

土壤水肥气热耦合对温室辣椒光合作用和产量的影响

赵策¹, 田军仓^{1,2,3*}, 欧阳赞¹, 闫新房^{1,2,3}

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 银川 750021)

摘要:【目的】探究日光温室条件下土壤水肥气热耦合对辣椒生长、光合与产量的影响规律。【方法】通过4因素3水平正交试验,利用极差分析和方差分析,研究了水肥气热影响主次顺序、显著性、各因素影响趋势及最优组合。【结果】4因素影响产量的顺序为灌水定额>施肥定额>溶解氧>地热管水温;灌水定额影响极显著,施肥定额影响显著,溶解氧和地热管水温影响不显著。综合水、肥、气、热4因素耦合对辣椒光合和产量的影响,这种组合模式下辣椒产量最高,达58 597.40 kg/hm²。最优处理比对照CK增产45.17%。【结论】确定因素最优水平组合为:灌水定额210 m³/hm²、施肥定额75 kg/hm²、溶解氧7.5 mg/L、地热管水温37℃,总灌水次数36次。

关键词:日光温室;滴灌;水肥气热耦合;辣椒;光合作用

中图分类号:S27

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20190125

赵策,田军仓,欧阳赞,等.土壤水肥气热耦合对温室辣椒光合作用和产量的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(5):31-37.

0 引言

我国为农业大国,农作物产量关系着社会稳定与经济发展。近年来,国内外逐渐重视水肥耦合效应对作物的影响,通过控制灌水^[1]、施肥^[2]调节作物生长以达到增产节水的目的,却忽略土壤环境对作物的影响。生长环境是影响作物光合作用及产量的关键因素,长期膜下滴灌造成温室作物根区土壤通气性较差和冬春季夜晚土壤温度低均会影响作物生长,研究表明,加气灌溉可改善作物根区土壤环境^[3],作物产量增加^[4];提高土壤温度可使肥料得到有效发挥,利于辣椒吸收养分,实现增产增效^[5]。因此,气候条件和土壤环境均对作物生长发育起关键作用,有效协调水、肥2因素外,还应综合考虑气、热对作物的影响^[6-7]。水肥气热耦合成为农业发展中新的热点问题,合理调控水肥气热对温室蔬菜高效发展和建设生态农业具有重要意义。

辣椒是一种重要的果类蔬菜,营养物质较高,在全球多地均有种植,中国辣椒种植面积居世界首位^[8]。辣椒为浅根作物,且根系较细弱^[9],对土壤环境具有一定要求,土壤根部温度过高或过低均会影响根系活力及正常生长。

目前,土壤水肥气热耦合对作物光合作用及产量的影响是农田水利的一个热点研究方向。近年来,通过水肥气热耦合对温室黄瓜^[10]、番茄^[11]、西瓜^[12]、甜瓜^[13]等作物效应的研究,取得了一定成果。但土壤水肥气热耦合对温室辣椒光合作用及产量的影响规律和作用机理尚不清楚。兹以日光温室膜下滴灌技术为切入点,研究了水肥气热耦合对辣椒生长指标、光合作用指标及产量的影响,以确定各因素最优组合方案,为温室瓜果蔬菜提质增效和精准节水灌溉提供一定理论依据和技术支撑。

收稿日期:2019-03-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51469027);宁夏高等学校一流学科建设项目(NXYLXK2017A03);宁夏重点研发计划重大项目(2018BBF02022)

作者简介:赵策(1995-),男,山东济宁人。硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:zhaoce_2012@163.com

通信作者:田军仓(1958-),男,陕西扶风人。教授,博士生导师,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:slxtjc@163.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2018年3—8月中旬在宁夏银川平原的青铜峡引黄灌区中部贺兰县欣荣村非耕地日光温室中进行,海拔1 115.1 m。试验田土壤为沙壤土,干体积质量为1.38 g/cm³,田间持水率(质量含水率)为19.12%。土壤pH值为8.53,全盐量为0.84 g/kg,有机质量为11.38 g/kg,碱解氮量为72.41 mg/kg,速效磷量为41.59 mg/kg,速效钾量为478.63 mg/kg。

1.2 试验设计与实施

试验选择灌水定额(水)、施肥定额(肥)、灌溉水中溶解氧含量(气)和地热管水温(热)4个试验因素,每个因素设置3个水平,采用L₉(3⁴)正交设计,其中中水平根据文献并结合当地情况设定,共计9个处理,试验因素与水平编码和试验方案见表1和表2,另外设置CK处理1个,灌水定额为中水平,不施追肥、不加气、不加热,共计10个处理,每个处理3次重复。

