial fertilizer application on yield and quality of plateau long pepper under different water conditions[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2023,45(2):337-348.

不同水分条件下菌肥施用对陇椒产量与品质的影响

张芮¹,温文^{1*},董博²,高彦婷¹,张海粟¹,陈志丕³

(1.甘肃农业大学 水利水电工程学院,甘肃 兰州 730070;2.甘肃省农业科学院 旱地农业研究所,甘肃 兰州 730070;3.定西市水利科学研究所,甘肃 定西 744300)

摘要:【目的】探索高原半干旱地区陇椒在不同土壤水分和菌肥施用条件下的高产优质栽培模式。【方法】采取双因素随机区组试验,设置3个全生育期水分梯度:45%~55% θ_f (W1)(θ_f 为田间持水率)、55%~65% θ_f (W2)、65%~75% θ_f (W3);在此基础上分设3个菌肥管理,F0:不施菌肥,F1:6 g/m²(基施3 g/m²,开花坐果期追施等量菌肥),F1:12 g/m²(基施6 g/m²,开花坐果期追施等量菌肥),共9个水分和菌肥组合处理,用于研究不同水菌组合对陇椒的光合特性、SPAD值、产量和果实品质的影响。【结果】施加菌肥对陇椒光合作用、产量、果实品质均有正向作用,菌肥施用量存在阈值,6 g/m²菌肥施用量总体表现最佳。土壤水分为45%~55% θ_f 的处理有助于陇椒品质提升,总体上土壤水分为65%~75% θ_f 的条件下陇椒的光合特性、SPAD值、总产量及果实品质表现最好。【结论】土壤含水率为65%~75% θ_f ,施6 g/m²菌肥的组合为最佳水菌调控模式。

关键词:水分调控;微生物菌肥;高原陇椒;光合作用;果实品质;产量

中图分类号:S641.3 文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2023)02-0337-12



Effects of Bacterial Fertilizer Application on Yield and Quality of Plateau Long Pepper under Different Water Conditions

ZHANG Rui¹, WEN Wen^{1*}, DONG Bo², GAO Yanting¹,
ZHANG Haisu¹, CHEN Zhipi³

(1. College of water conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of dryland agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 3. Dingxi water conservancy Research Institute, Dingxi, Gansu 744300, China)

Abstract: [Objective] This study aims to investigate the high yield and high quality cultivation mode of Long pepper under different soil moisture and bacterial fertilizer application conditions in semi-arid area of plateau. [Method] A double-factor randomized block experiment was conducted, three water gradients were set in the whole growth period: W1: 45%–55% field capacity, W2: 55%–65% field capacity, W3: 65%–75% field

收稿日期:2022-09-20 修回日期:2022-11-27

基金项目:甘肃省重点研发计划项目(20YF8NA107)

Project supported by the Key R&D Program of Gansu Province(20YF8NA107)

作者简介:张芮,教授,博士,博士生导师,主要从事节水灌溉与水资源利用研究, orcid.org/0000-0003-3292-899 X, zhr_1029@163.com; *共同第一作者。

capacity, and bacterial fertilizer was applied with 0 g/m², (F0), 6 g/m² (F1) and 12 g/m² (F2) respectively. The amount of bacterial fertilizer was divided into two equal doses, and half of the bacterial fertilizer was applied before transplanting Long pepper, the other half was applied at the flowering and fruit setting stage. The photosynthetic characteristics (net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance), SPAD value, yield and quality (VC mass ratio, soluble sugar, total capsaicin) of Long pepper were analyzed under different water and bacteria treatment conditions, in order to select the best dosage of bacterial fertilizer and appropriate soil moisture value for production. [Result] Application of bacterial fertilizer had positive effects on photosynthesis, yield and fruit quality of Long pepper. The application rate of bacterial fertilizer had a threshold value, and the application rate of 6 g/m² had the best overall performance. The treatment with soil moisture of 45%–55% field capacity was helpful to improve the quality of Long pepper. In general, the photosynthetic characteristics, SPAD value, total yield and fruit quality of Long pepper showed the best performance under the condition of soil moisture of 65%–75% field capacity. [Conclusion] Soil moisture content ranged from 65% to 75% field capacity, and 6 g/m² of bacterial fertilizer was the best water–bacteria regulation method.

Keywords: water regulation; bacterial fertilizer; plateau long pepper; photosynthesis; fruit quality; yield

【研究意义】甘肃省定西市位于甘肃中部,是典型的高原半干旱地区,该地区经济发展较为落后,农民对于摆脱贫困十分渴望。陇椒,因其产量高、营养丰富、市场需求大及适宜于北方地区露地栽培等^[1],现已成为定西农民脱贫致富的首选作物。土壤水分对植物生长及土壤微生物环境有着显著影响^[2-3],适宜的土壤水分是保证辣椒生长发育的基础。解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)是广泛使用的生物肥料,不仅可直接促进植物生长^[4],增加叶片叶绿素含量,提高叶片的净光合速率^[5],而且作为根际促生菌肥可以有效提升土壤肥力^[6],促进植物健康生长^[7]。因此,探索适宜的水分菌肥管理模式,对节约水资源、降低环境污染及提高陇椒产量品质具有重要意义。【前人研究进展】大量学者在确定辣椒适宜的土壤水分条件方面做出了很多研究。彭强等^[8]对辣椒叶片叶绿素含量、光合特性、保护酶活性和水分利用效率等方面研究的基础上,提出坐果期 70%~85% 田间持水率是辣椒理想的灌溉指标;陈芳等^[9]在对辣椒的干旱胁迫研究结果表明,60%~70% 田间持水量可以满足辣椒基本生长要求;刘佳等^[10]研究发现,干旱气候条件下 60% 田间持水量的土壤水分可以满足陇椒 2 号的正常生长。合理施用生物菌肥是优质高产的重要保障。张莉等^[11]研究发现,施用解淀粉芽孢杆菌 QST713 可以有效增强黄瓜幼苗的光合能力。王鲁等^[12]研究发现,施用解淀粉芽孢杆菌 HM618 可以显著增加小麦幼苗的叶绿素含量。保善存等^[13]研究发现,适量的解淀粉芽孢杆菌生物剂可以改善枸杞的生长状况,增加枸杞产量,改善果实品质。

【本研究切入点】由此可见,适宜的土壤水分和菌肥施用均是优质高产的重要因素,然而国内对陇椒的研究集中于新品种选育^[14]、水分调控^[15-16]和对不同肥料的响应^[17]等方面,未见水分和菌肥组合施用的大田试验研究。【拟解决的关键问题】定西等陇中半干旱区水资源极为紧缺,土壤贫瘠。因此,研究该区域不同水分条件下菌肥施用对陇椒产量品质的影响,筛选适宜的水菌组合调控模式,可为高原半干旱地区陇椒高产优质高效栽培提供重要理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试陇椒品种为‘陇椒 11 号’,由甘肃省农业科学院提供。

