

王如珂,郭相平,曹克文,等. 秸秆隔层及水氮管理对番茄光合特性、产量品质和水氮利用的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(5):128-134.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.05.020

秸秆隔层及水氮管理对番茄光合特性、产量品质和水氮利用的影响

王如珂,郭相平,曹克文,张林瑄,黄 达

(河海大学农业科学与工程学院,江苏南京 210098)

摘要:通过秸秆隔层、灌水上限和施氮量对番茄的光合特性、产量、品质和水氮利用的影响,研究番茄生产中秸秆隔层下适宜的灌水上限和施氮量,寻求节水、节肥、高产优质的秸秆隔层下水氮管理模式。在温室内进行小区试验,设置 2 个秸秆隔层水平(0 、 $1.6 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$)、2 个灌水上限($90\% \text{ FC}$ 、 $80\% \text{ FC}$, FC 为田间持水率)、2 个施氮水平(225 、 180 kg/hm^2),共 8 个处理,对番茄光合特性、产量品质等进行监测分析。研究结果,番茄在无秸秆隔层、 $90\% \text{ FC}$ 灌水上限、 225 kg/hm^2 施氮量下光合指标及产量最高,产量为 95.37 t/hm^2 ;番茄水分利用效率(WUE)和氮肥偏生产力(PFPN)在有秸秆隔层、 $80\% \text{ FC}$ 灌水上限、 180 kg/hm^2 施氮量条件下最高,为 53.66 kg/m^3 、 479.28 kg/kg ;番茄综合品质在有秸秆隔层、 $80\% \text{ FC}$ 灌水上限、 225 kg/hm^2 施氮量条件下最高,且与 180 kg/hm^2 施氮量下无显著差异。研究结果表明,综合考虑产量、品质、水分利用效率、氮肥偏生产力等指标,灌水下限为 $60\% \text{ FC}$ 时,适宜的灌溉施肥模式为设置秸秆隔层($1.6 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$)、 $80\% \text{ FC}$ 灌水上限、 180 kg/hm^2 施氮量(P_2O_5 112.5 kg/hm^2 , K_2O 135 kg/hm^2),其经济效益好,能够达到节水、节肥、高产优质的目的。

关键词:番茄;秸秆隔层;光合特性;产量;品质;水氮利用;灌水上限;施氮水平

中图分类号:S641.206;S641.207

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)05-0128-07

将一定厚度的秸秆深埋还田后形成隔离层破坏土壤毛管的连续性,能够抑制土壤水分入渗,增强表层土壤蓄水能力^[1],蔬菜种植结合深埋秸秆措施可有效提高水分利用效率^[2-3],同时减少硝态氮的淋溶损失^[4],减少氮肥施用量。采用秸秆隔层,配合适宜的水肥管理措施,可望达到节水节肥的效果。李建明等研究表明,水肥通过影响作物的光合作用进而对产量与水分利用效率产生影响^[5]。袁宇霞等发现,增加施肥量和适当上调灌水下限可以显著提高番茄的光合速率、干物质量和产量,过高反而不利于其生长^[6]。邢英英等研究表明,滴灌灌水量和施肥量均对番茄各品质指标有极显著的影响,增大灌水量显著降低番茄维生素 C、番茄红素和可溶性糖含量;增大施肥量,番茄品质指标呈先增大后降低的趋势^[7-8]。针对滴灌条件下水肥管理对

作物生长、产量品质的影响以及盐渍化地区秸秆隔层抑制土表返盐的研究较多,而将铺设秸秆隔层与水肥管理相结合的影响研究目前较为少见。本研究通过设置秸秆隔层及不同水氮管理措施试验,寻求秸秆隔层条件下适宜的水氮管理模式,提高温室番茄水氮利用效率,以期达到节水、节肥、优质高产的目的。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于 2019 年 4—7 月在河海大学南京市江宁节水园内的温室大棚内进行。试验区位于长江下游,属于亚热带湿润气候,年平均降水量 $1\,021.3 \text{ mm}$,年平均蒸发量 900.0 mm ,年平均气温 $15.7 \text{ }^\circ\text{C}$,最热月平均气温 $28.1 \text{ }^\circ\text{C}$,年无霜期 237 d ,年平均日照时数 $2\,212.8 \text{ h}$ 。生育期内大棚内部最高平均气温 $42.6 \text{ }^\circ\text{C}$,最低平均气温 $18.9 \text{ }^\circ\text{C}$,最高与最低相对湿度分别为 86.8% 、 16.7% ,日均蒸发量为 3.8 mm/d 。土壤类型为黏壤土,pH 值为 7.13 ,中等肥力,土壤干容重为 1.41 g/cm^3 ,饱和含水率与田间持水率分别为 43.7% 、 30.6% ,有机质含量为 2.40 g/kg ,全