表1 4因素3水平正交试验因素与水平编码表

水平	试验因素			
	灌水定额/ (m ³ ·hm ⁻²)	施肥定额(追肥)/ (kg·hm ⁻²)	溶氧量/ (mg·L ⁻¹)	地热管 水温/°C
1	90	45	7.5	29
2	150	75	8.5	33
3	210	105	9.5	37

表2 4因素3水平正交试验方案

处理号	因素				处理
	水(A)	肥(B)	气(C)	热(D)	
T1	1(90)	1(45)	1(7.5)	1(29)	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁
T2	1(90)	2(75)	2(8.5)	2(33)	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂
T3	1(90)	3(105)	3(9.5)	3(37)	A ₁ B ₃ C ₃ D ₃
T4	2(150)	1(45)	2(8.5)	3(37)	A ₂ B ₁ C ₃ D ₃
T5	2(150)	2(75)	3(9.5)	1(29)	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁
T6	2(150)	3(105)	1(7.5)	2(33)	A ₂ B ₃ C ₁ D ₂
T7	3(210)	1(45)	3(9.5)	2(33)	A ₃ B ₁ C ₃ D ₂
T8	3(210)	2(75)	1(7.5)	3(37)	A ₃ B ₂ C ₁ D ₃
T9	3(210)	3(105)	2(8.5)	1(29)	A ₃ B ₃ C ₂ D ₁

注 灌水次数为36次,追肥次数12次,加气次数18次,加热日期从方案实施开始持续到试验结束。

每个处理对应一个小区,小区长5.5 m,垄宽0.7 m,垄间距0.7 m,面积7.7 m²。垄上布置2行作物,行距为0.30 m,株距为0.45 m,供试辣椒品种为娇艳,于2018年3月28日定植。定植前按照生物有机肥15 000 kg/hm²(有机质量≥45%,N+P₂O₅+K₂O≥5%)和三元复合肥300 kg/hm²(N、P₂O₅、K₂O质量比为15:15:15)的规格施基肥,每垄铺设2根平行内镶片式滴灌带,滴头间距为0.30 m,覆地膜,4月16日开始实施试验,8月17日拉秧,全生育期143 d。

为防止水、肥向下及侧向渗漏,每垄设有埋深50 cm的“U”形塑料防渗膜。每个小区中间在深度20 cm处埋设PE地热管对土壤进行加热,水源来自太阳能加热水箱,每个小区增设自动控温的电加热器保证各个处理所需的地热管水温。加气采用水气结合的方法,利用微纳米气泡发生装置及不同气石头的增氧泵组合共同加气。追肥为芳润牌大量元素水溶肥料(N、P₂O₅、K₂O质量比为15:15:30),中水平施肥总量900 kg/hm²,采用文丘里施肥器随水施肥。

1.3 测定项目与方法

各重复随机选取并标记3株长势良好的作物,每个处理共选取9株,采用卷尺和游标卡尺定期测量株高和茎粗。各生育阶段(选择晴朗无云天气),选取从上往下数第3~4节位成熟叶片,采用LI-6400便携式光合仪,测定辣椒净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等光合指标。产量按处理的3个重复平均值计算,用电子秤分别称量计产。加气后的灌溉水中溶解氧含量采用JPB-607型溶解氧分析仪进行测定,通过电加热显示器监测和记录地热管水温。

数据统计及图表绘制使用Excel 2016完成,采用DPS 7.05进行极差与方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理下辣椒株高和茎粗的变化

由图1可知,各处理在幼苗期长势相同,处理实施后,差距逐渐拉开。整个生育周期,辣椒株高呈上升趋势

势,且随灌水定额增大,处理差异越明显,这与已有研究结果^[14]一致。结果末期,低水处理辣椒株高不再变化,而中水与高水处理依然增长。T9处理株高最高,比CK增大7.19%;T1处理最低,比CK降低27.20%。

