

窦允清,王振华,张金珠,等. 水肥耦合对滴灌加工番茄生理生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(7):124-129.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.031

水肥耦合对滴灌加工番茄生理生长及产量的影响

窦允清,王振华,张金珠,张继峰,侯裕生

(石河子大学水利建筑工程学院/现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆石河子 832000)

摘要:为探究水肥耦合对新疆地区膜下滴灌加工番茄生长、生理和产量的影响,并综合评价产量和水肥调控效应,提出满足高产高效最优的灌溉施肥制度。通过小区试验,以加工番茄品种 3166 为试材,根据文献报道和当地农艺管理方法,设 2 因素 3 水平试验,即 3 个滴灌水量[高水 $5\,250\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (W_1)、中水 $3\,938\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (W_2)、低水 $2\,625\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (W_3)]和 3 个施肥水平[高肥 (F_1):尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 300 、 225 、 $225\text{ kg}/\text{hm}^2$,中肥 (F_2):尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 225 、 169 、 $169\text{ kg}/\text{hm}^2$,低肥 (F_3):尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 150 、 113 、 $113\text{ kg}/\text{hm}^2$],进行完全组合处理设计。试验结果表明,水肥耦合对加工番茄株高、茎粗、水分利用效率、净光合速率及产量的影响显著。在相同的灌水处理下,随着肥料增施,加工番茄的产量先增高后降低;在相同肥料处理下,随着灌水量的不断增加,可以促进产量的增长,最后趋于平稳。随着灌水量的减少,降低了加工番茄的产量。综合试验结果分析,灌溉定额设为 $3\,938\text{ m}^3/\text{hm}^2$,施肥采用 $225\text{ kg}/\text{hm}^2$ 尿素、 $169\text{ kg}/\text{hm}^2$ 磷酸一铵、 $169\text{ kg}/\text{hm}^2$ 氯化钾组合时,加工番茄的产量达到 $174.20\text{ t}/\text{hm}^2$,水分利用效率达到 $26.0\text{ kg}/\text{m}^3$,为最优高产高效灌溉施肥组合。

关键词:加工番茄;滴灌;水肥耦合;灌水量;施肥水平;产量;水分利用效率

中图分类号:S641.206;S641.207

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2019)07-0124-05

新疆是我国加工番茄制品的主要产区,具有得天独厚的地理气候条件和丰富的原料,有着成熟的生产加工企业,结合较低的生产成本,新疆地区加工番茄产量位居世界前三,番茄酱出口量达到全球贸易总量的 $1/4$ ^[1]。长期过量灌水施肥,导致蔬菜品质下降^[2],土壤硝态氮淋失严重^[3]。因此,科学的水肥管理措施对于西部地区的经济发展、环境的保护和资源可持续发展都意义深远。滴灌施肥是将施肥与滴灌相结合的农业创新技术,通过滴灌灌水器不仅将植物所需的水分养分输送到植物根区,还可以降低水分及肥料的流失,在提高作物的水肥利用效率的同时也显著提高了作物的产量及品质^[4-6]。20 世纪以来,我国在对膜下滴灌施肥进行了大面积推广的基础上,作物产量及水肥利用效率相比常规灌水施肥提高了 $20\%\sim 30\%$ ^[7]。同样的技术可以运用在加工番茄大田试验上,在这种情况下研究水肥耦合对膜下滴灌加工番茄的产量、品质、光合特性、水分利用效率和生理生长指标的影响,对于制定新疆地区加工番茄节水、节肥、高产、高效的灌溉施肥制度也有重要的实际意义。

近年来,在干旱半干旱地区关于水肥耦合的研究多数集中于玉米^[8]、棉花^[7]、小麦^[9]、大枣^[10]、温室番茄^[11]等作物上。由于番茄的蔬菜价值较高,针对番茄的研究基本围绕温室番茄展开,邢英英等研究表明,与常规沟灌施肥相比,滴灌

施肥增加番茄产量 ($31.04\text{ t}/\text{hm}^2$)、干物质质量和总氮吸收量,增幅分别达到 47% 、 54% 和 82% ,同时果实中维生素 C 含量、水分利用效率 (WUE) 和氮肥利用率 (NUE) 分别提高 61.8% 、 46% 和 77% ^[11]。膜下滴灌有助于番茄产量、品质及水分利用效率的提高。李建明等研究认为,水肥对光合作用和产量有着显著影响,水对光合作用的影响大于肥料,对产量的影响小于肥料^[12];在一定范围内,番茄产量随灌溉上限及施肥定额的增加而增加。李世娟等研究表明,植物对养分的吸收、运输和利用都依赖于土壤水分,土壤的水分状况在很大程度上决定着肥料的合理用量^[13]。孙文涛等在滴灌条件下水肥耦合对温室番茄产量效应的研究中表明,灌水量和钾肥用量的交互作用是影响番茄产量的主要因素,其次是氮肥用量;仅从产量角度分析,以高灌水量、施中等氮肥量、高等钾肥量为水肥调控的佳最组合^[14]。王鹏勃等研究指出,在相同灌水量条件下,番茄果实中硝酸盐、可溶性蛋白和可滴定酸含量与肥料用量呈正相关;在相同肥料用量下,随着基质含水量增加,番茄果实中硝酸盐、可溶性蛋白、还原糖以及可溶性糖含量逐渐降低,番茄红素含量在中水处理下较高^[15]。以上研究表明,目前关于水肥耦合对滴灌条件下番茄的生长、生理、产量及品质等方面开展的研究主要是围绕温室番茄展开的,对新疆地区日光条件下大田加工番茄的研究还比较少。因此本试验试图研究不同灌水量和施肥量对膜下滴灌加工番茄的生理生长及产量的影响,寻求新疆膜下滴灌加工番茄生产过程中的最优水肥灌溉制度。