收稿日期:2021-10-09

基金项目:国家重点研发计划(编号:2020YFD0900703)。

作者简介:王如珂(1996—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事节水灌溉理论研究。E-mail: 6163492@qq.com。

通信作者:郭相平,教授,博士生导师,主要从事农业水土工程理论研究。E-mail: xpguo@hhu.edu.cn。

氮和速效氮含量分别为 52.30、32.54 mg/kg,全磷和速效磷的含量分别为 24.70、13.54 mg/kg。试验供试番茄品种为合作 903,前期育苗在玻璃温室内进行,于 2019 年 4 月 17 日选取长势一致的番茄幼苗定植,三穗果后进行打顶,7 月 13 日拉秧。日常管理依据当地常规进行。秸秆供试品种为南粳 2728 水稻秸秆,试验前晒干,移苗前埋入土中。

1.2 试验设计

试验设计秸秆隔层(S)、灌溉上限(W)、施氮量(F)3 个因素,每个因素设置 2 个水平,共 8 个处理,具体设计见表 1。

秸秆隔层设置 2 个水平:无秸秆隔层(S₀)、有秸秆隔层(S₁),秸秆隔层的埋设秸秆量为 1.6 × 10⁴ kg/hm²,约 15 cm 的段状,埋设于宽 25 cm 的垄底,深度 20 cm、厚度约 5 cm。

灌水上限设置 2 个水平:90% 田间持水率(W₁)、80% 田间持水率(W₂),灌水下限均设定为 60% 田间持水率,滴灌灌水定额用如下公式计算:

$$m = 0.001\gamma ZP(\theta_{\max} - \theta_{\min})。$$
 (1)

式中:m 为设计净灌水定额,mm;γ 为土壤容重,g/cm³;Z 为土壤计划湿润层厚度,cm;P 为设计土壤湿润比,取 60%;θ_{max}、θ_{min} 分别为土壤含水率上限、下限质量百分比,%。土壤计划湿润层厚度 Z 苗期取 20 cm,其他时期均取 40 cm。

施氮量设置 2 个水平:N 225 kg/hm² (F₁)、N 180 kg/hm² (F₂),各处理磷、钾肥量相同,其中,P₂O₅ 112.5 kg/hm²,肥料来源为 CO(NH₂)₂、KH₂PO₄、K₂SO₄,分 3 次(5 月 9 日、6 月 2 日、6 月 22 日)均匀融入水中施入。

试验共 26 条垄,南北 2 侧第 1 条垄为保护行,中间 24 条垄,每条垄长 5 m,种植 10 株番茄,株距为 50 cm,行距为 50 cm,共 8 个处理,每个处理 3 次重复,完全随机排列。移栽前对表层土进行旋耕机翻土。

表 1 秸秆隔层及水氮管理试验设计

处理	秸秆隔层	施氮量 (kg/hm ²)	灌水上限 (% FC)
S ₀ F ₁ W ₁	无	225	90
S ₀ F ₁ W ₂	无	225	80
S ₀ F ₂ W ₁	无	180	90
S ₀ F ₂ W ₂	无	180	80
S ₁ F ₁ W ₁	有	225	90
S ₁ F ₁ W ₂	有	225	80
S ₁ F ₂ W ₁	有	180	90
S ₁ F ₂ W ₂	有	180	80

1.3 测定内容与方法

1.3.1 光合参数测定 分别于 2019 年 5 月 30 日、6 月 20 日、7 月 8 日晴天 09:00—11:00 利用 LI-6800 型光合仪(美国 LI-COR 公司)随机选取每个处理 4 株对其充足受光、叶位一致的完整功能叶进行测定。为降低环境变化带来的误差,采取“Z”字形测量法,即每重复的每个处理测定 1 个数据即进入下 1 个处理,全部处理都测完 1 次后进入下 1 次循环,如此依次测完,最后计算各处理平均值。