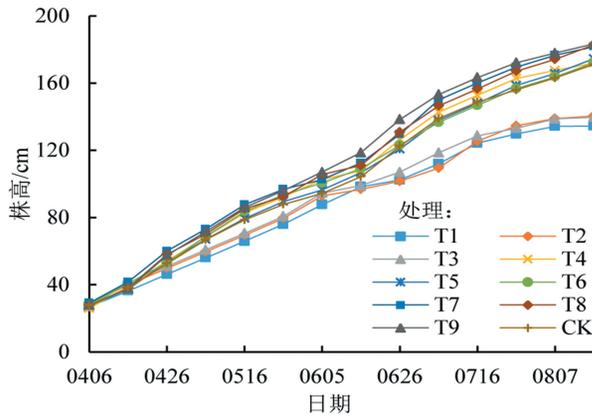


图1 不同处理辣椒株高

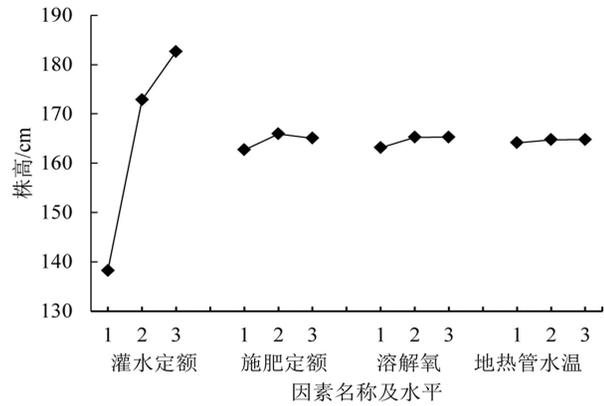


图2 辣椒株高与各因素水平的效应

方差分析得,4因素对辣椒株高的影响顺序为灌水定额>施肥定额>溶氧量>地热管水温。由图2可知,辣椒株高随灌水定额、溶解氧、地热管水温的增大而增高,随施肥定额的增大先增高后降低。

表3 辣椒株高与4因素方差结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
灌水定额	9 791.271	2	4 895.636	155.514 9	0.000 1
施肥定额	50.353 7	2	25.176 8	0.799 8	0.464 8
溶解氧	27.647	2	13.823 5	0.439 1	0.651 3
地热管水温	2.598 1	2	1.299 1	0.041 3	0.959 7
误差	566.643	18	31.480 2	-	-

注 $F_{0.01}(2,18)=6.01; F_{0.05}(2,18)=3.55$, 下同。

方差分析可知,灌水定额对辣椒株高影响极显著,施肥定额、溶解氧、地热管水温影响不显著。

由图3可知,茎粗变化与株高相似,但在结果末期各处理均无增长。T8处理茎粗最大,为14.99 mm,比CK增大6.31%;T1处理最小,为13.27 mm,比CK减小5.87%。方差分析可知,4因素对辣椒株高的影响顺序为灌水定额>地热管水温>施肥定额>溶氧量。