供试菌肥为甘肃尚农生物科技有限公司生产的“菌益多天然微生物菌肥”,有效成分为解淀粉芽孢杆菌 EZ99,实际活菌数为 5 亿 CFU/g。

1.2 试验区概况

试验于 2021 年 4 月至 2021 年 10 月在甘肃省定西市灌溉试验基地(37°52'N, 102°50'E, 海拔 1 958 m)

进行,该试验基地位于黄土高原西部丘陵区,属半干旱区,光能较多,年日照时间为2 409 h,年均气温6.3 ℃。试验地土壤以黄棉土为主,pH 8.3,田间持水率为24%,土壤基本理化性质如表1所示。

表1 试验区土壤基本理化性质

Tab.1 The basic physical and chemical properties of soil in experimental plots

平均孔隙率/%	土壤容重/(g·cm ⁻³)	铵态氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(mg·kg ⁻¹)
Average porosity	Soil bulk density	Ammonium nitrogen	Available phosphorus	Quick potash	Organic matter
55	1.5	13.46	31.26	186.17	10.22

1.3 试验设计

设置3个田间持水量条件W1、W2和W3,分别为田间持水量的45%~55%、55%~65%和65%~75%;3个菌肥施用量F0、F1和F2,施用量分别为0,6,12 g/m²,组成9个水分菌肥处理条件,各处理随机区组排列,试验重复3次。

5月上旬进行大田布置,试验采用起垄沟灌,湿润层40 cm,按作物种植走向开沟起垄,将菌肥称重均匀施于土壤中,起垄覆膜。垄宽80 cm,高20 cm,垄长9 m,沟深20 cm,沟宽40 cm。5月中旬移栽陇椒,单垄种植两排陇椒,行距30 cm,两行之间交错种植,穴距35 cm,每穴栽两株。移栽后对移栽地及时灌水,幼苗成活后进行全生育期水分调控。

7月10日后陇椒进入开花坐果阶段,此时期植株发育完整,代谢活动日渐旺盛,是产量和品质形成最关键的时期,其光合特性(净光合速率、气孔导度、蒸腾速率)及SPAD值数据具有代表性。本试验于7月26日追施等量菌肥,为更准确地观察水分菌肥处理对陇椒光合能力的影响,分别于追肥前(7月22日)、追肥后(8月1日)测定了陇椒叶片光合特性(净光合速率、气孔导度、蒸腾速率)及SPAD值。陇椒果实分别于8月4日、8月23日、9月18日、10月8日进行了4次收获采摘。

1.4 数据测定及方法

1.4.1 光合特性及SPAD值检测 采用Li-6400便携式光合作用测定仪检测光合特性(净光合速率、气孔导度、蒸腾速率),采用SPAD-502 Plus便携式叶绿素仪测定叶片SPAD值。于追施菌肥前后挑选晴朗无云的天气测定。

1.4.2 产量测算 每次陇椒采摘后,用电子秤实测各处理收获重量,根据处理所占面积换算为公顷产量。

1.4.3 VC含量测定 采用2,6-二氯酚酚滴定法^[18](GB5009.86—2016)测定,取3次重复平均值。

1.4.4 可溶性糖测定 采用蒽酮乙酸乙酯比色法^[19]测定,取3次重复平均值。

1.4.5 总辣椒素测定 根据中华人民共和国农业行业标准NY/T1381—2007,采用高效液相色谱法测定总辣椒素含量,取3次平均值。

1.5 数据处理与分析

采用Excel软件进行数据整理和绘图。使用SPSS26软件对数据进行方差分析,并用最小显著法(Duncan's)进行多重比较,使用双因素方法(Two-way ANOVA)进行水分处理与菌肥处理及其交互效应分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分菌肥处理对陇椒光合特性及SPAD值的影响

2.1.1 不同水分菌肥处理对陇椒净光合速率 P_n 的影响 净光合速率 P_n 是指净光合作用产生糖类的速率,是表示植物在单位时间内积累有机物量的重要指标。如表2所示,追肥前,水分和菌肥单独处理均极显著影响 P_n ,二者交互作用的影响不显著,表现为水分处理>菌肥处理>水分菌肥交互。各水分菌肥处理中,W3F1表现最佳, P_n 值达22.18 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。水分菌肥交互作用不显著,表现为菌肥处理>水分处理>水菌交互。追肥后各处理中W3F1表现最佳,达26.03 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

2.1.2 不同水分菌肥处理对陇椒气孔导度 G_s 的影响 如表2所示,追肥前,水分处理极显著影响 G_s ,菌肥处理及水分菌肥交互对陇椒 G_s 值影响不显著,各水分菌肥处理中,W3F1处理 G_s 值最大,达0.42 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

相较追肥前,追肥后菌肥处理及水分菌肥交互均对 G_s 值的影响为极显著,表现为菌肥处理>水分处理>水分菌肥交互,各水分菌肥处理中,W3F1 处理 G_s 值最大,达 $0.63 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.1.3 不同水分菌肥处理对陇椒蒸腾速率 T_r 的影响 如表 2 所示,追肥前,水分处理极显著影响 T_r ,菌肥处理显著影响 T_r 值,交互作用影响不显著。各水分菌肥处理中,W3F1 表现最佳, T_r 值达 $9.61 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。追肥后,水分处理、菌肥处理及水分菌肥交互均达到极显著水平,表现为菌肥处理>水分处理>水菌交互,各水分菌肥处理中,W3F1 处理 T_r 值最大,达 $11.64 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.1.4 不同水分菌肥处理对陇椒 SPAD 值的影响 如表 3 所示,追肥前,水分处理对 SPAD 值影响显著,菌肥处理及水分菌肥交互不显著。各水分菌肥处理中,W3F1 处理 SPAD 值最大,达 53.3。追肥后,水分菌肥交互显著影响 SPAD 值,水分处理、菌肥处理达极显著水平,表现为水分处理>菌肥处理>水菌交互。各水分菌肥处理中,W3F1 处理 SPAD 值最大,达 64。