1.3.2 产量和干物质质量测定 产量:自番茄第一穗果成熟后,每隔 5 d 选择成熟度一致的果实陆续采摘,自来水清洗擦干后称质量,记录各处理分批次的果实鲜质量,至拉秧期结束。干物质量:在最后 1 次采摘果实时每个处理随机选取 4 株,将其根、茎、叶、果分开,用清水冲洗并擦拭干净后放入烘箱,105 ℃ 杀青 30 min,然后 75 ℃ 烘干至恒质量,冷却后用百分之一电子天平称质量。

1.3.3 品质测定 在果实成熟期,每个处理选择 6 个成熟度一致的果实(第 1 穗果和第 3 穗果各 3 个)进行品质测定,采用李合生的方法^[9]测定番茄品质,取平均值作为最终结果。

果实硬度用 GY-4 数显水果硬度计测定,浙江托普仪器有限公司生产;果形指数即纵径和横径的比值,用电子游标卡尺测定果实的纵径和横径;可溶性固形物用手持折射仪 RHBO-90 测定,上海奋业光电仪器设备有限公司生产;有机酸含量用酸碱滴定法测定;可溶性糖含量用硫酸-蒽酮比色法测定;维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚测定;果实颜色指数用 TES-135A 物色分析仪测定,台湾泰仕电子工业股份有限公司生产,计算公式为:

$$TCI = 2\ 000 \frac{a^*}{L^* \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}}。$$
 (2)

式中:L*,a*,b* 为颜色参数,L* 为黑色到白色(0,+100)的亮度范围,a* 为绿色到红色(-100,+100)的范围,b* 为蓝色到黄色(-100,+100)的范围。TCI 即色光值。

1.3.4 水分利用效率 水分利用效率(WUE)是指作物利用单位灌水量所能生产的作物产量,计算公式为:

$$WUE = \frac{Y}{ET}。$$
 (3)

式中:Y 为产量,kg/hm²;ET 为生育期内作物耗水量,mm。

1.3.5 氮肥偏生产力 氮肥偏生产力(PFPN)指投入的单位氮肥所生产的作物经济产量,计算公式为:

$$PFPN = \frac{Y}{N}。$$

式中: Y 为单位面积上作物经济产量,kg; N 为单位面积上氮肥的投入量,kg。

1.4 数据处理

使用 Excel 进行数据处理;使用 SPSS 进行方差分析;使用 Origin 2018 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对番茄光合特性的影响

从图 1 可以看出,各处理的 4 个光合指标均随着生育期的推进呈先上升后下降的趋势;开花坐果期,植株正处于营养生长到生殖生长阶段,光合器官逐步发育和完善,各光合指标逐渐提升;盛果期,植株光合器官发育成熟,处于生殖盛期,各光合指标达到最高值;成熟后期,植株开始衰老,叶片光合能力衰退,各光合指标下降。比较各处理间光合指标差异在不同时期的变化,各处理间净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)在开花坐果期的差异性均小于盛果期和成熟后期,表明随着生育期的推进及试验处理的次数增加,不同处理对植株光合作用影响的累积效应也随之增加。

以盛果期为例,比较不同处理对 P_n 的影响。以 $S_0F_1W_1$ (无秸秆高水高肥)最大,为 $21.87 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,显著($P < 0.05$)高于其他处理;以 $S_0F_2W_2$ (无秸秆低水低肥)最小,为 $14.76 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 显著低于除 $S_0F_2W_1$ 外的其他处理。

无秸秆隔层 S_0 条件下 F_1W_1 处理 $> F_1W_2$ 处理 $> F_2W_1/F_2W_2$ 处理($P < 0.05$),表明无秸秆隔层下,高水高氮可提高 P_n ;在水氮不足时,施氮量对 P_n 的影响高于水分。有秸秆隔层 S_1 下: F_1W_2/F_2W_2 处理 $> F_1W_1/F_2W_1$ 处理($P < 0.05$),表明设置秸秆隔层后,低水低氮处理下的 P_n 反而较高,且水分对 P_n 的影响高于施氮量。

在高水 W_1 条件下 S_0F_1 处理 $> S_1F_1$ 处理($P < 0.05$), S_0F_2 、 S_1F_2 处理间差异不显著,表明秸秆隔层结合高灌水上限降低或不增加 P_n 。在低水 W_2 条件下 S_0F_1/S_0F_2 处理 $< S_1F_1/S_1F_2$ 处理($P < 0.05$),表明秸秆隔层结合低灌水上限可以提高 P_n 。综合

