

滴灌频率和施氮量对温室西葫芦土壤水分、 硝态氮分布及产量的影响

郭鹏飞^{1,2}, 张筱茜^{1,2}, 韩文^{1,2}, 张坤^{1,2}, 刁明^{1,2}

(1. 石河子大学农学院, 新疆 石河子 832000; 2. 特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000)

摘要: 2016年和2017年在北方寒旱地区日光温室西葫芦栽培中,灌溉定额为269.87 mm,设置2个滴灌频率(低频W1:7天1次,高频W2:2天1次)和2个氮素水平(适氮N1:375 kg/hm²,高氮N2:565 kg/hm²),研究不同处理对温室西葫芦土壤水分、硝态氮分布及西葫芦产量的影响。结果表明:(1)高频(W2)滴灌提高了0—40 cm土层的土壤水分,减少了水分的深层下渗。(2)高氮(N2)施肥各土层硝态氮含量较高,适氮处理配合高频次滴灌根区0—40 cm硝态氮含量维持在相对适宜水平,40—80 cm土层硝态氮含量相对较低,提高滴灌频率可降低氮素向深层淋失的风险。(3)在适氮(N1)水平下,西葫芦产量对于滴灌频率敏感,而对于高氮(N2)水平,提高滴灌频率,产量增加不显著。(4)在定额滴灌量下,滴灌频率对西葫芦水分利用效率的影响大于施氮肥对西葫芦水分利用效率的影响。(5)W2N1处理更有利于西葫芦的生长和产量的提高,推荐北方寒旱地区日光温室西葫芦施氮量为375 kg/hm²,灌溉频率为2天1次。

关键词: 滴灌频率; 施氮量; 土壤质量含水率; 硝态氮含量; 产量; 水分利用效率

中图分类号:S642.6;S627

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2018)04-0109-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.04.017

Effect of Drip Irrigation Frequency and Nitrogen Application Rate on Soil Water and Nitrate Distribution and Yield of Greenhouse Squash

GUO Pengfei^{1,2}, ZHANG Xiaoqian^{1,2}, HAN Wen^{1,2}, ZHANG Kun^{1,2}, DIAO Ming^{1,2}

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000;

2. Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Special Fruits and

Vegetables Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract: In 2016 and 2017, two drip irrigation frequencies (the low frequency W1: one irrigation every 7 days, the high frequency W2: one irrigation every 2 days) and two nitrogen levels (suitable N1: 375 kg/hm², high nitrogen N2: 565 kg/hm²) were conducted in a solar greenhouse of squash in the northern cold and dry land, with the same irrigation quota of 269.87mm. The soil water and nitrate distributions and the yield of squash in solar greenhouse were studied. The results showed that: (1) W2 increased the soil water contents of 0—40 cm and reduced the deep seepage. (2) The soil nitrate contents were higher in all layers under N2, suitable nitrogen treatment combined with high frequency drip irrigation could maintain the nitrate contents at a relatively suitable level at 0—40 cm in the root zone, so the nitrate content in the 40—80 cm soil layer was relatively lower. The improved frequency of drip irrigation could reduce the leaching risk of nitrogen. (3) Under N1, squash yield was sensitive to irrigation frequency, however, for N2, the increasing irrigation frequency had no significant effect on yield, which indicated that the sensitivity of squash yield to irrigation frequency was low. (4) For a given fixed irrigation quota, the effect of drip irrigation frequency on water use efficiency of squash was greater than that of nitrogen fertilizer on water use efficiency of squash. (5) Taken together, W2N1 was more conducive to the growth of squash and the increase of yield. So, it is recommended that the nitrogen level in greenhouse drip irrigation was 375 kg/hm², and the irrigation frequency was 2 days.