表 2 不同时期陇椒叶片光合作用参数

Tab.2 Parameters of photosynthesis of long pepper leaves in different periods

不同时期 Different periods		处理 Treatment	净光合速率 P_n / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate	气孔导度 G_s / ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Stomatal conductance	蒸腾速率 T_r / ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate
追施菌肥前 Before topdressing the <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>		W1F0	16.04±1.44 ^c	0.29±0.06 ^b	3.74±0.02 ^d
		W1F1	19.52±1.88 ^{bcd}	0.34±0.14 ^{ab}	4.45±0.83 ^d
		W1F2	16.55±0.68 ^c	0.3±0.04 ^b	3.66±1.3 ^d
		W2F0	16.59±1.19 ^c	0.29±0.05 ^b	4.93±0.13 ^{cd}
		W2F1	18.41±0.94 ^{cd}	0.3±0.01 ^b	5.87±0.54 ^c
		W2F2	17.64±0.3 ^{de}	0.28±0.04 ^b	5.81±0.84 ^c
		W3F0	20.41±2.29 ^{abc}	0.415±0.08 ^a	9.32±1.72 ^a
		W3F1	22.18±2.02 ^a	0.42±0.05 ^a	9.61±0.7 ^a
		W3F2	21.71±3.59 ^{ab}	0.34±0.06 ^{ab}	7.99±1.56 ^b
	追施菌肥后 After topdressing the <i>Ba-</i> <i>cillus amyloliquefaciens</i>		W1F0	15.14±1.86 ^c	0.24±0.03 ^d
		W1F1	22.6±3.95 ^{bc}	0.55±0.14 ^{abc}	8.94±1.78 ^{cd}
		W1F2	18.87±0.11 ^d	0.56±0.04 ^{ab}	10.12±0.02 ^{bc}
		W2F0	18.4±0.92 ^d	0.5±0.11 ^{bc}	9.43±0.76 ^b
		W2F1	24.81±2.42 ^{ab}	0.6±0.11 ^{ab}	10.45±0.93 ^b
		W2F2	23.49±1.45 ^{bc}	0.51±0.07 ^{bc}	9.54±0.58 ^{bc}
		W3F0	21.63±2.26 ^c	0.45±0.11 ^c	8.06±1.47 ^d
		W3F1	26.03±1.21 ^a	0.63±0.07 ^a	11.64±0.75 ^a
	W3F2	24.72±1.15 ^{ab}	0.57±0.04 ^{ab}	10.44±0.88 ^b	
方差分析 (<i>F</i> 值检验) Analysis of variance (<i>F</i> value test)	追施菌肥前	W	27.88 ^{**}	10.89 ^{**}	114.92 ^{**}
	追施菌肥后	F	7.39 ^{**}	2.24 ^{NS}	3.29 [*]
	交互作用	W×F	0.87 ^{NS}	0.75 ^{NS}	1.89 ^{NS}
	追施菌肥前	W	32.09 ^{**}	7.05 ^{**}	18.2 ^{**}
	追施菌肥后	F	43.34 ^{**}	25.92 ^{**}	39.06 ^{**}
	交互作用	W×F	1.36 ^{NS}	5.33 ^{**}	8.8 ^{**}

数值为“平均值±标准差”,同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),*和**分别表示 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$ 水平存在显著性差异,NS表示 $\alpha = 0.05$ 水平不存在显著性差异。

The value is “mean±standard deviation”, different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$). * and ** indicated significant difference at $\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$ levels, respectively, NS indicated no significant difference at $\alpha = 0.05$ level.

表 3 不同时期陇椒叶片 SPAD 值
Tab.3 Parameters of SPAD value of Long pepper leaves in different periods

不同时期 Different periods	W1F0	W1F1	W1F2	W2F0	W2F1	W2F2	W3F0	W3F1	W3F2
追施菌肥前 Before topdressing the <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	45.4±6.2 ^b	49.3±4.4 ^{ab}	48.8±0.3 ^{ab}	51.2±1.5 ^{ab}	51.4±4 ^{ab}	50.7±2.1 ^{ab}	49.4±1.1 ^{ab}	53.3±3.3 ^a	52.8±1 ^a
追施菌肥后 After topdressing the <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	54.8±2.8 ^d	55.1±1 ^d	56.4±1.1 ^{cd}	56±0.8 ^{cd}	61.6±2.3 ^{ab}	56.6±2.2 ^{cd}	58.7±2.7 ^{bc}	64±1.4 ^a	62.9±0.7 ^a
		追施菌肥前 Before topdressing the <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>			追施菌肥后 After topdressing the <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>				
方差分析(F值检验) Analysis of variance (F value test)	W	3.95 [*]			27.98 ^{**}				
	F	1.6 ^{NS}			9.2 ^{**}				
	W×F	0.49 ^{NS}			3.34 [*]				

数值为“平均值±标准差”,同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),*和**分别表示 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平存在显著性差异,NS表示 $\alpha=0.05$ 水平不存在显著性差异。

The value is “mean±standard deviation”, different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). * and ** indicated significant difference at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ levels, respectively, NS indicated no significant difference at $\alpha=0.05$ level.

2.2 不同水分菌肥处理对陇椒产量及品质的影响

2.2.1 不同水分菌肥处理对陇椒产量的影响 4次收获产量由高到低依次为:第2次收获>第1次收获>第3次收获>第4次收获。如表4所示,从总产量上看,水分处理与菌肥处理极显著影响陇椒产量,

表 4 不同处理的陇椒产量

Tab.4 Yield of long pepper with different treatments

处理 Treatment	第1次收获/ (kg·hm ⁻²) First harvest	第2次收获/ (kg·hm ⁻²) Second harvest	第3次收获/ (kg·hm ⁻²) Third harvest	第4次收获/ (kg·hm ⁻²) Fourth harvest	总产量/ (kg·hm ⁻²) Total output	
W1F0	9 694±1 834 ^d	12 401±2 560 ^f	6 356±408 ^c	3 197±713 ^d	31 649±4 110 ^d	
W1F1	10 542±616 ^{cd}	13 879±974 ^{ef}	6 860±438 ^c	3 377±875 ^d	34 657±630 ^d	
W1F2	9 777±2 670 ^d	12 992±581 ^f	6 480±591 ^c	3 462±545 ^{cd}	32 711±2 667 ^d	
W2F0	12 367±439 ^{bcd}	16 076±1 992 ^{de}	7 030±419 ^{bc}	4 435±379 ^{bc}	39 908±2 861 ^c	
W2F1	13 961±830 ^b	17 023±871 ^d	8 254±511 ^a	5 463±879 ^{ab}	44 700±2 031 ^b	
W2F2	12 862±820 ^{bc}	20 240±1 135 ^{bc}	7 048±120 ^{bc}	4 464±196 ^{abc}	44 613±2 011 ^b	
W3F0	13 290±1 320 ^b	18 409±1 339 ^{cd}	7 894±624 ^{ab}	4 816±234 ^{ab}	44 409±448 ^b	
W3F1	19 372±1 576 ^a	23 894±1 535 ^a	8 369±242 ^a	5 551±574 ^a	57 186±2 762 ^a	
W3F2	17 144±1 445 ^a	22 273±2 104 ^{ab}	8 637±837 ^a	5 026±287 ^{ab}	53 080±2 428 ^a	
方差分析(F值检验) Analysis of variance (F value test)	W	47.11 ^{**}	64.49 ^{**}	26.42 ^{**}	24.29 ^{**}	128.26 ^{**}
	F	8.73 ^{**}	9.19 ^{**}	4.79 [*]	3.06 ^{NS}	18.44 ^{**}
	W×F	3.09 [*]	3.39 [*]	1.72 ^{NS}	0.75 ^{NS}	3.77 [*]

数值为“平均值±标准差”,同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),*和**分别表示 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 水平存在显著性差异,NS表示 $\alpha=0.05$ 水平不存在显著性差异。

The value is “mean ± standard deviation”, different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). * and ** indicated significant difference at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ levels, respectively, NS indicated no significant difference at $\alpha=0.05$ level.