来看, $S_0F_1W_1$ 比 $S_0F_2W_2$ 处理 P_n 提高了 48.17%, $S_1F_2W_2$ 比 $S_0F_2W_2$ 处理 P_n 提高了 32.66%。

综上分析,设置秸秆隔层后,番茄可在低水、低氮条件下获得较高的光合速率,为提高产量和水肥利用效率提供了物质基础。隔层抑制水分和氮肥淋失可能是主要原因。

不同处理 T_r 、 C_i 、 G_s 变化趋势与 P_n 呈总体一致。但 $S_1F_1W_1$ 、 $S_1F_2W_1$ 处理较 $S_1F_1W_2$ 、 $S_1F_2W_2$ 处理, P_n 、 T_r 、 G_s 显著降低,而 C_i 无显著降低,表明秸秆隔层结合高灌水上限时, P_n 的降低可能主要受非气孔因素限制。

2.2 不同处理对番茄干物质量、产量、水分利用效率和氮肥偏生产力的影响

整个生育期的耗水量情况见表 2,秸秆隔层、灌水上限对耗水量影响极显著($P < 0.01$),施氮量、秸秆隔层与灌水上限的交互作用对耗水量影响显著。在同一灌水上限和秸秆隔层下,施氮量对耗水量无显著影响。与无秸秆隔层相比,有秸秆隔层处理在高水(W_1)条件下平均节水 7.4%,低水(W_2)条件下平均节水 5.4%;整个生育期以 $S_1F_2W_1$ 、 $S_1F_2W_2$ 处理耗水量最低,比最高耗水量 $S_0F_1W_1$ 处理分别减少 17.3%、18.8%。

施氮量、秸秆隔层与灌水上限的交互作用对植株地上部分干质量影响极显著。 S_0 条件下,高氮(F_1)处理地上部分干质量显著高于低氮(F_2)处理,高水(W_1)处理地上部分干质量高于低水(W_2)处理(F_1 条件下 $P < 0.05$); S_1 条件下,低水(W_2)处理地上部分干质量显著高于高水(W_1)处理, F_1W_2 、 F_2W_2 处理间无显著差异。所有处理中地上部分干质量以 $S_0F_1W_1$ 最高, $S_0F_2W_2$ 最低。

各处理间产量与地上部分干质量呈线性正相关关系,相关系数 $r = 0.9747$,达极显著水平。秸秆隔层、灌水上限、施氮量、各因素两两之间的交互作用及三者的交互作用均对产量产生显著影响。同一灌水上限下, S_0F_1 处理产量显著高于 S_0F_2 处理,而 S_1 处理不同施氮量间无显著差异;同一施氮量下, S_0W_1 处理产量高于 S_0W_2 (F_1 条件下 $P < 0.05$),而 S_1W_1 处理产量显著低于 S_1W_2 处理。所有处理中产量以 $S_0F_1W_1$ 最高,较最低产量处理 $S_0F_2W_2$ 高 44.6%; $S_1F_1W_2$ 、 $S_1F_2W_2$ 产量次之,较最低产量处理 $S_0F_2W_2$ 分别高 28.3%、30.8%,较最高产量处理 $S_0F_1W_1$ 分别低 12.7%、9.5%。表明在无秸秆隔层下,高水高氮(F_1W_1)较低水低氮(F_2W_2)处理增产