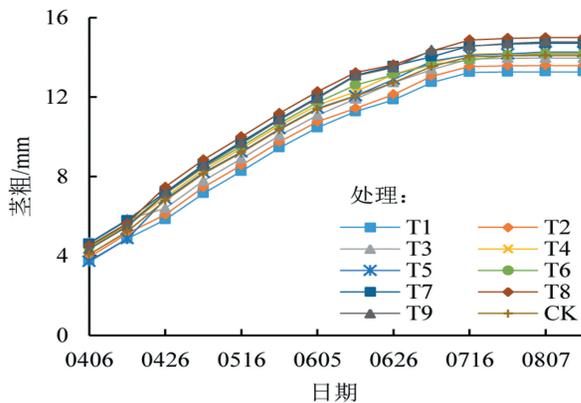


图3 不同处理对辣椒茎粗的影响

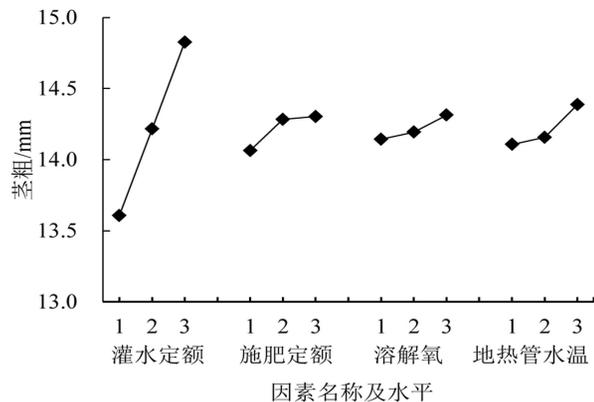


图4 辣椒茎粗与各因素水平的效应

由图4可知,随灌水定额、施肥定额、溶解氧、地热管水温的增高,茎粗增大。由方差分析得,灌水定额对辣椒茎粗影响极显著,施肥定额、溶解氧、地热管水温影响不显著。

表4 辣椒茎粗与4因素方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
灌水定额	5.574 7	2	2.787 3	7.957 3	0.003 3
施肥定额	0.721 3	2	0.360 7	1.029 6	0.377 2
溶解氧	2.395 2	2	1.197 6	3.418 8	0.055 1
地热管水温	0.408 9	2	0.204 4	0.583 7	0.568 1
误差	6.305 2	18	0.350 3	-	-

2.2 水肥气热耦合对温室辣椒光合作用的影响

2.2.1 水肥气热耦合对温室辣椒净光合速率(P_n)的影响

为保证光照与土壤水分状况不影响作物光合作用,选择灌水后且晴朗无云天气条件下测定辣椒光合作用。辣椒结果中期生长旺盛、各项器官发育最完善,在全生育期中最具代表性。图5为辣椒结果中期各处理净光合速率日变化曲线。从图5可以看出,光合速率表现为双峰型,“午休”现象出现在12:30左右,峰值出现在10:30和14:30左右。T8处理日均净光合速率最大,为 $20.94 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在2次峰值处T8处理比CK分别增大23.68%和17.71%,T1处理比CK分别降低26.69%、16.36%。

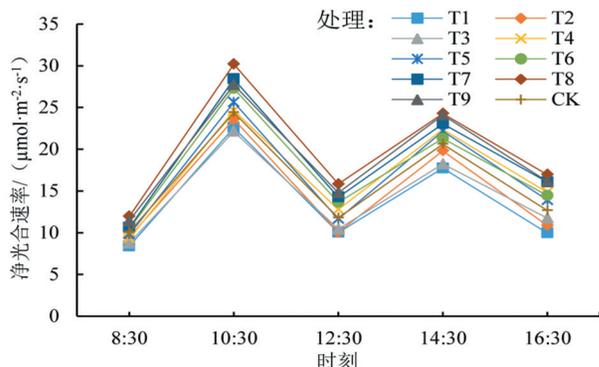


图5 不同处理辣椒净光合速率

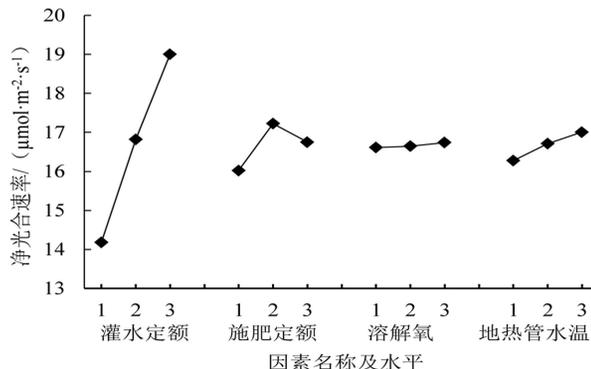


图6 辣椒净光合速率与各因素水平的效应

方差分析得4因素对辣椒净光合速率的影响顺序为灌水定额>施肥定额>地热管水温>溶氧量。由图6可以看出,灌水定额、溶解氧、地热管水温与辣椒叶片 P_n 关系为正相关,而施肥定额出现阈值。这是因为灌水定额增加会增强辣椒新陈代谢能力,光合作用增强,净光合速率增大;一定范围内增大施肥量可增加土壤养分,利于作物生长发育,促进光合作用,施肥量过大光合作用减弱。随着灌溉水中溶解氧增大,土壤缝隙中氧气增多,作物根部呼吸作用加强,根系发育较好,加强对作物冠部分的水分供应,增强光合作用。地热管水温使土壤温度升高,肥料得到有效吸收,光合作用增强。

表5 辣椒净光合速率与4因素方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
灌水定额	219.941 1	2	109.970 6	32.073 5	0.000 1
施肥定额	30.666 7	2	15.333 4	4.472 1	0.026 5
溶解氧	1.162 2	2	0.581 1	0.169 5	0.845 4
地热管水温	15.306 7	2	7.653 4	2.232 1	0.136 2
误差	61.716 7	18	3.428 7		