水分菌肥交互也显著影响陇椒总产量,表现为水分处理>菌肥处理>水菌交互,W3F1总产量最高,为57 186 kg/hm²。W1、W2、W3水分条件下,F1、F2较F0处理分别提升3%~10%、11.8%~12%、20%~29%。从水分处理角度看,各采摘时期水分处理均极显著影响陇椒产量,且W3处理产量均为最高。从菌肥处理角度看,菌肥处理对第1次与第2次收获产量影响极显著,对第3次收获产量影响显著。从水分菌肥交互看,水分与菌肥处理只对第1次收获与第2次收获产量表现出显著的交互作用;从4个收获批次看,水分菌肥处理W3F1、W3F1、W3F2与W3F1的产量依次达到最高。

2.2.2 不同水分菌肥处理对陇椒维生素C含量的影响 4次收获维生素C含量由高到低依次为:第3次收获>第2次收获>第4次收获>第1次收获。从4次收获的平均值可以看出,水分处理是影响陇椒VC含量的主要因素,水分和菌肥处理具有极显著的交互作用(表5)。各水分菌肥处理中,W1F1表现最好,VC平均含量达80.4 mg/kg(图1A)。在W1、W2、W3条件下,F0处理均为最低,施加菌肥使VC含量分别提高0.4%~30%、3%~27%、25%~30%。从水分角度看,各收获时期水分处理均极显著影响了VC含量(表5),且W1处理均为最高。从菌肥角度看,第1次采摘时菌肥处理影响不显著,第2次收获到第4次收获极显著影响VC含量。水分菌肥交互作用在第2次采摘至第4次采摘时对VC含量的影响达到极显著水平。各时期VC含量最高的水分菌肥处理分别为W1F2、W1F1、W1F1和W1F1,分别达45.2, 83, 107.3, 89.5 mg/kg(图1A)。

表5 不同时期的陇椒营养品质的方差分析

Tab.5 Analysis of variance on nutritional quality of long pepper in different periods

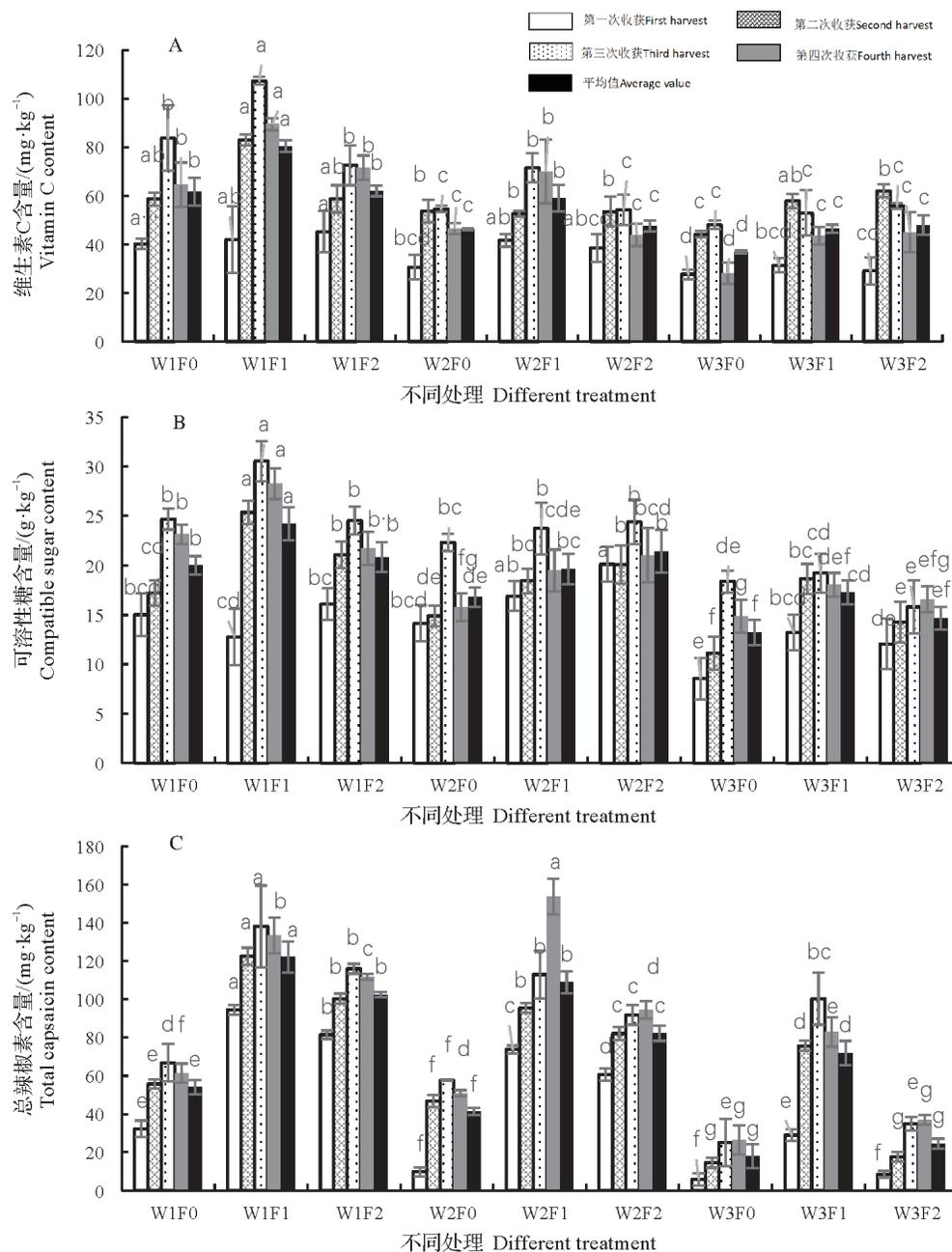
		第1次收获			第2次收获			第3次收获			第4次收获			平均值		
		First harvest			Second harvest			Third harvest			Fourth harvest			average value		
		可溶性糖	总辣椒素		可溶性糖	总辣椒素		可溶性糖	总辣椒素		可溶性糖	总辣椒素		可溶性糖	总辣椒素	
	VC	Soluble sugars	Total capsaicin	VC	Soluble sugars	Total capsaicin	VC	Soluble sugars	Total capsaicin	VC	Soluble sugars	Total capsaicin	VC	Soluble sugars	Total capsaicin	
方差分析	W	9.4*	17.8**	847.9**	36.9**	41.7**	846.8**	67.8**	50.1**	54.7**	65.4**	51.2**	210.4**	128.5**	50.2**	291.5**
(F值检验)	F	2 ^{NS}	6.6**	716.4**	23.5**	40.8**	866**	16.1**	6.7**	84.4**	23.1**	12.4**	345.1**	40**	15.5**	365.7**
Analysis of variance	W×F	0.5 ^{NS}	3 [°]	79.4**	18.9**	4.2 [°]	62.4**	5.8 [°]	3.4 [°]	4.7**	3.5 [°]	5**	17.7**	7.3**	3.1 [°]	15.7**
(F value test)																