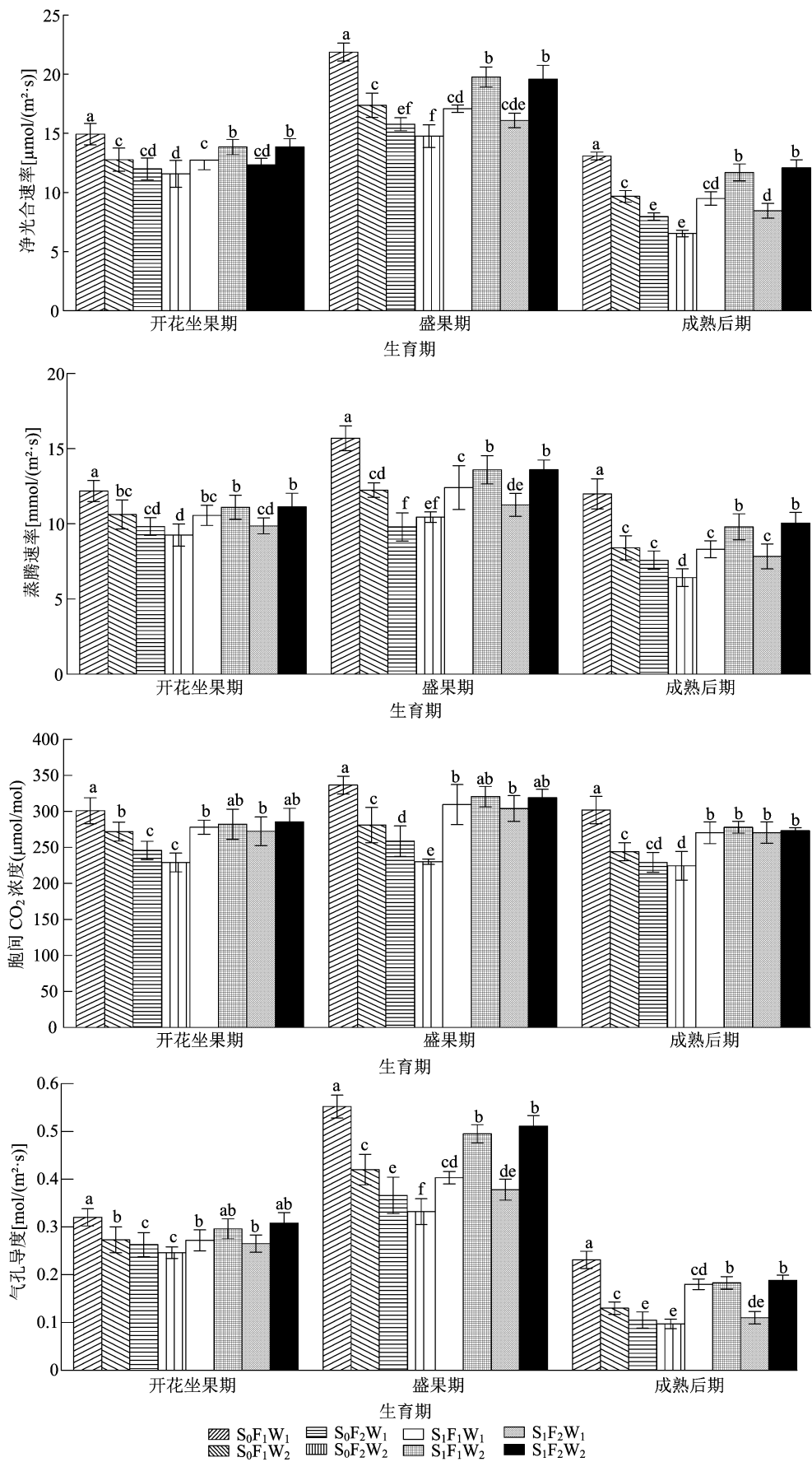


表 2 不同处理对番茄干物质质量、产量、水分利用效率和氮肥偏生产力的影响

处理	耗水量 (mm)	地上部分干质量 (g/株)	产量 (t/hm ²)	WUE (kg/m ³)	PFPN (kg/kg)
S ₀ F ₁ W ₁	191.09a	153.27a	95.37a	49.91b	423.87b
S ₀ F ₁ W ₂	171.17c	129.36c	75.20c	43.93c	334.22e
S ₀ F ₂ W ₁	189.47a	111.90de	68.83de	36.33e	382.39cd
S ₀ F ₂ W ₂	169.81c	106.12e	65.96e	38.84de	366.44d
S ₁ F ₁ W ₁	178.96b	127.02c	75.03c	41.93cd	333.47e
S ₁ F ₁ W ₂	162.85d	142.40b	84.65b	51.98ab	376.22cd
S ₁ F ₂ W ₁	175.54b	118.62d	71.52cd	40.74cd	397.33c
S ₁ F ₂ W ₂	160.77d	138.30b	86.27b	53.66a	479.28a
显著性检验					
S	**	*	*	**	**
F	*	**	**	**	**
W	**	ns	*	**	ns
S×F	ns	**	**	**	**
S×W	*	**	**	**	**
F×W	ns	*	**	**	**
S×F×W	ns	ns	*	ns	ns

注:耗水量=生育期灌水量-试验初期和末期土壤计划湿润层水分变化量(地下水埋深较深,不考虑地下水补给);同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$);*表示差异显著($P<0.05$),**表示差异极显著($P<0.01$);ns表示差异不显著($P>0.05$)。表3同。