1 材料与方法

1.1 试验小区概况

试验于 2017 年 5 月 1 日在现代节水灌溉兵团重点实验

收稿日期:2018-07-27

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0201506)。

作者简介:窦允清(1990—),男,安徽宿州人,硕士,从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail:657161358@qq.com。

通信作者:王振华,博士,教授,主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail:wzh2002027@163.com。

室基地暨石河子大学节水灌溉试验站进行。试验站位于石河子市石河子大学农试场(85°59'E,44°19'N,海拔 410 m),平均地面坡度为 0.6%,属于温带大陆性干旱气候,无霜期为 173 d,年均日照时间为 2 900 h,多年平均降水量为 210 mm,年均蒸发量为 1 660 mm。年平均风速为 1.6 m/s,静风占 32%,偏东风占 14%,偏西风占 17%,偏南风占 22%,偏北风

占 15%。试验小区面积为 0.114 hm²,净种植面积为 0.104 hm²,前茬种植作物为棉花和小麦。作物沿南北方向种植,试验田地下水埋深 8 m 以下,物理黏粒含量(粒径<0.01 mm)大于 21%,土壤质地为中壤土,0~60 cm 土壤平均容重为 1.54 g/cm³。试验区土壤理化性质状况如表 1 所示。

表 1 试验区土壤的理化特性

土层 (cm)	田间持水率 (%)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值
0~20	20.0	0.73	0.91	7.9	29.73	412.43	7.71
20~40	18.7	0.76	0.92	8.2	28.54	409.33	7.96

试验用品种为加工番茄 3166,2017 年 5 月 3 日移苗定植,2017 年 8 月 26 日收获。种植方式为当地典型的起垄覆膜栽培模式,一膜两管四行,膜宽 1.45 m,毛管间距 70 cm,番茄幼苗按单穴单株定植在垄的两侧,行距 35 cm,株距 30 cm。选用新疆天业(集团)有限公司生产的单翼迷宫式滴灌带,外径 16 mm,壁厚 0.30 mm,滴头间距 30 cm,滴头流量 1.8 L/h。滴灌施肥设备主要由水源、水泵、回流管、施肥罐、旋翼式水表和输配水管道系统等组成。为降低相邻处理之间水肥相互渗透对试验的影响,处理之间埋 60 cm 深的塑料薄膜。所有田地的除草、打药等田间农艺管理措施一致。加工番茄的膜下滴灌种植模式见图 1。