Keywords: irrigation frequency; nitrogen application; soil moisture; nitrate nitrogen; yield; water use efficiency

近年来我国设施蔬菜面积增长迅速,蔬菜生产施肥环节出现诸多问题,尤其是过量施用氮肥现象普遍^[1]。设施蔬菜高产高收刺激农民高投入,尤其是盲目大量的化肥投入。目前我国氮肥利用率普遍偏低,旱田的氮肥损失一般为 20%~50%,水田的氮肥损失率一般为 30%~70%。氮肥利用率低下不仅使生产效益降低,也使土壤和地下水受到污染^[2]。解决好氮肥投入量,使其高效利用,达到“低投入,高产出”的目标,是绿色农业发展亟待解决的关键问题。日光温室栽培中利用滴灌技术灌溉,可以使室内环境得到改善,在节水的同时还可以提高产量,水分管理也是实现设施蔬菜作物生产高产的重要措施之一。近年来,针对温室土壤的水分、氮运移特征的研究逐渐增多。国外有学者研究^[3]表明,对种植者来说,过量的化肥投入只能成为一种经济的消耗,氮肥施用过量不仅使蔬菜产量降低,还导致土壤中硝态氮的积累,也是温室内土壤发生次生盐渍化的主要原因之一^[4-5]。土壤中的硝态氮含量随施氮量的增加而增加^[6],且随水滴施后易随水分运移。气候比较湿润和大量灌溉条件下,土壤中累积的硝态氮若不及时被作物所吸收利用,将会逐渐下渗至深层土壤,从而加大对地下水污染的风险^[7-8]。王立河等^[9]研究表明,过量施氮而造成的土壤硝酸盐累积是温室土壤质量恶化和蔬菜品质下降的主要原因。过多的氮肥施入与地下水中硝酸盐含量超标密切相关,施肥量、施肥方式等都会影响到硝态氮在土壤中的动态变化^[10-11]。杨治平等^[12]研究发现适宜的滴灌量与合理的施肥量相结合,可减少土壤中的硝态氮累积,实现提高肥料的高效利用,减轻施肥对环境的负面影响。Assouline 等^[13]研究发现灌溉频率能影响土壤中水分和氮的转移,及植物根系对水分和氮的吸收和利用,从而影响着作物生长和产量形成。前人对温室蔬菜减氮增效研究做了许多研究,而关于温室西葫芦在定额灌水量下,滴灌频率和施氮量对温室土壤水分、硝态氮分布的影响却鲜有报道。为此,本文在高纬度寒旱地区节能日光温室条件下,探讨西葫芦定额滴灌量下,不同滴灌频率、施氮量对土壤剖面水分和硝态氮分布及西葫芦生长的影响,以期优化温室滴灌施肥技术、减少硝酸盐淋洗提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验概况与设计

试验 1 和试验 2 于 2016 年 9 月至 2017 年 12 月在石河子大学农学院试验站 2 号日光温室内(45°19'N,86°03'E)进行,海拔 450 m,当地日照时间 2 318~2 732 h,属典型的温带大陆性气候。选用适宜北疆温室栽培的西葫芦品种,供试品种为“绿优”,采用