效应显著;有秸秆隔层低水低氮(S₁F₂W₂)较无秸秆隔层低水低氮(S₀F₂W₂)处理增产效应显著。

除3个因素间的交互作用外,秸秆隔层、灌水上限、施氮量及各因素两两之间的交互作用均对WUE产生极显著影响。S₀条件下以F₁W₁处理WUE最高,S₁条件下以W₂处理WUE最高且显著高于S₀F₁W₁。

除灌水上限、三因素间的交互作用外,秸秆隔层、施氮量及各因素两两之间的交互作用均对PFPN产生极显著影响。S₀条件下以F₁W₁处理PFPN最高,S₁条件下以F₂W₂处理PFPN最高且显著高于S₀F₁W₁。

综合考虑产量、WUE和PFPN,以S₀F₁W₁、S₀F₂W₂处理最优。

2.3 对番茄品质的影响

2.3.1 储运品质 番茄硬度是与耐贮性密切相关的重要品质性状之一,测定果实采摘初始的硬度,就可以预测在储藏条件下硬度下降的程度,为番茄的储存、运输提供理论依据^[10]。从表3可以看出,秸秆隔层、灌水上限对番茄硬度的影响极显著。S₀条件下,高水(W₁)处理硬度显著低于低水(W₂)处理,表明低水胁迫有助于增加果实硬度;与S₀处理相比,S₁下各处理硬度有所降低(F₁条件下 $P<$

0.05,F₂条件下 $P>0.05$),表明秸秆隔层的保水效果不利于增加果实硬度。在设置秸秆隔层时,需适当降低灌水上限,以保持较高硬度。

2.3.2 外观品质 颜色指数和果形指数是番茄重要的外观品质。(1)颜色指数。所有处理中,高水(W₁)处理颜色指数显著低于低水(W₂)处理,表明低水有助于提高颜色指数;在同一施氮量下,有秸秆隔层低水处理(S₁W₂)与无秸秆隔层低水处理(S₀W₂)无显著差异。(2)果形指数秸秆隔层、施氮量以及秸秆隔层与灌水上限的交互作用均对果形指数产生显著影响,在S₀条件下,高水高氮(F₁W₁)处理果形指数高于低水低氮(F₂W₂)处理,而S₁条件下表现相反,表明高水高氮(F₁W₁)有助于提高果实的果形指数,低水低氮(F₂W₂)时秸秆隔层可提高果形指数。

2.3.3 对番茄营养品质的影响 从表3可以看出,灌水上限、施氮量、灌水上限与秸秆隔层的交互作用均对维生素C含量产生显著影响。在S₀条件下,W₁处理维生素C含量低于W₂处理(F₁条件下 $P<0.05$,F₂条件下 $P>0.05$),且在低水条件下F₁处理显著高于F₂处理;S₁条件下表现相反,且同一灌水上限下施氮量影响不显著,表明水分作用>氮肥作用,低水高氮有利于提高维生素C含量,且S₁F₁W₂

表 3 不同处理对番茄品质的影响

处理	硬度 (kg/cm ²)	颜色指数	果型指数	维生素 C 含量 (mg/100 g)	有机酸含量 (%)	可溶性糖含量 (mg/100 g)	可溶性固形物 含量(%)	糖酸比
S ₀ F ₁ W ₁	3.87cd	46.52c	0.937a	129.62cd	0.59abc	4.37b	5.49b	9.35abc
S ₀ F ₁ W ₂	4.57a	52.26ab	0.879c	149.34a	0.63a	4.97a	6.22a	9.91a
S ₀ F ₂ W ₁	3.58de	41.49d	0.899bc	129.41cd	0.58bc	3.82c	4.73c	8.29c
S ₀ F ₂ W ₂	4.40ab	48.02bc	0.868c	136.84bc	0.60ab	4.64ab	5.89ab	9.82ab
S ₁ F ₁ W ₁	3.42e	39.49d	0.917ab	123.67d	0.57bc	4.02c	4.90c	8.62bc
S ₁ F ₁ W ₂	4.10bc	54.54a	0.944a	155.87a	0.60ab	4.83a	6.30a	10.50a
S ₁ F ₂ W ₁	3.39e	41.68d	0.893bc	122.54d	0.55c	3.90c	4.67c	8.49c
S ₁ F ₂ W ₂	4.01bc	52.82ab	0.932a	147.48ab	0.58bc	4.72ab	6.04a	10.42a
显著性检验								
S	**	ns	**	ns	*	ns	ns	ns
F	ns	*	**	*	*	**	**	ns
W	**	**	ns	**	**	**	**	**
S×F	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
S×W	ns	**	**	*	ns	*	*	ns
F×W	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S×F×W	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