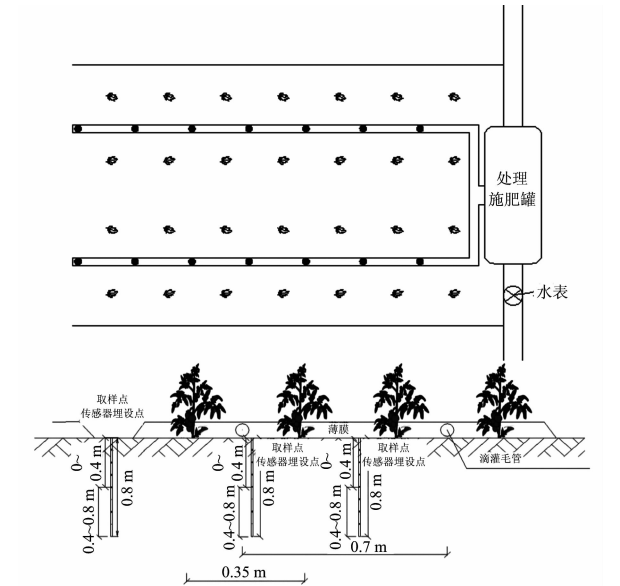


图1 加工番茄膜下滴灌种植模式

1.2 试验方法

加工番茄需要较大的灌水量和施肥量以满足其生长需求。根据文献[14~15]和当地农艺管理,了解当地大田加工番茄种植的常规灌水、施肥量情况,设定灌溉定额和施肥 2 个因素,采用水、肥 2 因子 3 水平完全处理。试验用肥料为尿素[CO(NH₂)₂,N 质量分数为 46.4%],磷酸一铵(NH₄H₂PO₄, P₂O₅ 质量分数为 60.5%)和氯化钾(KCl,K₂O 质量分数为 57%)。灌溉定额设高水 5 250 m³/hm²(W₁)、中水 3 938 m³/hm²(W₂)、低水 2 625 m³/hm²(W₃)3 个水平,施肥采用 3 个水平[高肥(F₁):尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 300、225、225 kg/hm²,中肥(F₂):尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 225、169、169 kg/hm²,低肥(F₃):尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 150、113、113 kg/hm²],共 9 个处理,每个处理设定 3 个重复。根据加工番茄的生理生长情况,采取少量多次的灌水施肥方式,施肥前将肥料完全溶解于施肥罐中。滴灌灌水量和施肥量分 5 次施入,每次的施肥量的计算依据小区面积、总施肥量、番茄生育期和施肥次数而定。番茄生育期依次为苗期、开花期、果实膨大一期、果实膨大二期和收获期。具体试验灌溉制度见表 2。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生长指标 加工番茄共分为 5 个生育期:苗期(5 月 3—31 日)、开花期(6 月 1—19 日)、第一果实膨大期(6 月 20 日至 7 月 9 日)、第二果实膨大期(7 月 10—23 日)、收获期(7 月 24 日至 8 月 26 日)。在每个生育期末,每小区随机选择 3 株,从植株基部用卷尺测量株高,茎粗用电子游标卡尺测量并采用十字交叉法读数,取其平均值。

1.3.2 土壤含水率的测定 在加工番茄移栽定植后,在每个生育期末,在水平方向距离滴灌带 15 cm 处和垂直方向采用

表 2 试验处理编号及灌水施肥情况表

处理	面积 (hm ²)	全生育期				各生育期灌水、施肥比例(%)				
		总灌水量 (m ³)	尿素用量 (kg)	磷酸一铵 用量(kg)	氯化钾用量 (kg)	苗期	花期	第一 膨大期	第二 膨大期	收获期
W ₁ F ₁	0.009 5	49.88	2.85	2.14	2.14	12.5	12.5	25	25	25
W ₁ F ₂	0.006 4	33.60	1.44	1.08	1.08	12.5	12.5	25	25	25
W ₁ F ₃	0.009 3	48.83	1.40	1.05	1.05	12.5	12.5	25	25	25
W ₂ F ₁	0.006 3	24.81	1.89	1.42	1.42	12.5	12.5	25	25	25
W ₂ F ₂	0.011 4	44.89	2.57	1.93	1.93	12.5	12.5	25	25	25
W ₂ F ₃	0.008 1	31.90	1.22	0.92	0.92	12.5	12.5	25	25	25
W ₃ F ₁	0.008 3	21.79	2.49	1.87	1.87	12.5	12.5	25	25	25
W ₃ F ₂	0.007 5	19.69	1.69	1.27	1.27	12.5	12.5	25	25	25
W ₃ F ₃	0.008 2	21.53	1.23	0.93	0.93	12.5	12.5	25	25	25

土钻取土,取土深度为 100 cm(按 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~80、80~100 cm 分层),采用烘干法测定土壤含水率,即土壤含水率=(鲜土质量-干土质量)/干土质量×100%。

1.3.3 光合指标的测定 于 2017 年 8 月 3 日 10:00—20:00 进行光合指标的测定,采用 Li-6400 便携式光合测定仪,测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)的日变化。测定在 10:00—20:00 时间段进行,每隔 2 h 测定 1 次。光源采用自然光源,每个处理选取 3 株加工番茄进行测定,测定前对加工番茄第 4 层向阳叶片用红绳标记,并取其平均值。计算水分利用效率 WUE,计算公式为: $WUE = P_n / T_r$ 。

1.3.4 增产效应的测定 增产效应的测定公式如下:

$$E_1 = (Y_x - Y_L) / Y_L^{[16]}。$$

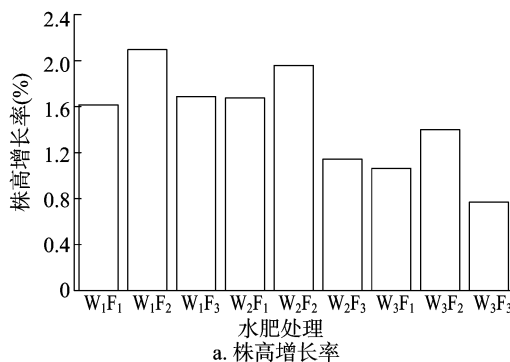
式中: Y_x 为某水分处理和某肥料处理的产量,kg/hm²; Y_L 为低水低肥料处理的产量,kg/hm²。

1.3.5 30 cm 厚土层水分利用效率的测定 水分利用效率即植株每蒸腾消耗 1 m³ 水所生产的果实的质量,土壤含水率用土钻取土测定, $WUE = \text{果实产量} / (\text{灌溉前与拉秧后 30 cm 厚土层土壤含水率均值} - \text{定植前 30 cm 厚土层土壤含水率}) \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 水肥耦合对滴灌加工番茄生长指标的影响