*和**分别表示α=0.05和α=0.01水平存在显著性差异,NS表示α=0.05水平不存在显著性差异。

* and ** indicated significant difference at α=0.05 and α=0.01 levels, respectively, NS indicated no significant difference at α=0.05 level.

2.2.3 不同水分菌肥处理对陇椒可溶性糖含量的影响 4次收获可溶性糖含量由高到低依次为:第3次收获>第4次收获>第2次收获>第1次收获。从4次收获的平均值可以看出,水分处理是影响陇椒可溶性糖含量的主要因素(表5),水分和菌肥处理具有显著的交互作用,各水分菌肥处理中,W3F1处理的可溶性糖平均含量最高,达24.22 g/kg(图1B)。在W1、W2、W3条件下,F0处理均为最低,施加菌肥使可溶性糖含量分别提高4%~21%、17%~28%、11%~31%。各收获时期,水分处理、菌肥处理均极显著影响了可溶性糖含量,水分和菌肥处理也表现出了显著的交互作用(表5)。各时期可溶性糖含量最高的处理分别为W2F1、W1F1、W1F1和W1F1,达20.13, 25.35, 30.53, 28.25 g/kg。

2.2.4 不同水分菌肥处理对陇椒总辣椒素含量的影响 4次收获总辣椒素含量由高到低依次为:第4次收获>第3次收获>第2次收获>第1次收获。从4次收获平均值可以看出,菌肥处理是影响总辣椒素含量的主要因素(表5),水分和菌肥处理具有极显著的交互作用,各水分菌肥处理中,W1F1处理的总辣椒素含量最高,达122.14 mg/kg(图1C)。在W1、W2、W3条件下,F0处理含量均为最低,施加菌肥使总辣椒素含量分别提高89%~126%、99%~164%、36%~300%。各收获时期,水分处理、菌肥处理、水分菌肥交互均极显著影响了总辣椒素含量(表5)。各时期总辣椒素含量最高的处理均为W1F1,达94.53, 122.56, 138.13, 133.62 mg/kg。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。

Different lowercase letters represent significant differences ($P < 0.05$), while the same lowercase letters represent no significant differences ($P > 0.05$).

图 1 不同水分条件下菌肥施用对陇椒品质的影响

Fig.1 Effects of fungal fertilizer application on the quality of long pepper under different water conditions

3 讨论与结论

解淀粉芽孢杆菌是典型的植物根际促生菌(PGPR),能够产生多种植物激素类物质,调节植物的生长发育^[20]。多数芽孢杆菌还能通过自身生命活动产生铁载体蛋白,加强植物对铁元素的吸收,促进合成叶绿体,进而加强作物的光合能力^[21]。薛磊等^[22]在对鼓节竹的研究中发现,生物菌肥能一定程度提高作物对光能的利用率,马甜等^[23]研究发现,施用解淀粉芽孢杆菌EZ99有助于提高白芨的光合速率,使叶绿素SPAD值处于较高水平。本试验在陇椒基施解淀粉芽孢杆菌菌肥EZ99的基础上,于开花盛果期追施等量菌肥,结果表明追肥后陇椒的光合特性参数 P_n 、 T_r 、 C_s 和叶片SPAD值比追肥前有所提升,且菌肥处理对陇椒光合特性参数影响力高于水分处理,说明追施菌肥EZ99对提升陇椒光合能力效果明显,有利于

陇椒光合能力的提升。

土壤含水量高低不但直接影响微生物的繁殖和生命活动^[24],还会对作物生长及其根际环境造成影响^[25],进而影响微生物群落的生长^[26],使菌肥的效果发生差异^[27]。此外,微生物还会改变土壤团聚结构,增强土壤保水能力。水分与菌肥的相互作用会对作物产生显著影响。本试验中,追施菌肥 EZ99 能加强水分菌肥交互作用,具体表现为:追肥前各指标水分菌肥交互作用均不显著,在追施菌肥后 T_r 、 G_s 及 SPAD 值发生显著水菌交互作用。这可能是由于基施菌肥微生物的存活率受气候、土壤微环境等因素影响,随时间变化,微生物肥料肥效降低,在追施菌肥后,土壤微生物促生菌群落数增加,这为土壤水分和微生物呈显著交互作用提供了先决条件。

陇椒作为一种经济作物,其产量直接影响农户的经济收入。水分是影响作物产量的重要因素,本研究表明水分处理极显著($P < 0.01$)影响陇椒所有 4 个收获批次的产量(表 4),陇椒的总产量随着土壤水分的降低而减少,W1(45%~55%)处理减产严重,相似结论在马雅丽等^[28]研究中得到印证。另一方面,微生物菌肥能够提高土壤养分,为作物的高产提供坚实的基础^[29]。本研究发现追施菌肥 EZ99 对前两批次陇椒收获产量影响极显著,对第 3 批收获产量影响达到显著水平,而对第 4 批次产量影响不显著,说明该菌肥的肥效具有明显的衰减特性;另外,水分与菌肥交互作用对第 1、2 批次陇椒收获产量和总产量有显著影响,而对第 3、4 批次产量交互作用不明显。

本试验中相对较低的土壤水分处理能极显著提高陇椒可溶性糖、VC 和总辣椒素含量,这是由于较低的土壤水分,促使植物发生生理生态变化来应对土壤的水分胁迫^[30]。姜露露^[31]在对无花果进行水分胁迫的研究中发现,水分胁迫可以有效提升果实中可溶性糖与 VC 含量。有学者研究发现,土壤水分的降低有利于增加辣椒中辣椒素类物质的含量^[32-33],类似研究结果也出现在彭琼等^[34]的研究中。另外,有研究表明施用菌肥可以提升作物产量及品质,且影响显著^[35-37]。本试验中,菌肥处理极显著影响陇椒 VC 含量、可溶性糖含量、总辣椒素含量的平均值,施加 EZ99 菌肥,陇椒果实 VC、可溶性糖及总辣椒素含量较不施菌肥有明显提升(图 1),与相关的研究结果一致^[38-41]。同时,研究表明,水分菌肥交互作用显著影响陇椒可溶性糖平均含量,极显著影响 VC 和总辣椒素平均含量(表 5)。另外,EZ99 菌肥施用量存在阈值,适宜的微生物菌肥施用量是高产的重要条件,过量的菌肥并不会引起作物长势及产量的显著变化^[42]。张建平^[43]研究发现,解淀粉芽孢杆菌 EZ99 做基肥有利于元胡的增产,在 30~75 kg/hm² 的范围中,45 kg/hm² 效果最好。本研究设置的 EZ99 菌肥处理中,相比 F2(12 g/m²)处理,F1(6 g/m²)处理下陇椒产量及品质表现更优,这可能是添加超出土壤承受范围的微生物会与作物竞争土壤养分,并且在植物根部形成菌膜,阻碍作物吸收养分^[44-45]。