处理获得最高维生素 C 含量 155.87 mg/100 g。

灌水上限、施氮量均对有机酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比产生显著影响(施氮量对糖酸比影响差异不显著)。S₀ 条件下,同一施氮量下高水(W₁)处理有机酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比均低于低水(W₂)处理,其中可溶性糖含量、可溶性固形物含量差异显著,糖酸比在低氮(F₂)下差异显著,有机酸含量在同一施氮量下差异不显著;S₁ 条件下,同一施氮量下高水(W₁)处理有机酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比均高于(W₂)处理,其中可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比差异显著,有机酸含量在同一施氮量下差异不显著。所有处理中,有机酸含量、可溶性糖含量、可溶性固形物含量、糖酸比以 S₀F₁W₂、S₁F₁W₂、S₁F₂W₂ 处理最高且处理间无显著性差异(除 S₀F₁W₂ 与 S₁F₁W₂ 处理有机酸差异显著外),S₀F₂W₁、S₁F₂W₁ 处理最低且处理间无显著差异。

一般认为,高糖含量下的高糖酸比口感较好,因此,秸秆隔离层下的低肥处理有助于提高番茄风味。

3 讨论与结论

秸秆隔层可通过抑制入渗增加上层土壤的含水率,并减少硝态氮深层渗漏^[11]。秸秆深埋还能够

增加上层土壤有机质,提高土壤肥力,破除土壤板结层,改善土壤结构^[12-13]。本试验结果表明,无秸秆隔层下,适当提高灌水上限和施氮量都会显著提高 P_n、T_r、C_i、G_s 等光合指标;而有秸秆隔层下,高灌水上限会抑制光合作用,低灌水上限有利于光合作用的提高,这是因为秸秆的保水作用使得低水条件下能够提高土壤含水量,且根系由于秸秆阻隔而集中在上层土壤,也使高灌水上限导致土壤含水量过高而对光合作用产生抑制,进而影响干物质累积和经济产量。

关于滴灌水肥对番茄产量的影响,李波等的研究表明,开花坐果期灌溉下限取 60% FC,结果期灌溉上限取 90% FC 有利于产量提高,产量最高约达 91.7 t/hm²^[14]。李波等研究发现,在深埋秸秆(1.5×10⁴ kg/hm²)条件下,当灌水下、上限分别为 60% FC、100% FC 时番茄获得高产^[15]。本研究结果与之有所不同,可能原因是秸秆埋设方式不同。本研究表明,无秸秆隔层下,高灌溉上限 90% FC 和高施氮量(225 kg/hm²)有利于产量的提高,且为所有处理中最高,达 95.37 t/hm²;在有秸秆隔层下,低灌水上限能够得到稳定的产量,低施氮量和高施氮量产量分别为 86.27、84.65 t/hm²,其施氮量不同对产量影响无显著差异的原因可能是秸秆隔层减少氮肥淋失造成的。因此秸秆隔层技术有助于节水、减施,对环境更为友好。

WUE 和 PFPN 都是决定番茄栽培经济效益的重要指标。本研究结果显示,有无秸秆隔层对番茄耗水量影响显著,各有秸秆隔层处理耗水量均少于无秸秆隔层处理,这与秸秆隔层的保水特性有关。在无秸秆隔层下,提高施氮量能够显著提高 WUE,这是因为施氮能够促进根系生长和冠层的发育,使作物可以吸收利用更多的土壤水分^[16],且以 $S_0F_1W_1$ 处理 WUE 和 PFPN 最高,说明合理的水氮配比能够更好地促进作物对肥料的吸收利用。在有秸秆隔层下,秸秆的保水作用使得低灌水上限能够获得较高的 WUE 和 PFPN,而使高灌水上限产生一定程度的渍害而引起减产,导致 WUE 和 PFPN 较低。