水肥耦合对加工番茄生长的株高、茎粗有显著的影



响^[17]。经过相关性分析,灌水量对加工番茄株高增长率的影响达到了极显著水平($P < 0.01$, $F = 52.868$),对加工番茄茎粗增长率的影响达到了显著水平($P < 0.05$, $F = 3.944$);施肥量对加工番茄株高增长率的影响达到了极显著水平($P < 0.01$, $F = 396.293$),施肥量对加工番茄的茎粗增长率的影响不显著($P > 0.05$)。水肥耦合作用对加工番茄的株高和茎粗的影响均达到了显著水平($P < 0.05$, $F = 82.968$; $P < 0.05$, $F = 18.212$)。由图 2-a 可知,在水肥处理情况下,在 W_1 、 W_2 和 W_3 处理中,株高的增长率皆在 F_2 情况下达到最大值,随着灌水量的减少,在同一肥料 F_3 的处理下,株高的增长率在逐渐降低,且 W_3F_3 达到最小值。在不同灌水量和施肥量过渡区 W_1F_3 和 W_2F_1 , W_2F_3 和 W_3F_1 株高的增长率变化没有相同灌水量下不同施肥量处理的变化大,由此可知灌水量对株高的影响比较大,且灌水量和施肥量共同作用于株高的增长率。

由图 2-b 可知,在 W_1 、 W_2 和 W_3 处理下,茎粗的增长率分别在 W_1F_2 、 W_2F_2 和 W_3F_2 处理下达到最大值,随着灌水量的减少,在同一肥料 F_3 的处理下,茎粗的增长率在逐渐降低,且 W_3F_3 处理达到最小值。在不同灌水量和施肥量过渡区, W_1F_3 与 W_2F_1 、 W_2F_3 与 W_3F_1 茎粗的增长率变化没有 W_1F_2 与 W_1F_3 、 W_3F_2 与 W_3F_3 明显,由此可见灌水量对茎粗的影响较大。在相同的灌水量处理下,茎粗增长率随着施肥量的增加呈先提高后降低的趋势;在相同的施肥量下,随着灌水量的增加,加工番茄的茎粗增长率呈现出不同的变化。由此可知,水肥共同作用于加工番茄的茎粗。

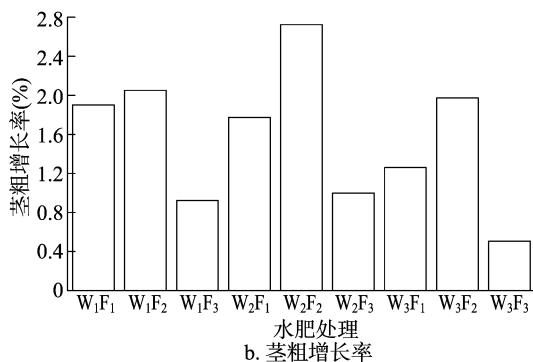


图2 不同水肥处理对加工番茄株高增长率和茎粗增长率的影响

2.2 水肥耦合对加工番茄生理因素的影响

光合效应也是作物生长的重要指标。表 3 是果实膨大二期灌水后 48 h,14:00 不同的水肥处理对加工番茄净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度及水分利用效率的影响。在施肥量一定的情况下,灌水量对 P_n 、 C_i 和 WUE 的影响均达到显著水平($P < 0.05$),施肥量仅对 P_n 的影响达到显著水平($P < 0.05$),对 T_r 、 G_s 、 C_i 和 WUE 的影响不显著。

叶片的光合速率受环境多个因子影响且这些因子相互促进或者抑制,并非是孤立存在的^[18]。由表 3 可知,光合速率受灌水量和施肥量的交互影响。不同的水肥处理的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 分别介于 1.73~11.40 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、1.11~3.30 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、0.04~0.13 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 93.0~373.0 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 之间, P_n 、 T_r 、 G_s 的最大值皆为 W_2F_3 处理,最小值分别在 W_3F_1 、 W_1F_3 、 W_1F_3 ; C_i 的最大值处理是 W_2F_1 ,最小值处理是 W_1F_2 。各处理的 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 最大值比最小值分别提高了 559%、197%、225% 和 301%。说明加工番茄

叶片可以通过调节自身气孔导度的开放大小来进行光合速率调节,光合速率在一定程度上促进了蒸腾速率和胞间 CO_2 浓度的提高。WUE 的较大值依次在 W_1F_2 、 W_3F_1 、 W_2F_3 处理,最小值在 W_2F_1 处,可以看出水分利用效率的较大值、最小值都落在了 W_2 处理内,在相关性分析中,灌水量对水分利用效率影响显著。

2.3 水肥耦合对加工番茄产量的影响

产量作为最重要的经济指标,在研究加工番茄的水肥耦合中意义重大,与加工番茄的生长、生理特性都存在一定的关系。从图 3 可以看出,加工番茄的产量与灌水量和施肥量有着明显的关系,过高或过低的灌水量,番茄的产量均不能达到最高值。加工番茄的产量介于 89.83~174.20 t/hm² 之间, W_2F_2 的产量最高,其次是 W_1F_1 和 W_1F_2 。从节水、节肥、产量多方面考虑, W_2F_2 处理是最优的灌溉施肥方式。 W_2F_2 产量比 W_3F_2 处理产量增加了 93.9%。随着灌水量的增加,加工番茄的产量从大到小依次是 W_2 、 W_1 、 W_3 , W_2 处理产量较