方差分析(表5)可知,灌水定额对辣椒净光合速率影响极显著,施肥定额影响显著,溶解氧、地热管水温均不显著。

2.2.2 水肥气热耦合对温室辣椒蒸腾速率(T)的影响

日光温室不同处理下辣椒结果中期叶片蒸腾速率与净光合速率变化大致相同,为双峰曲线(图7),全天 T 峰值上午在10:30左右,下午在14:30左右,波谷出现在12:30左右,即“午休”现象。在2个峰值处,10:30时刻:T8处理最大,比CK增大30.62%,T1处理最小,比CK降低12.67%;14:30时刻:T8处理最大,比CK增大10.94%,T1处理最小,比CK降低26.52%。谷值处,T8处理比CK增大了49.04%,T1处理比CK降低了11.26%。

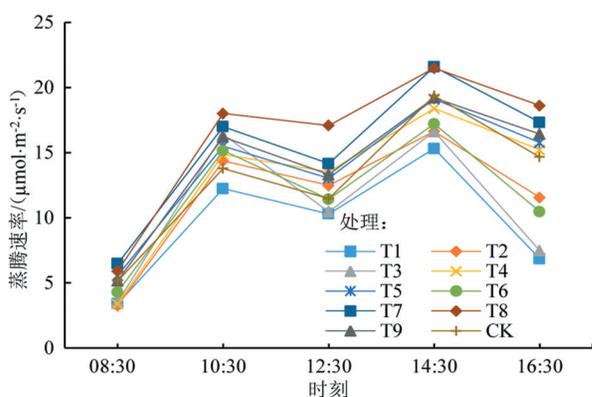


图7 不同处理辣椒蒸腾速率

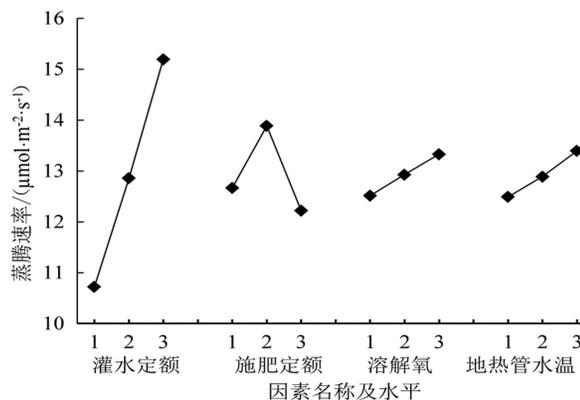


图8 辣椒蒸腾速率与各因素水平的效应

由方差分析可知,4因素的影响顺序为:灌水定额>施肥定额>地热管水温>溶解氧。由图8可以看出,随灌水定额、溶氧量和地热管水温的增加,辣椒蒸腾速率逐渐增大;随施肥定额的增加,蒸腾速率先增大后减小。

方差分析(表6)可知,灌水定额对辣椒蒸腾速率影响显著,施肥定额、溶解氧、地热管水温均不显著。

表6 辣椒蒸腾速率与4因素方差分析表结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
灌水定额	35.355 8	2	17.677 9	4.511 4	0.025 8
施肥定额	9.232 8	2	4.616 4	1.178 1	0.330 5
溶解氧	8.074 4	2	4.037 2	1.030 3	0.377 0
地热管水温	14.156 6	2	7.078 3	1.806 4	0.192 8
误差	70.532 8	18	3.918 5		

2.2.3 水肥气热耦合对温室辣椒气孔导度(G_s)的影响

气孔导度是反应气孔运动的一项重要生理指标^[15]。由图9可知,辣椒结果中期叶片气孔导度日变化规律与 P_n 、 T_i 变化趋势相同,呈双峰型,分别在10:30左右和14:30左右达到峰值,12:30左右出现波谷。峰值处,T8处理均最大,比CK分别增大了37.82%、24.72%,第1次峰值,T1处理最低,比CK减小了58.81%,第2次峰值,T2处理最低,比CK减小了24.44%。