相关研究表明,适当的水分亏缺可显著提高番茄的口感品质和营养保健品质^[17]。本研究结果表明,降低灌水上限和提高施氮量有助于提高番茄的综合品质。无秸秆隔层下,降低灌水上限和提高施氮量有利于提高果实硬度和颜色指数,而提高灌水上限和施氮量有利于提高果实果形指数;而有秸秆隔层下,降低灌水上限有利于提高果实硬度、颜色指数和果形指数,施氮量的影响作用不显著。在所有处理中,降低灌水上限和提高施氮量均有利于果实维生素 C、可溶性糖、有机酸、可溶性固形物的积累及糖酸比的提高,且水分作用 > 氮肥作用。

综上所述:(1)无秸秆隔层下适当提高灌水上限和施氮量,及有秸秆隔层下适当降低灌水上限,均有助于提高番茄产量。在 90% FC 灌水上限和 225 kg/hm^2 施氮量下,番茄产量最高,达 95.37 t/hm^2 ,而在 80% FC 灌水上限和 180 kg/hm^2 施氮量下,通过设置秸秆隔层,产量较无秸秆隔层提高 30.79%,达 86.27 t/hm^2 。(2)设置秸秆隔层可显著降低植株生育期内耗水量,且在 80% FC 灌水上限和 180 kg/hm^2 施氮量下 WUE 和 PFPN 最高,达 53.66 kg/m^3 、 479.28 kg/kg ;在无秸秆隔层下,90% FC 灌水上限和 225 kg/hm^2 施氮量处理也获得较高的 WUE 和 PFPN,达 49.11 kg/m^3 、 423.87 kg/kg 。(3)适当的降低灌水上限和提高施氮量有助于提高番茄的综合品质,且水分作用 > 氮肥作用。所有处理中,以 80% FC 灌水上限的处理综合品质较高,且 $S_1F_1W_2$ 、 $S_1F_2W_2$ 综合品质更优。(4)综合考虑产量、品质、WUE 和 PFPN 等指标,灌水下限为 60% FC 时,以设置秸秆隔层 ($1.6 \times$

10^4 kg/hm^2) 结合 80% FC 灌水上限和 180 kg/hm^2 施氮量的处理经济效益最好,能够达到节水、节肥、高产优质的目的。

参考文献:

- [1] Cao J S, Liu C M, Zhang W J, et al. Effect of integrating straw into agricultural soils on soil infiltration and evaporation [J]. Water Science and Technology, 2012, 65(12): 2213–2218.
- [2] Chen S, Zhang Z Y, Wang Z C, et al. Effects of uneven vertical distribution of soil salinity under a buried straw layer on the growth, fruit yield, and fruit quality of tomato plants [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 203: 131–142.
- [3] 李 荣, 侯贤清, 吴鹏年, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤性状与水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 289–298.
- [4] 梁 斌, 唐玉海, 王群艳, 等. 滴灌和施用秸秆降低日光温室番茄地氮素淋溶损失[J]. 农业工程学报, 2019, 35(7): 78–85.
- [5] 李建明, 潘铜华, 王玲慧, 等. 水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 82–90.
- [6] 袁宇霞, 张富仓, 张 燕, 等. 滴灌施肥灌水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 76–83.
- [7] 邢英英, 张富仓, 张 燕, 等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(4): 713–726.
- [8] Liu K, Zhang T Q, Tan C S, et al. Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium[J]. Agronomy Journal, 2011, 103(5): 1339–1345.
- [9] 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.
- [10] 王 昕, 李建桥, 任露泉, 等. 番茄果实采收后的硬度测定及其变化规律[J]. 农业机械学报, 2005, 36(6): 65–67, 64.
- [11] 吴 烽, 张林瑄, 郭相平, 等. 秸秆隔层及不同灌水上限对土壤水氮分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(6): 73–78.
- [12] 邓力群, 陈铭达, 刘兆普, 等. 地面覆盖对盐渍土水盐运动及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(2): 93–97.
- [13] 赵亚慧, 贺 笑, 王 宁, 等. 不同理化调控措施缓解麦秸对水稻生长负面效应[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 300–305.
- [14] 李 波, 任树梅, 杨培岭, 等. 供水条件对温室番茄根系分布及产量影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 39–44.
- [15] 李 波, 邢经伟, 姚名泽, 等. 深埋秸秆量和滴灌量对温室番茄品质、产量及 IWUE 的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(1): 51–59.
- [16] 邢英英, 张富仓, 吴立峰, 等. 基于番茄产量品质水肥利用效率确定适宜滴灌灌水施肥量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S1): 110–121.
- [17] Wang F, Kang S Z, Du T S, et al. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(8): 1228–1238.