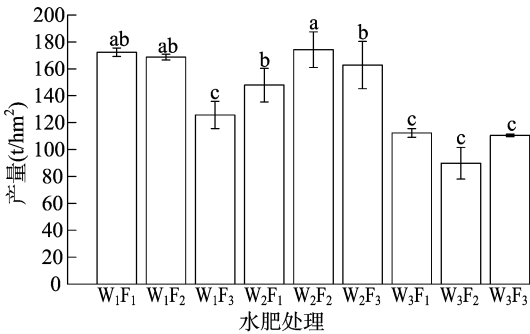
表 3 不同水肥处理对加工番茄叶片光合特性和水分利用效率的影响

灌水处理	施肥处理	P_n	T_r	G_s	C_i	WUE
		[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	[$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
W_1	F_1	$4.16 \pm 1.27\text{bc}$	$1.71 \pm 0.33\text{b}$	$0.06 \pm 0.14\text{ab}$	$292.0 \pm 13.44\text{abcd}$	$2.42 \pm 0.28\text{bcde}$
	F_2	$8.69 \pm 2.09\text{ab}$	$1.95 \pm 0.14\text{ab}$	$0.07 \pm 0.14\text{ab}$	$93.0 \pm 79.20\text{d}$	$4.51 \pm 1.40\text{a}$
	F_3	$2.96 \pm 0.05\text{c}$	$1.11 \pm 0.01\text{b}$	$0.04 \pm 0.07\text{b}$	$284.5 \pm 36.60\text{abcd}$	$2.67 \pm 0.54\text{abcde}$
W_2	F_1	$1.73 \pm 0.63\text{c}$	$2.18 \pm 1.27\text{ab}$	$0.08 \pm 0.57\text{ab}$	$373.0 \pm 22.63\text{a}$	$0.86 \pm 0.20\text{e}$
	F_2	$3.00 \pm 2.50\text{c}$	$2.25 \pm 0.18\text{ab}$	$0.08 \pm 0.07\text{ab}$	$339.5 \pm 67.18\text{ab}$	$1.39 \pm 1.22\text{de}$
	F_3	$11.40 \pm 1.19\text{a}$	$3.30 \pm 0.48\text{a}$	$0.13 \pm 0.35\text{a}$	$232.5 \pm 27.58\text{bcd}$	$3.47 \pm 0.15\text{abc}$
W_3	F_1	$10.70 \pm 2.96\text{a}$	$2.54 \pm 0.88\text{ab}$	$0.09 \pm 0.35\text{ab}$	$186.5 \pm 12.02\text{d}$	$4.26 \pm 0.30\text{ab}$
	F_2	$3.39 \pm 3.01\text{c}$	$1.68 \pm 0.57\text{b}$	$0.05 \pm 0.14\text{b}$	$306.5 \pm 65.76\text{ab}$	$1.82 \pm 1.17\text{cde}$
	F_3	$5.85 \pm 3.84\text{abc}$	$1.95 \pm 0.48\text{ab}$	$0.07 \pm 0.21\text{ab}$	$225.5 \pm 23.33\text{cd}$	$3.32 \pm 0.62\text{abce}$
$F_{\text{灌溉}}$		12.129 *	0.424	0.226	62.772 *	82.542 *
$F_{\text{施肥}}$		20.618 *	0.882	4.333	2.365	3.372
$F_{\text{灌溉} \cdot \text{施肥}}$		7.493 **	3.047 *	7.500 **	12.264 **	9.352 **

注:数值为“平均值±标准差”,同列数据后标有不同小写字母表示处理之间差异显著($P<0.05$)。*表示在0.05水平影响显著,**表示在0.01水平影响显著,下表同。

W_1 、 W_3 分别提高了 4%、55%。在相同的灌水处理下,随着肥料的增加,加工番茄的产量会有不同的结果。在 W_2 处理下,随着施肥量的增加,加工番茄产量从大到小的顺序为 F_2 、 F_3 、 F_1 。 W_2F_2 产量较 W_2F_3 、 W_2F_1 分别提高了 7%、17.8%。在相同肥料的处理下,不同的灌水量对加工番茄产量的影响不同。在 F_1 情况下, W_1F_1 较 W_2F_1 、 W_3F_1 ,产量分别提高了 16.5%、53.4%。 W_2F_2 较 W_1F_2 加工番茄的产量提高了 3%,随着灌水量的增加,对加工番茄的产量有抑制的效果,但效果不明显。 W_2F_2 较 W_3F_2 加工番茄的产量提高了 94%,随着灌水量的减少,对加工番茄的产量降低有着明显影响。

此外,由图 3 可见,在水充分充足的条件下,高肥和中肥料对产量有影响但不显著, W_1F_1 、 W_1F_2 产量均较高;但肥料较少也直接影响作物的产量, W_1F_2 产量较 W_1F_3 增产 34.2%。在水资源匮乏的灌溉条件下, W_3F_1 、 W_3F_3 较 W_3F_2 产量提高 25.1%、23.1%,产量受肥料的影响不大。在 W_2 处理下,水肥共同耦合作用于加工番茄的产量。