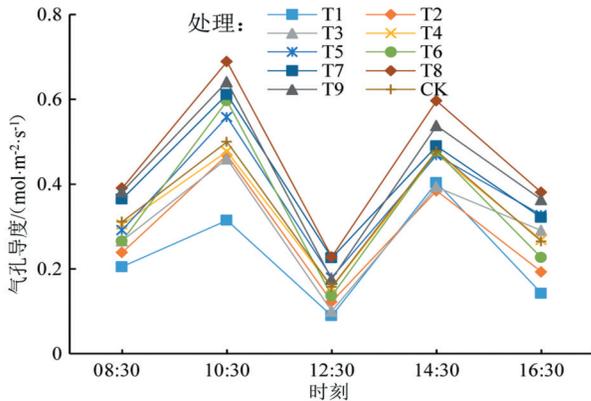


图9 不同处理辣椒气孔导度

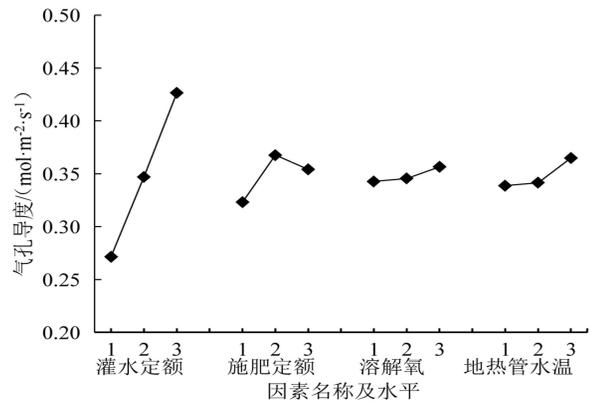


图10 辣椒气孔导度与各因素水平的效应

方差分析得4因素影响顺序为:灌水定额>施肥定额>地热管水温>溶解氧。由图10可知,灌水定额、溶解氧和地热管水温与气孔导度关系为正相关,施肥定额表现为先增大后减小。

表7 气孔导度与4因素方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
灌水定额	0.243 3	2	0.121 6	8.898 4	0.002 1
施肥定额	0.085	2	0.042 5	3.108 9	0.069 2
溶解氧	0.002 6	2	0.001 3	0.094	0.910 7
地热管水温	0.021 4	2	0.010 7	0.781 6	0.472 6
误差	0.246 1	18	0.013 7		

方差分析可知,灌水定额对辣椒气孔导度影响显著,施肥定额、溶解氧、地热管水温均不显著。

2.2.4 不同生育期辣椒光合作用的变化

图11为各处理不同生育阶段净光合速率(全天累计均值)变化趋势。从图11可以看出,各处理在全生育期均表现为先增大后减小的趋势,开花坐果期 P_n 最低,结果中期达到最大值,结果末期减小。各生育阶段净光合速率最大值均为T8处理,最小值为T1处理。结果中期各处理表现为T8处理>T7处理>T9处理>T5处理>T6处理>T4处理>CK>T2处理>T3处理>T1处理。T8处理结果中期净光合速率比开花坐果期、结果前期提高了85.03%、38.26%,结果末期比结果中期

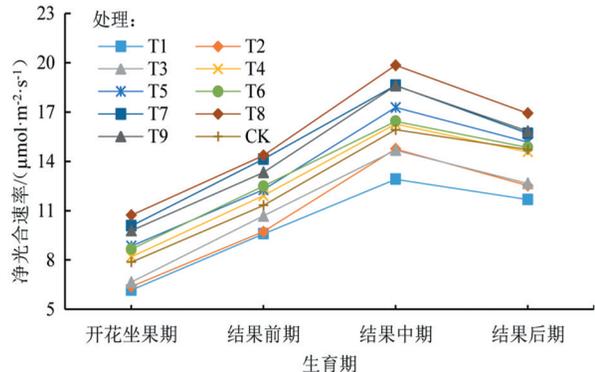


图11 不同生育阶段辣椒净光合速率变化趋势

降低了17.26%。

2.3 水肥气热耦合对辣椒产量的影响

由图12可知,各处理间产量具有一定差异,高低顺序为T8处理>T7处理>T9处理>T5处理>T6处理>T4处理>CK>T2处理>T3处理>T1处理。其中,T8处理产量最高(58 597.40 kg/hm²),最小为T1处理(23 935.06 kg/hm²),CK为40 363.64 kg/hm²;T8处理比CK增长了45.17%,T1处理比CK降低了40.70%。