在自然界中,水分、土壤、植物和微生物之间有着复杂的互作关系,不同的水分条件导致生物菌肥的生产力不同是多方因素共同作用的结果。水分作为显著影响土壤生态的因素,能够直接改变菌肥的肥力表达效果。当周围水分过低时,土壤微生物会分泌大量物质调节细胞内外渗透压甚至进入休眠状态^[46],这无疑降低了土壤养分的利用效率,阻碍了微生物菌肥与植物的促进发展,使得菌肥肥效大打折扣。水分也直接影响着水、肥、气、热的协调,土壤水分导致的外部环境差异也会影响微生物的繁殖发育,另外,土壤水分含量的不同还会使敏感的土壤根部发育不同,这会使得与植物保持共生关系的土壤微生物结构发生改变,进而影响生物菌肥的效果。本试验设计的水分条件下,W3(田间持水量的 65%~75%)更有利于菌肥的肥力表达,这与 Ali 等^[47]对根际促生菌对胡萝卜产量和品质影响的研究结果类似。这是因为微生物对土壤水分环境极为敏感,适宜的水分条件更能激发菌肥效果^[48]。

综上,解淀粉芽孢杆菌 EZ99 肥效显著,追施该菌肥有助于提高陇椒光合特性,增加陇椒产量,提升果实品质。较低的土壤水分虽然有助于陇椒品质的提升,但不利于果实产量的提高。综合考虑产量、品质和菌肥肥效指标,推荐土壤含水率为 65%~75%,施 6 g/m² 的解淀粉芽孢杆菌 EZ99,为陇椒优质高产栽培模式。

致谢:甘肃农业大学伏羲青年英才项目(Gaufx-03Y10)和甘肃省水利科学试验研究与技术推广计划项目(甘水建管发[2021]71号)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] 王兰兰,陈灵芝,张茹,等.辣椒新品种‘陇椒11号’[J].园艺学报,2020,47(6):1221-1222.
WANG L L, CHEN L Z, ZHANG R, et al. A new pepper variety ‘Long pepper No.11’ [J]. Journal of horticulture, 2020, 47 (6): 1221-1222.
- [2] 张昌爱,辛淑荣,王国良,等.不同灌水方式对盐碱地苜蓿生长及土壤水盐动态的影响[J].排灌机械工程学报,2017,35(3):271-276.
ZHANG C A, XIN S R, WANG G L, et al. Effects of different irrigation methods on Alfalfa growth and soil water and salt dynamics in saline-alkali soil [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2017, 35(3): 271-276.
- [3] JIAO P P, YANG L, LI Z W, et al. Responses of microbial community composition and respiration to soil moisture in eroded soil [J]. Applied soil ecology, 2023, 181
- [4] ZHAO X, WANG R Y, SHANG Q H, et al. The new flagella-associated collagen-like proteins ClpB and ClpC of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 are involved in bacterial motility [J]. Microbiological research, 2016, 184: 25-31.
- [5] 李祥英,张英华,胥丽娜,等.解淀粉芽孢杆菌对烟草叶片光合特性的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(3):518-522.
LI X Y, ZHANG Y H, XU L N, et al. Effects of *Bacillus amyloliformis* on photosynthetic characteristics of tobacco leaves [J]. Journal of Shandong agricultural university (natural science edition), 2018, 49(3): 518-522.
- [6] 林斌,黄菊青,官雪芳,等.解淀粉芽孢杆菌液体肥在茶叶上的应用研究[J].福建农业学报,2019,34(10):1173-1178.
LIN B, HUANG J Q, GUAN X F, et al. Study on the application of *Bacillus amyloliticus* liquid fertilizer in tea [J]. Fujian journal of agricultural sciences, 2019, 34(10): 1173-1178.
- [7] ZHANG P, HAO H T, WANG L H, et al. *Endophytes bacillus amyloliquefaciens* AW3 (CGMCC1.16683) improves the growth of *Populus davidiana* × *Populus bolleana* (PdPap) and induces its resistance to wilt disease by *Fusarium oxysporum* Fox68 (CFCC86068) [J]. European journal of plant pathology, 2021, 162: 1-17.
- [8] 彭强,梁银丽,陈晨,等.土壤水分对辣椒叶片光合特性及保护酶系统的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(4):101-104.
PENG Q, LIANG Y L, CHEN C, et al. Effects of soil moisture on photosynthetic characteristics and protective enzyme system of pepper leaves [J]. Journal of irrigation and drainage, 2010, 29(4): 101-104.
- [9] 陈芳,谷晓平,于飞,等.贵州辣椒光合生理特性对干旱胁迫的响应[J].作物杂志,2021(5):160-165.
CHEN F, GU X P, YU F, et al. Responses of photosynthetic physiological characteristics to drought stress in Guizhou pepper [J]. Crops, 2021(5): 160-165.
- [10] 刘佳,郁继华,徐秉良,等.干旱气候条件下水分胁迫对辣椒叶片生理特性的影响[J].核农学报,2012,26(8):1197-1203.
LIU J, YU J H, XU B L, et al. Effects of water stress on physiological characteristics of pepper leaves under arid climate [J]. Journal of nuclear agricultural sciences, 2012, 26(8): 1197-1203.
- [11] 张莉,韩玲娟,张毅,等.解淀粉芽孢杆菌 QST713 对低钙胁迫下黄瓜幼苗生长及光合作用的影响[J].山西农业科学,2022,50(3):336-345.
ZHANG L, HAN L J, ZHANG Y, et al. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 on growth and photosynthesis of cucumber seedlings under low calcium stress [J]. Journal of Shanxi agricultural sciences, 2022, 50(3): 336-345.
- [12] 王鲁,魏宏达,方可,等.解淀粉芽孢杆菌 HM618 对盐胁迫下小麦幼苗生长及生理特性的影响[J].天津农业科学,2020,26(12):33-37.
WANG L, WEI H D, FANG K, et al. Effects of *Bacillus amyloliformis* HM618 on growth and physiological characteristics of wheat seedlings under salt stress [J]. Tianjin agricultural sciences, 2020, 26(12): 33-37.
- [13] 保善存,樊光辉,李发毅.解淀粉芽孢杆菌微生物菌剂对枸杞生长及土壤性状的影响[J/OL].中国土壤与肥料:1-11(2022-09-29)[2022-10-02].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20220928.1326.005.html>.
BAO S C, FAN G H, LI F Y. Effects of *Bacillus amyloliticus* microbial agent on the growth and soil properties of *Lycium barbarum* [J/OL]. soils and fertilizers in China: 1-11 (2022-09-29) [2022-10-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20220928.1326.005.html>.