营养钵播种育苗。灌溉频率设计:试验 1、试验 2 全生育期每个小区滴灌用水量定额为 269.87 mm;设计低频滴灌(7 天 1 次)、高频滴灌(2 天 1 次),简记为 W1 和 W2;施氮量:设计适氮水平 375 kg/hm² 和高氮水平 565 kg/hm²,简记为 N1 和 N2;过磷酸钙 675 kg/hm²;硫酸钾 375 kg/hm²;有机肥料 834 kg/hm²。(尿素 N≥46%,过磷酸钙 P₂O₅≥46%,硫酸钾 K₂O≥51%),过磷酸钙、硫酸钾与有机肥全部作为基肥一次性施入。20% 氮素作基肥施入,剩余 80% 作为追肥按生育期分 5 次施入;适氮水平苗期、开花坐瓜期、初瓜期、结瓜中期、末瓜期分别为 37.50,56.25,75.00,75.00,56.25 kg/hm²;高氮水平苗期、开花坐瓜期、初瓜期、结瓜中期、末瓜期分别为 56.50,84.75,113.00,113.00,84.75 kg/hm²,各生育期加施追肥时,根据不同处理将肥料在水中充分溶解,分别加入各处理施肥罐中随水施入。试验依据不同滴灌频率和施氮量设定不同的 4 个试验处理,即低频适氮(W1N1)、高频适氮(W2N1)、低频高氮(W1N2)、高频高氮(W2N2),每个处理随机区组排列设定 3 次重复,共 12 个小区,各区间埋置 80 cm 深的塑料膜,防止养分的侧移。每个小区面积为 12 m²,栽培总面积为 144 m²。每个小区铺设 3 条流量为 2.6 h/L 的滴灌带,采用潜水泵与压差式施肥罐进行滴灌与施肥,每区输水总管间安装相同规格的水表,各水表每分钟水的累计流量相同。定植后缓苗水为 40.48 mm(定额灌水量的 15%),剩余 85% 的定额灌水量平均灌入西葫芦全生育期,两年全生育期高频滴灌处理各滴灌 43 次,平均每次滴灌量为 5.33 mm,低频处理各滴灌 13 次,平均每次滴灌量为 17.65 mm,每次灌水施肥在上午进行。播种前采集基础土样,0—20 cm 供试土壤基础理化性状见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

种植季	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (g·kg ⁻¹)	速效磷/ (g·kg ⁻¹)	速效钾/ (g·kg ⁻¹)	质量 含水率/%
2016	11.21	0.92	0.019	0.054	0.148	15.93
2017	11.51	1.14	0.014	0.042	0.226	13.86

试验 1 于 2016 年 9 月 4 日播种育苗,9 月 11 日出苗,9 月 24 日定植(西葫芦植株三叶一心时),待植株缓苗充分后,于 10 月 4 日进行第 1 次灌水施肥处理,植株长势整齐良好时,于 10 月 7 日对不同处理进行第 1 次取样,取地上部鲜样(茎重、叶重、瓜重),往后约每隔 8~10 天的下午取样 1 次,12 月 29 日试验结束;试验 2 于 2017 年 8 月 20 日播种育苗,8 月 25 日出苗,9 月 5 日定植(西葫芦植株三叶一心时),待植株缓苗充分后,于 9 月 15 日进行第 1 次灌水施肥处理,植株长势整齐良好时,于 9 月 18 日对不同处理

进行第1次取样,取地上部鲜样(茎重、叶重、瓜重),往后约每隔8~10天的下午取样1次,12月10日试验结束。试验1、试验2定植行距均为70 cm,株距60 cm,小区均覆盖无滴聚乙烯薄膜,紧靠滴灌带每区种植3行,每行7株,每小区种植21株。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤质量含水率测定 土壤质量含水率采用烘干法测定,分别在每次采集地上部鲜样时,同时用土钻采集各试验小区0—80 cm土壤,每20 cm一个土层,取少量土样装铝盒于烘箱中105 ℃烘至恒重。

$$C=(M_b-M_i)/M_s \times 100\%$$

式中: C 表示土壤质量含水率(%); M_b 表示烘干前总质量(g); M_i 表示烘干后总质量(g); M_s 表示烘干后土样的质量(g)。

1.2.2 土壤硝态氮测定 用2 mol/L的KCl溶液50 mL浸提鲜土样1 h,然后用双波长分光光度法(UV-2401紫外分光光度计)测定。

1.2.3 耗水量 应用农田水量平衡法计算生育期的耗水量:

$$ET=P_r+I+U-R-D-\Delta W$$

式中: P_r 为有效降雨量(mm); I 为滴灌量(mm); U 为地下水补给量(mm); R 为径流量(mm); D 为深层渗漏量(mm); ΔW 为试验末期土壤贮水量与初期土壤贮水量之差(mm)。由于滴灌,每次滴灌量较少,故 R 和 D 可以忽略不计,地下水位在50 m以下,故 U 也可忽略不计,温室内 P_r 为0。上式简化为:

$$ET=I-\Delta W$$

1.2.4 作物水分利用效率 计算公式为:

$$WUE=Y/ET$$

式中: WUE 为作物水分利用效率(kg/(mm·hm²)); Y 为单位面积的作物产量(kg/hm²)。

1.2.5 产量 提前在每个小区内划定测产区,选取长势均匀一致的5株,做好标记,定期采收并记录西葫芦各区的结瓜数和果重,依据动态产量统计总产量。

1.3 数据处理

采用Excell 2007进行数据处理,SPSS 17.0统计分析软件进行方差分析,Origin 9.0软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对西葫芦全生长季土壤质量含水率的影响

由图1可以看出,在温室滴灌条件下,不同处理改变了水分在整个土壤剖面中的分布。两年西葫芦生育期0—80 cm土壤水分垂直动态变化趋势基本一致。0—20 cm土层的质量含水率最高,20—40,40—60 cm土层土壤质量含水率随土层深度的增加而降低,在60—80 cm土层,土壤质量含水率升高。各土

层随着西葫芦生育期的进展,土壤质量含水率变化趋势基本相同。根层0—40 cm土壤水分变化较剧烈,变化幅度较大,该土层主要受灌溉、根区小环境、作物根系活动的影响,土壤质量含水率生育前较高,生育中期时缓慢下降,生育末期又逐渐升高。随着滴灌施肥进度的推移,各处理均发生水分下渗现象,60—80 cm土层在生育中后期土壤质量含水率逐步升高,W1N1、W1N2尤为显著。两年数据显示,同一土层不同处理下的土壤质量含水率存在差异,全生育期0—20 cm土层中,各处理平均土壤质量含水率为:W2N1>W2N2>W1N1>W1N2,W2处理与W1处理间差异显著,但随土层加深,处理间的差异性逐渐减小。在20—40,40—60 cm土层,W2处理下土壤质量含水率大于W1处理的土壤质量含水率。由于滴灌频率高,滴灌间隔期短,上部土层获得外来水分补给的机会随之增加,滴灌频率高的处理水分向土壤深层移动水量减少,西葫芦根系周围小环境水分充盈,滴灌水充分满足了西葫芦生长所需的养分。而滴灌次数少的处理灌溉周期长,单次滴灌定额较大,由于植株消耗的水分一定,滴灌后土壤水分除作物根系活动外,灌溉水向土壤深处移动,使得灌溉水不能得到充分利用,根层0—40 cm在部分时段易发生水分亏缺现象,60—80 cm土层土壤加大了水分深层渗漏的风险。

2.2 不同处理对西葫芦全生长季土壤硝态氮运移的影响

由于铵态氮在本试验中测定含量较低,本研究只对西葫芦生育期硝态氮含量变化进行分析。图2为两年各处理对土壤剖面中硝态氮分布的影响。两年西葫芦生育期内,0—80 cm土层土壤硝态氮运移规律基本相同。随着滴灌施肥次序向前推移,各土层硝态氮含量均逐渐增加,各土层N2水平的硝态氮含量明显高于N1水平,W2处理与W1处理相比,0—80 cm土层的硝态氮含量变化比较平稳。0—20 cm硝态氮含量呈先增大,后减小,再增大的趋势,各处理间差异明显。氮素施入越多,表层0—20 cm土壤中残留的硝态氮含量则越多,向深层淋洗的也越多。20—40,40—60,60—80 cm随着水肥次序的推移硝态氮含量显著增加。这表明随着水、肥次序向前推移,上层累积的硝态氮向下层土壤中运移的趋势逐渐明显。60—80 cm各处理硝态氮含量的波动范围最大,W1N2增幅尤为显著,如2016年变幅为35.29~90.68 mg/kg,2017年变幅为38.52~88.32 mg/kg。高氮水平下深层土壤硝态氮含量越大,土壤氮素深层淋洗损失的风险也越大。同一施氮条件下,在根层0—40 cm,全生育期W2处理的硝态氮含量大于W1处理的硝态氮含量,但在40—80 cm土层时,W2处理的硝态氮含量却小于W1处理的硝态氮含量,表明高频滴灌处理在满足植株基本养