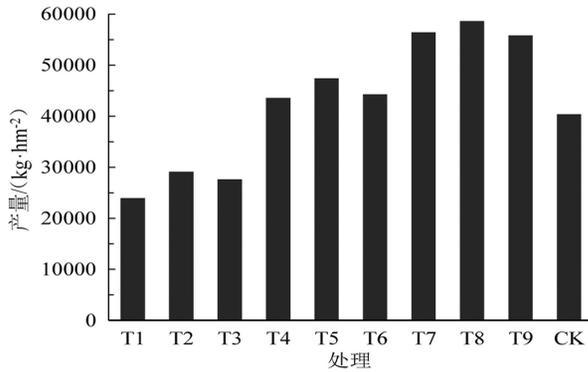


图12 不同处理对辣椒产量的影响

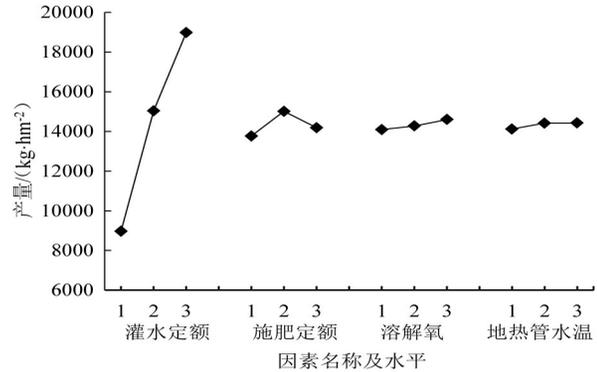


图13 辣椒产量与各因素水平的效应

方差分析得4因素对辣椒产量的影响顺序为:灌水定额>施肥定额>溶解氧>地热管水温。由图13可知,在试验条件下,增大灌水定额,一定范围内增加施肥量,提高溶解氧含量,升高地热管水温,利于作物生长发育,新陈代谢旺盛,达到增产的目的,而施肥量过大,不利于增产。

表8 辣椒产量与4因素的方差分析结果

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	显著性
灌水定额	457 770 519.201 0	2	228 885 259.600 5	365.605 7	0.000 1
施肥定额	7 150 253.312 3	2	3 575 126.656 2	5.710 7	0.012 0
溶解氧	1 199 465.275 7	2	599 732.637 9	0.958 0	0.402 4
地热管水温	540 669.522 1	2	270 334.761 1	0.431 8	0.655 9
误差	11 268 791.765 3	18	626 043.987 0		

结合显著性分析,灌水定额影响极显著,施肥定额显著,溶解氧和地热管水温均不显著,综合考虑成本等因素且溶解氧C是次要影响因素,得出最优组合方案为A₃B₂C₁D₃,即灌水定额210 m³/hm²、施肥定额75 kg/hm²、溶解氧7.5 mg/L、地热管水温37 ℃,最高产量为58 597.40 kg/hm²,灌水次数为36次。

3 结论

1)水肥气热4因素对净光合速率、蒸腾速率影响顺序为:灌水定额>施肥定额>地热管水温>溶氧量;对气孔导度和产量指标:灌水定额>施肥定额>溶解氧>地热管水温。

2)水肥气热4因素对辣椒光合指标和产量影响的显著性为:净光合速率、产量指标灌水定额影响极显著,施肥定额影响显著,溶解氧、地热管水温均不显著;蒸腾速率、气孔导度指标灌水定额影响显著,施肥定额、溶解氧、地热管水温均不显著。

3)综合土壤水肥气热4因素耦合对辣椒光合和产量的影响以及参考组合A₃B₂C₁D₃,确定因素最优水平组合为A₃B₂C₁D₃,即灌水定额为210 m³/hm²、施肥定额为75 kg/hm²、溶解氧为7.5 mg/L、地热管水温为37 ℃,灌水次数为36次,最高产量为58 597.40kg/hm²。最优处理比CK增产45.17%。

综上所述,土壤水肥气热4因素耦合最优调控,可以使因素互相作用,互相促进,改善作物根部土壤环境,其中水是影响作物生长发育的主控因子,以水溶肥,以水促肥,同时,以肥调水,加强作物根系对水分和养分的吸收;加气灌溉可以改善土壤通气性,增加土壤中氧气量,利于根系呼吸,促进根系生长,同时,充足的氧气益于土壤微生物群落发挥积极作用^[6],分解有机质,改良土壤结构;地热管加热水灌溉,可增高土壤温度,使肥料得到有效吸收和利用。

参考文献:

- [1] 付蕾,魏琨,李岩,等.不同灌溉施肥方式对日光温室甜椒生长、产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(8):8-14.
- [2] KIANI M, GHEYSARI M, MOSTAFAZADEH-FARD B, et al. Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region[J]. Agricultural Water Management, 2016, 171:162-172.
- [3] 朱艳,蔡焕杰,侯会静,等.加气灌溉对番茄根区土壤环境和产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(5):157-162.
- [4] 谢恒星,吕海波,高志勇,等.加氧灌溉下温室甜瓜生长、品质和产量特征研究[J].灌溉排水学报,2017,36(12):20-24.
- [5] 闫秋艳,董飞,段增强,等.土壤温度对不同施肥方式下辣椒生长及土壤理化性质的影响[J].华北农学报,2018,33(2):195-201.
- [6] 韩霜.土壤、施肥及气候因素对作物产量贡献的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [7] 梁浩,胡克林,李保国,等.土壤-作物-大气系统水热碳氮过程耦合模型构建[J].农业工程学报,2014,30(24):54-66.
- [8] 李子双,王薇,张世文,等.氮磷与硅钙肥配施对辣椒产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):458-466.
- [9] 焦自高,徐坤.蔬菜生产技术[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [10] 张瑞弯.膜下滴灌黄瓜水肥气热耦合模型研究[D].银川:宁夏大学,2017.
- [11] 马继梅.水肥气热耦合对温室番茄生长机理及产量的影响研究[D].银川:宁夏大学,2017.
- [12] 欧阳赞.温室水肥气热耦合对西瓜生长、光合、产量和品质的影响研究[D].银川:宁夏大学,2018.
- [13] 邓慧玲.水肥气热耦合对非耕地温室甜瓜生长、产量和品质影响研究[D].银川:宁夏大学,2018.
- [14] 李尚蔚,田军仓,马波.膜下滴灌定额对无土栽培辣椒光合作用和产量影响[J].灌溉排水学报,2014,33(2):54-57.
- [15] 胡优,田军仓.灌溉定额对喷灌菜心生长及光合特性的影响[J].灌溉排水学报,2016,35(11):57-61.
- [16] 乔建磊,张冲,徐佳,等.加气滴灌对日光温室蓝莓叶绿素荧光特性的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(12):14-19.

Impact of Water-Fertilizer-Air-Heat Coupling on Photosynthetic and Yield of Pepper in Greenhouse

ZHAO Ce¹, TIAN Juncang^{1,2,3*}, OUYANG Zan¹, YAN Xinfang^{1,2,3}

(1.College of Civil and Hydraulic Engineering,NingxiaUniversity, Yinchuan 750021, China;

2. Ningxia Engineering Technology Research Center of Water-saving Irrigation and Water Resources for Modern Agriculture in Arid Areas, Yinchuan 750021, China; 3. Center of Engineering Research on Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Regions (Ministry of Education),Yinchuan 750021, China)

Abstract: 【Objective】 The aim is to explore the effects of water, fertilizer, air and heat coupling in soil on growth, photosynthesis and yield of pepper under solar greenhouse conditions. **【Method】** Under the condition of non-cultivated solar greenhouse, through the four factors and three levels orthogonal test, according to the results of range and variance analysis, we have produced the order of influence of four factors, the significance, the influence trend of each factor and the optimal combination. And, irrigation quota has a significant impact on many indicators, and it is the main factor. **【Result】** The results of yield analysis are as follows: the order of four factors is irrigation quota > fertilization quota > dissolved oxygen > water temperature of geothermal pipe; the effect of irrigation quota is very significant, fertilization quota is significant, and dissolved oxygen and geothermal pipe water temperature is not significant. **【Conclusion】** Combining the influence of irrigation quota, fertilizer quota, dissolved oxygen and water temperature of geothermal pipe on Photosynthesis and yield of pepper, the optimum level combination was determined to be A₃B₂C₁D₃, and irrigation quota is 210 m³/hm², fertilizer quota is 75 kg/hm², dissolved oxygen is 7.5 mg/L, and water temperature of geothermal pipe is 37 °C. The total irrigation times were 36, and the irrigation quota was 7 560 m³/hm². The yield of pepper was the highest under this combination mode, reaching 58 597.40 kg/hm². The yield of the optimum treatment increased by 45.17% compared with the control treatment. The coupling regulation of water, fertilizer, air and heat in soil can provide theoretical basis and technical support for improving quality and efficiency of greenhouse vegetables and precise water-saving irrigation.

Key words: solar greenhouse; irrigation under plastic film; water-fertilizer-air-heat coupling; pepper; photosynthesis

责任编辑:赵宇龙