- [14] 王兰兰,陈灵芝,张茹,等.辣椒新品种陇椒 12 号的选育[J].中国蔬菜,2019(3):73-75.
WANG L L, CHEN L Z, ZHANG R, et al. Breeding of new pepper variety Long pepper 12[J]. China vegetables, 2019(3): 73-75.
- [15] 黄海霞.干旱荒漠区辣椒耗水规律及对调亏灌溉的响应[D].兰州:甘肃农业大学,2012.
HUANG H X. Water consumption of pepper in arid desert area and its response to regulated deficit irrigation[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012.
- [16] 马彦霞,王晓巍,张玉鑫,等.膜下调亏灌溉对戈壁荒漠区基质槽培辣椒光合特性的影响[J].西北农业学报,2022,31(12):1597-1604.
MA Y X, WANG X W, ZHANG Y X, et al. Effects of membrane down-regulated deficit irrigation on photosynthetic characteristics of *Capsicum sativa* cultivated in substrate in Gobi desert[J]. Journal of Northwest China agricultural sciences, 2022, 31(12): 1597-1604
- [17] 贾圣青,杨园媛,任苗,等.不同肥料及土壤调理剂对辣椒生长及土壤理化性质的影响[J].黑龙江农业科学,2021(7):24-28.
JIA S Q, YANG Y Y, REN M, et al. Effects of different fertilizers and soil conditioners on pepper growth and soil physical and chemical properties[J]. Heilongjiang agricultural sciences, 2021(7): 24-28.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定:GB 5009.86—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.86-2016 National standard for food safety-determination of ascorbic acid in food; GB 5009.86—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [19] 李晓旭,李家政.优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J].保鲜与加工,2013,13(4):24-27.
LI X X, LI J Z. Optimization of Anthrone colorimetric method for determination of soluble sugar content in sweet corn[J]. Preservation and processing, 2013, 13(4): 24-27.
- [20] 杨雪,王添,谢永丽,等.解淀粉芽孢杆菌 DGL1 促燕麦生长分子机制及代谢通路探究[J].草地学报,2022,30(11):2899-2909.
YANG X, WANG T, XIE Y L, et al. Molecular mechanism and metabolic pathway of *Bacillus amyloolivier* DGL1 promoting oat growth[J]. Journal of grassland science, 2022, 30(11): 2899-2909.
- [21] 王华笑.解淀粉芽孢杆菌 YM6 对盐胁迫下玉米促生作用及机理研究[D].银川:北方民族大学,2020.
WANG H X. Study on promoting growth of maize under salt stress by *Bacillus amyloolivier* YM6 and its mechanism[D]. Yinchuan: North University for Nationalities, 2020.
- [22] 薛磊,凡莉莉,祝洪祥,等.生物菌肥不同施用量对鼓节竹发笋末期生长和光合特性的影响[J].福建农业学报,2018,33(7):708-713.
XUE L, FAN L L, ZHU H X, et al. Effects of different application amounts of biofilm fertilizer on late growth and photosynthetic characteristics of bamboo shoots in Gujie[J]. Fujian journal of agricultural sciences, 2018, 33(7): 708-713.
- [23] 马甜,胡启琳,曹永富,等.解淀粉芽孢杆菌 EZ99 菌肥对白芨生长与生理生态特性影响[J].宁夏农林科技,2021,62(8):37-44.
MA T, HU Q L, CAO Y F, et al. Effects of *Bacillus amyloliticus* EZ99 on growth and physiological and ecological characteristics of *Bletilla striata*[J]. Ningxia agriculture and forestry science and technology, 2021, 62(8): 37-44.
- [24] 敖立琴,刘才国,范旭东,等.浅谈生物菌肥在设施蔬菜上的应用[J].现代农业,2020(2):62-63.
AO L Q, LIU C G, FAN X D, et al. Application of biofilm fertilizer on facility vegetables[J]. Modern agriculture, 2020(2): 62-63.
- [25] 张维俊,李双异,徐英德,等.土壤孔隙结构与土壤微环境和有机碳周转关系的研究进展[J].水土保持学报,2019,33(4):1-9.
ZHANG W J, LI S Y, XU Y D, et al. Research progress on the relationship between soil pore structure, soil microenvironment and organic carbon turnover[J]. Journal of soil and water conservation, 2019, 33(4): 1-9.
- [26] 田露,刘景辉,赵宝平,等.保水剂和微生物菌肥配施对旱作土壤理化性质和燕麦产量的影响[J].中国土壤与肥料,2021(4):109-117.