不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

图3 各处理下加工番茄的产量

2.4 水肥耦合对加工番茄 30 cm 厚土层水分利用效率及增产效应的影响

利用 SPSS 相关性分析软件,由表 4 可知,灌水处理对加工番茄产量的影响显著($P<0.05$, $F=8.940$),对灌溉水分利用效率的影响不显著($P>0.05$, $F=1.800$);施肥对加工番茄产量和水分利用效率的影响都不显著($P>0.05$, $F=0.097$; $P>0.05$, $F=0.091$);水肥交互对加工番茄的产量影响极显著

($P<0.01$, $F=170.876$),水肥交互对加工番茄的水分利用效率影响显著($P<0.05$, $F=72.546$)。

由表 4 还可知, W_2F_2 产量最高,水分利用效率从高到低依次是 W_2F_1 、 W_3F_1 、 W_3F_3 。最低的是 W_1F_3 ,最大值处理比最小值提高了 129%。由水分利用效率 $W_1F_1>W_1F_3$, $W_2F_1>W_2F_3$, $W_3F_1>W_3F_3$ 可知,当灌溉量一定时,在一定范围内肥料的增施同时可以提高作物对水分的吸收利用;由 $W_1F_2>W_1F_1$, $W_2F_3>W_2F_2$, $W_3F_3>W_3F_2$ 可知,灌水量一定时,在一定范围内肥料的增施不利于水分的吸收。同理, $W_1F_2>W_2F_2$, $W_1F_2>W_3F_2$,在一定范围内灌水量的增加可以提高作物对水分的吸收利用; $W_3F_3>W_2F_3>W_1F_3$,当施肥量一定时,在一定范围内灌水量的增加不利于水分的吸收。在一定的范围内,水肥对产量的影响具有相互促进的关系。合理有效的水肥调控是实现节水、节肥、高产、高效生产的前提和基础。 W_3 处理下的水分利用效率较高,但产量都较低, W_3F_2 处理增产效应出现负增长,可见灌水量对产量的影响显著大于施肥量,且灌水量对加工番茄产量的影响显著($P<0.05$, $F=8.940$)。在 W_1 中,水分利用效率 $W_1F_2>W_1F_1>W_1F_3$,产量 $W_1F_1>W_1F_2>W_1F_3$,由此说明,灌水量一定时,施肥量影响着产量。在 W_2 中,产量 $W_2F_2>W_2F_3>W_2F_1$,由此说明,并不是随着施肥量的增加产量便增加。在 W_2F_2 处理下,灌水量、施肥量、水分利用效率都没有达到最大值,但是产量、产量增长效应都达到最大值。由此说明,在本试验条件下, W_2F_2 处理的水肥耦合效果最好,为最优节水、节肥灌溉施肥处理。

3 讨论

科学的水肥管理在生产中不仅可以实现低投入、高产出、高品质的目标,还可以节省人力、物力和财力。在作物生育期不同的情况下,作物生长生理情况也受很大影响^[18-20]。本研究通过田间试验,分析了不同的水肥处理对滴灌加工番茄生理生长及产量的影响,为新疆种植加工番茄的节水灌溉技术提供指导。

灌溉量与施肥量对光合作用的影响不同,水分对光合作用的影响高于施肥量^[21],这与本试验的结果相似。中水低肥

表 4 不同处理的产量及水分利用效率比较

灌水处理	施肥处理	产量 (t/hm ²)	30 cm 厚土层水分 利用效率(kg/m ³)	增产效应
W ₁	F ₁	172.28	23.0	0.56
	F ₂	168.66	33.5	0.53
	F ₃	125.72	17.3	0.14
W ₂	F ₁	147.93	39.6	0.34
	F ₂	174.20	26.0	0.58
	F ₃	162.80	33.9	0.47
W ₃	F ₁	112.34	34.4	0.02
	F ₂	89.83	30.3	-0.19
	F ₃	110.56	34.2	0.00
F _{灌溉}		8.940 *	1.800	
F _{施肥}		0.097 *	0.091 *	
F _{灌溉·施肥}		170.876 **	72.546 *	

处理下光合速率最高,为 11.4 μmol/(m²·s),可能是由于适宜的水分环境下有利于提高气孔导度^[20]。过高或者过低的灌水量均不利于叶片进行光合作用,存在明显的负效应,这与李银坤等的研究结果^[22]一致。光合速率的适当提高有利于产量的增加,进而促进水分利用效率的提高^[23]。