分需求的同时,也有效降低了土壤氮素向下淋洗损失的风险。W2N1 处理根区的硝态氮含量保持在相对适宜水平,2016 年 0—20,20—40 cm 硝态氮含量分别维持在 51.88~85.85,42.64~80.14 mg/kg,2017 年

0—20,20—40 cm 硝态氮含量分别维持在 55.64~89.14,42.76~78.54 mg/kg,而在 60—80 cm 土层的硝态氮含量相对于其他处理,含量最低,土壤氮素向深层淋洗损失的风险也就越低。

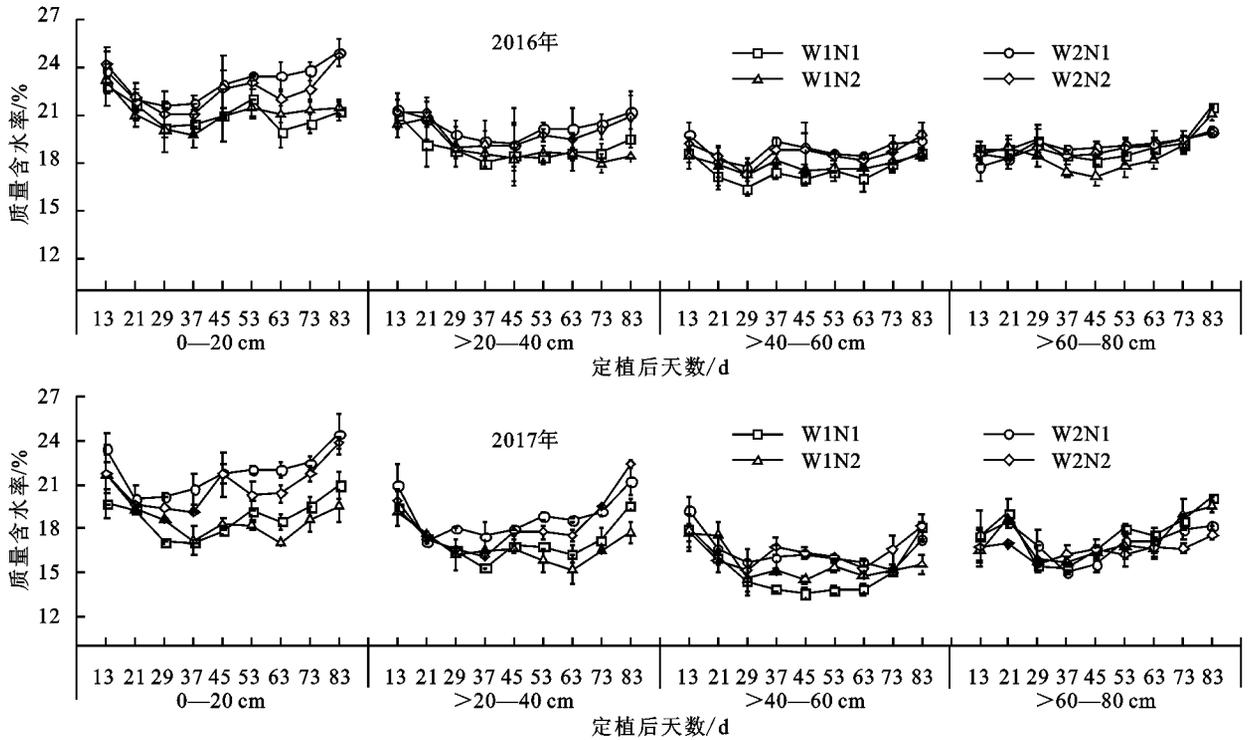