- TIAN L, LIU J H, ZHAO B P, et al. Effects of combined application of water retaining agent and microbial fertilizer on soil physicochemical properties and Oat yield in dry farming[J]. *China soil and fertilizer*, 2021(4): 109-117.
- [27] 许景钢, 孙涛, 李嵩. 我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J]. *作物杂志*, 2016(1): 1-6.
- XU J G, SUN T, LI S. Research and development of microbial fertilizer and its application in agricultural production [J]. *Crops*, 2016(1): 1-6.
- [28] 马雅丽, 郭建平, 栾青, 等. 持续性水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. *气象*, 2022, 48(10): 1303-1311.
- MA Y L, GUO J P, LUAN Q, et al. Effects of persistent water stress on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat[J]. *Meteorological monthly*, 2022, 48(10): 1303-1311.
- [29] 张雪娇, 石晶晶, 常娜, 等. 多功能土壤微生物菌剂在冬小麦上的应用效果[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(14): 46-49.
- ZHANG X J, SHI J J, CHANG N, et al. Application effect of multifunctional soil microbial agents on winter wheat [J]. *Jiangsu agricultural sciences*, 2017, 45(14): 46-49.
- [30] 姚珍珠, 夏桂敏, 王淑君, 等. 花生对水分胁迫的响应研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(5): 699-704.
- YAO Z Z, XIA G M, WANG S J, et al. Research progress of peanut response to water stress[J]. *Chinese journal of oil crops*, 2016, 38(5): 699-704.
- [31] 姜露露. 不同水分处理及水肥耦合对设施无花果叶片生理特性、果实品质和产量的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2021.
- JIANG L L. Effects of different water treatments and coupling of water and fertilizer on physiological characteristics, fruit quality and yield of FIG leaves [D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.
- [32] ADOLFO G A, ENID Z M, FÁTIMA M L, et al. Water deficit affects the accumulation of capsaicinoids in fruits of *Capsicum chinense* Jacq.[J]. *Hort science*, 2011, 46(3): 487-492.
- [33] 王龙飞, 成善汉, 夏枫, 等. 干旱胁迫对海南黄灯笼辣椒辣味及相关生理生化指标的影响[J]. *热带生物学报*, 2018, 9(2): 207-213.
- WANG L F, CHENG S H, XIA F, et al. Effects of drought stress on spiciness and related physiological and biochemical indices of Hainan yellow bell pepper[J]. *Chinese journal of tropical biology*, 2018, 9(2): 207-213.
- [34] 彭琼, 童建华, 柏连阳, 等. 干旱胁迫对辣椒果实中辣椒素、二氢辣椒素及VC含量的影响[J]. *中国蔬菜*, 2015(12): 44-47.
- PENG Q, TONG J H, BAI L Y, et al. Effects of drought stress on capsaicin, dihydrocapsaicin and VC contents in pepper fruits[J]. *Chinese vegetable*, 2015(12): 44-47.
- [35] NTANOS E, KEKELIS P, ASSIMAKOPOULOU A, et al. Amelioration effects against salinity stress in strawberry by bentonite-zeolite mixture, glycine betaine and *Bacillus amyloliquefaciens* in terms of plant growth, nutrient content, soil properties, yield and fruit quality characteristics[J]. *Applied sciences*, 2021, 11(19): 8796-8796.
- [36] 阎世江, 柴文臣, 王生武. 生物菌肥与化肥配施对青椒生长、产量及果实品质的影响[J]. *土壤通报*, 2020, 51(1): 159-163.
- YAN S J, CHAI W C, WANG S W. Effects of combined application of bioficial fertilizer and chemical fertilizer on growth, yield and fruit quality of green pepper[J]. *Chinese journal of soil science*, 2020, 51(1): 159-163.
- [37] 刘拴成, 杨进成, 马丽华, 等. 解淀粉芽孢杆菌 B9601-Y2 提高玉米生长和产量的效应[J]. *玉米科学*, 2010, 18(6): 78-82.
- LIU S C, YANG J C, MA L H, et al. Effects of *Bacillus amyloliformis* B9601-Y2 on growth and yield of maize[J]. *Journal of maize science*, 2010, 18(6): 78-82.
- [38] 张佼, 屈锋, 朱玉尧, 等. 增施有机肥和微生物菌剂对春季杨凌设施番茄产量和品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(5): 767-773.
- ZHANG J, QU F, ZHU Y Y, et al. Effects of organic fertilizer and microbial agent on yield and quality of tomato in Yangling plant in spring[J]. *Journal of northwest agricultural sciences*, 2019, 28(5): 767-773.
- [39] 王彦飞, 曹国璠. 不同生物肥料对辣椒产量和品质的影响研究[J]. *北方园艺*, 2010(17): 13-15.
- WANG Y F, CAO G F. Effects of different biofertilizers on yield and quality of pepper[J]. *Northern horticulture*, 2010(17): 13-15.

- [40] 赵晶晶,李卓蔚,许凌峰,等.根际促生菌剂对滇重楼生理特性及无机元素的影响[J].中国实验方剂学杂志,2022,28(2):166-174.
ZHAO J J, LI Z W, XU L F, et al. Effects of rhizosphere growth promoting agents on physiological characteristics and inorganic elements of *Phyllodendron* SPP. [J]. Chinese journal of experimental formulae, 2022, 28(2): 166-174.
- [41] 王红霞,孙树卓.生物菌肥对土壤性状及辣椒品质的影响[J].中国农业文摘-农业工程,2017,29(5):40.
WANG H X, SUN S Z. Effects of bioficial fertilizer on soil characteristics and pepper quality [J]. China agricultural abstract-agricultural engineering, 2017, 29(5): 40.
- [42] 陈宝燕,马红红,杨涛,等.不同微生物菌肥用量对伊贝母各组成要素的影响[J].新疆农业科学,2017,54(5):871-877.
CHENG B Y, MA H H, YANG T, et al. Effects of different microbial fertilizer dosage on the elements of *Fritillaria pallidiflora* Schvek [J]. Xinjiang agricultural sciences, 2017, 54(5): 871-877.
- [43] 张建平,熊晓军,简红忠,等.解淀粉芽孢杆菌对元胡霜霉病拮抗效果的试验研究[J].陕西农业科学,2022,68(2):87-88.
ZHANG J P, XIONG X J, JIAN H Z, et al. Experimental study on antagonistic effect of *Bacillus amyloliquefaciens* on downy mildew of Yuanhu [J]. Shaanxi agricultural sciences, 2022, 68(2): 87-88.
- [44] 田露,郭晓霞,苏文斌,等.微生物肥料对连作甜菜生长发育及产质量的影响[J/OL].中国农业科技导报:1-12(2022-12-16)[2022-12-30].https://doi.org/10.13304/j.nykjdb.2021.1054.
TIAN L, GUO X X, SU W B, et al. Effects of microbial fertilizer on growth, development and yield quality of continuous cropping beet [J/OL]. Journal of agricultural science and technology of China: 1-12(2022-12-16) [2022-12-30]. https://doi.org/10.13304/j.nykjdb.2021.1054.
- [45] 撒冬荣,姚拓,李海云,等.微生物肥料与化肥减量配施对多年生黑麦草生长的影响[J].草业学报,2022,31(3):136-143.
QIAN D R, YAO T, LI H Y, et al. Effects of combined application of microbial fertilizer and fertilizer reduction on the growth of perennial ryegrass [J]. Acta prataculturae Sinica, 2022, 31(3): 136-143.
- [46] 朱义族,李雅颖,韩继刚,等.水分条件变化对土壤微生物的影响及其响应机制研究进展[J].应用生态学报,2019,30(12):4323-4332.
ZHU Y Z, LI Y Y, HAN J G, et al. Effects of water conditions on soil microorganisms and their response mechanisms [J]. Chinese journal of applied ecology, 2019, 30(12): 4323-4332.
- [47] ALI S, HASSANALI N B, SAHEBALI B, et al. Morphophysiological and phytochemical responses of fenugreek to plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) under different soil water levels [J]. Folia horticulturae, 2018, 30(2): 215-228.
- [48] 李云玲,谢英荷,洪坚平.生物菌肥在不同水分条件下对土壤微生物生物量碳、氮的影响[J].应用与环境生物学报,2004(6):790-793.
LI Y L, XIE Y H, HONG J P. Effects of biological fertilizer on soil microbial biomass carbon and nitrogen under different water conditions [J]. Chinese journal of applied & environmental biology, 2004(6): 790-793.