水肥互相互作用对作物的产量和水分利用效率有显著影响^[24]。赵志华等的研究结果^[25]表明,过高或过低的施肥量均不利于植物对水分养分的吸收利用,进而导致减产。“以水促肥、以肥调水”是水肥供应的关键,只有合理的水肥配比才能有利于作物生长发育和提高产量^[26]。本试验表明,水肥耦合对加工番茄的株高、茎粗增长率的影响均达显著水平。灌水量对株高增长率的影响达极显著水平,对茎粗增长率的影响达显著水平;施肥量对株高增长率的影响达极显著水平,对茎粗增长率的影响不显著,这一结论与刘小刚等对作物小粒咖啡苗木生长的研究结果^[27]相似。本研究表明,水肥交互作用下加工番茄的产量达到最优,灌水量和施肥量最高时的产量均没有达到最优,在不同的水肥条件下,加工番茄的产量表现不同,水分不足时,适当地增加灌水量和施肥量均可提高加工番茄产量,过高的水肥使用量会减少加工番茄的产量,这与田军仓等学者研究认为的灌水量与施肥量交互作用对产量影响显著^[28-29]有类似结果。由于一些试验处理方法和测量环境不同、试验开展年限少、试验存在随机性误差可能导致部分研究结果不太一致,对于确定最优的新疆地区膜下滴灌加工番茄的水肥耦合方法还需要进一步的研究。

4 结论

通过全面考虑水肥协同效应,节水、节肥、增产和新疆的区域特性,把每个影响因素有机结合起来,最终才能实现节水节肥高产高效。本试验中较优的灌水施肥制度为膜下滴灌条件下中水中肥处理,即灌水量为 3 938 m³/hm²,尿素、磷酸一铵、氯化钾用量分别为 225、169、169 kg/hm²,根据加工番茄生育期的不同,苗期、花期、果实膨大一期、二期、收获期,可按 1:1:2:2:2:2 的比例进行灌水和施肥。灌水对加工番茄株高、茎粗增长率的影响分别达到了极显著、显著水平;施肥仅对株高增长率的影响达到极显著水平;水肥耦合株高和茎粗生长的影响均达到了显著水平。

在施肥一定的情况下,灌水量对 P_n、C_i 和 WUE 的影响均达到显著水平,施肥仅对 P_n 的影响达到显著水平。WUE 的最大值在 W₂F₁ 处,可以看出水分利用效率的最大值、最小值都落在了 W₂ 处理内,在相关性分析中,灌水量处理对水分利用效率呈现显著影响。当灌溉量一定时,在一定范围内肥料或灌水量的增施可以提高作物对水分的吸收利用;当施肥量一定时,在一定范围内灌水的增加不利于水分的吸收,水肥对产量的影响具有相互促进的关系。

灌水对加工番茄产量的影响显著,水肥耦合对产量及水分利用效率影响分别达极显著、显著水平。在相同的灌水处理下,随着肥料的增加,产量呈现先增高后降低的趋势;在相同肥料处理下,随着灌水量的不断增加,对加工番茄的产量有先促进后抑制的效果,但效果不明显;随着灌水量的减少,对加工番茄的产量降低有着明显影响。

参考文献:

[1]陈 兵. 中国新疆番茄产业发展现状分析[J]. 新疆财经大学学报,2011(3):16-20.

[2]张彩峰,李珍珍,陆 奕,等. 氮肥浓度及形态对青菜产量及品质的影响[J]. 上海农业学报,2014,30(1):75-78.

[3]张维理,田哲旭,张 宁,等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报,1995,1(2):80-87.

[4]Thompson R B,Martinez - Gaitan C,Gallardo M,Giménezb C,et al. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey [J]. Agricultural Water Management,2007,89(3):261-274.

[5]Shi W M,Yao J,Yan F. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients,acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South - Eastern China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2009,83(1):73-84.

[6]Zhu J H,Li X L,Christie P,et al. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2005,111(1/2/3/4):70-80.

[7]王肖娟,危常州,张 君,等. 灌溉方式和施氮量对棉田氮肥利用率及损失的影响[J]. 应用生态报,2012,23(10):2751-2758.

[8]孙文涛,孙占祥,王聪翔,等. 滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究[J]. 中国农业科学,2006,39(3):563-568.

[9]刘作新,郑昭佩,王 建. 辽西半干旱区小麦、玉米水肥耦合效应研究[J]. 应用生态学报,2000,11(4):540-544.

[10]权丽双,王振华,何新林,等. 水肥耦合对极端干旱区滴灌大枣土壤养分的影响[J]. 农学报,2015,5(8):52-58.

[11]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.

[12]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.

[13]李世娟,周殿玺,李建民. 限水灌溉下不同氮肥用量对小麦产量及氮素分配利用的影响[J]. 华北农学报,2001,16(3):86-91.

[14]孙文涛,张玉龙,王思林,等. 滴灌条件下水肥耦合对温室番茄产量效应的研究[J]. 土壤通报,2005,36(2):202-205.

[15]王鹏勃,李建明,丁娟娟,等. 水肥耦合对日光温室袋培番茄产

秦文思,韩颖娟,王连喜,等.宁夏酿酒葡萄冻害风险评估与区划[J].江苏农业科学,2019,47(7):129-133.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.032

宁夏酿酒葡萄冻害风险评估与区划

秦文思¹,韩颖娟²,王连喜¹,成威¹,李琪¹

(1.江苏省农业气象重点实验室/南京信息工程大学,江苏南京 210044; 2.宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏银川 750002)

摘要:根据宁夏 24 个站点 1961—2006 年越冬期气象数据、1:250 000 的地理信息数据、社会经济数据以及宁夏区域土壤资料,采用层次分析法以及加权综合评价法,从孕灾环境敏感性、致灾因子危险性、承灾体脆弱性以及防灾减灾能力等 4 个方面对宁夏酿酒葡萄冻害风险进行分析,以此构建冻害综合风险评估模型。同时结合地理信息系统(GIS)技术对宁夏酿酒葡萄冻害风险进行区划。结果表明,宁夏酿酒葡萄冻害风险分布自西南向东北呈高-低-高的趋势,其中青铜峡市、中宁县、吴忠市、同心县等区域属于酿酒葡萄种植适宜区。本研究结果可为宁夏酿酒葡萄种植区划提供科学参考依据。

关键词:宁夏;酿酒葡萄;冻害;风险评估;风险区划

中图分类号:S425

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2019)07-0129-05

酿酒葡萄种植地的气候条件和地理环境对酒型、酒质有着巨大的影响,因此种植地对酿酒葡萄酒质量的形成和影响备受葡萄酒行业的重视,国内主要酿酒葡萄种植地相继开展过产地适应性评价和区划工作^[1-6]。王蕾等以我国 2 294 个气象站点 1982—2011 年 30 年平均气象数据和我国全境 90 m 分辨率数字高程模型数据为基础,建立了无霜期和活动积温的多元逐步回归模型,并在此基础上绘制了高精度的中

国酿酒葡萄气候区划图和品种区域化图,将酿酒葡萄适宜栽培划分为 4 区 12 亚区^[7]。霜冻是制约葡萄产业发展的主要灾害之一,张磊等对影响宁夏酿酒葡萄种植区霜冻灾害的气象因子进行分析,综合评价了各地的霜冻气候风险^[8]。根据宁夏的气候、地形以及灌溉条件等因素,对宁夏酿酒葡萄种植区域进行气候精细区划,得到作物农业气候区划空间数据集,并划分出葡萄种植优质区^[9-11]。研究结果对推动我国酿酒葡萄产业的发展起到很大的促进作用。

宁夏贺兰山东麓是宁夏葡萄种植的适宜区,是我国酿酒葡萄生产的最佳生态区之一,被葡萄专家称为“中国的波尔多”^[12]。但由于冻害问题的存在,宁夏酿酒葡萄产业一直受到制约,尤其是冬季的葡萄根系冻害发生频繁,几乎每年都有不同程度的发生。冻害风险作为防灾减灾的重要部分,也倍受研究者的重视^[13]。有研究者在风险理论的基础上,综合考

收稿日期:2018-08-23

基金项目:宁夏气象防灾减灾重点实验室开放研究基金(编号:201501)。

作者简介:秦文思(1993—),女,重庆铜梁人,硕士研究生,主要从事农业气象与生态气象研究。E-mail:2281701483@qq.com。

通信作者:王连喜,硕士,教授,主要从事农业气象与生态气象研究。

E-mail:wlx4533@sina.com。

量和品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(10):129-137.

[16] Badr M A, Abou S D, Hussein W A El-Tohamy, et al. Nutrient uptake and yield of tomato under various methods of fertilizer application and levels of fertigation in arid lands [J]. Gesunde Pflanzen, 2010, 62(1): 11-19.

[17] 王秀康,邢英英,张富仓.膜下滴灌施肥番茄水肥供应量的优化研究[J].农业机械学报,2016,47(1):141-150.

[18] 周振江,牛晓丽,李瑞,等.番茄叶片光合作用对水肥耦合的响应[J].节水灌溉,2012(2):28-32,37.

[19] Marcelis L F. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant [J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47(spe): 1281-1291.

[20] 倪纪恒,罗卫红,李永秀,等.温室番茄干物质分配与产量的模拟分析[J].应用生态学报,2006,17(5):811-816.

[21] 高静,梁银丽,贺丽娜,等.水肥交互作用对黄土高原南瓜光合特性及其产量的影响[J].中国农学通报,2008,24(5):250-255.

[22] 李银坤,武雪萍,吴会军,等.水氮条件对温室黄瓜光合日变化及

产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(增刊1):122-129.

[23] 诸葛玉平,张玉龙,张旭东,等.塑料大棚渗灌灌水下限对番茄生长和产量的影响[J].应用生态学报,2004,15(5):767-771.

[24] 李邵,薛绪掌,郭文善,等.水肥耦合对温室盆栽黄瓜产量与水分利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):376-381.

[25] 赵志华,李建明,张大龙,等.水钾耦合对大棚厚皮甜瓜产量和可溶性固形物含量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(8):161-167.

[26] 王振华,权丽双,郑旭荣,等.水氮耦合对滴灌复播油菜氮素吸收与土壤硝态氮的影响[J].农业机械学报,2016,47(10):91-100.

[27] 刘小刚,徐航,程金焕,等.水肥耦合对小粒咖啡苗木生长和水分利用的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2014,40(1):33-40.

[28] 何进宇,田军仓.膜下滴灌旱作水稻水肥耦合模型及组合方案优化[J].农业工程学报,2015,31(13):77-82.

[29] 韩丙芳,田军仓,杨金忠,等.膜侧灌甜菜水肥耦合产量效应研究[J].中国农村水利水电,2008(3):39-43.