图 1 2016 年和 2017 年不同处理对 0—80 cm 土层土壤质量含水率的影响

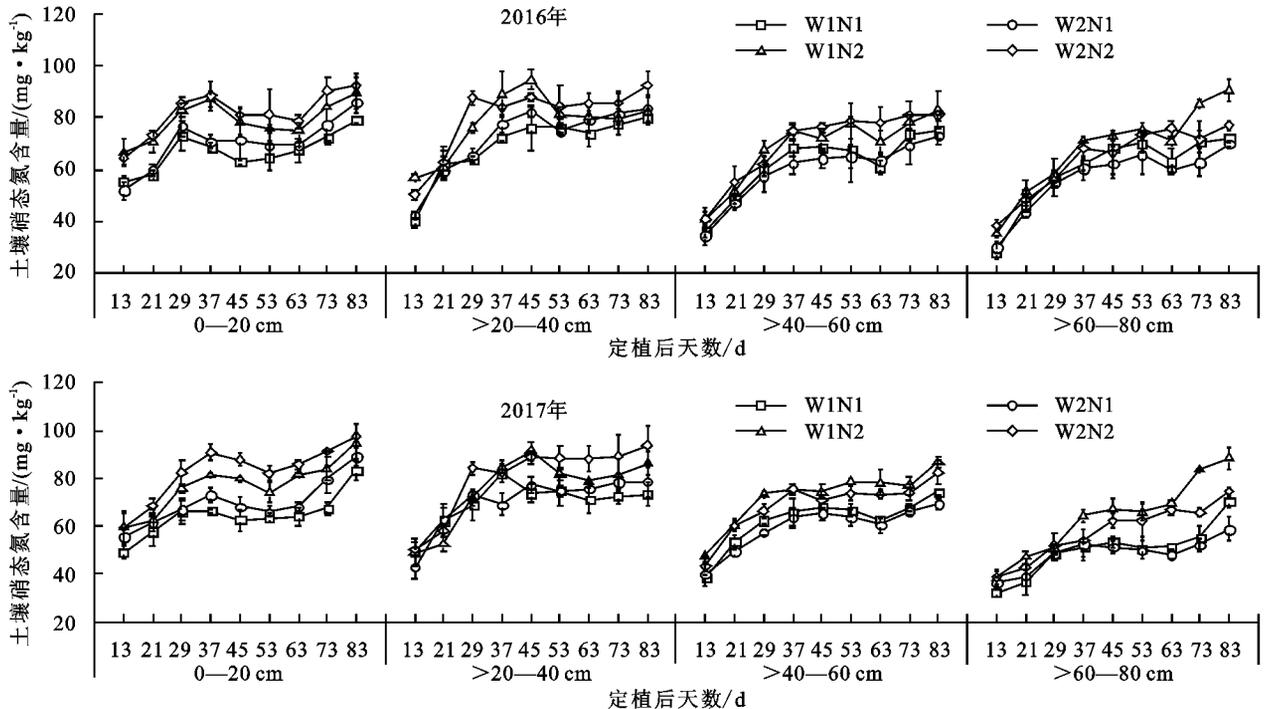


图 2 不同处理对 0—80 cm 土层土壤硝态氮含量的影响

2.3 不同处理对西葫芦产量的影响

由表 2 可以看出,不同处理对西葫芦产量的影响不同。两年试验各处理产量均为:W2N1>W2N2>W1N2>W1N1,同一施氮条件下,在 N1 水平,W2 处理的产量较 W1 处理的产量分别高 13.90%(2016

年)和 7.66%(2017 年),差异显著,说明西葫芦产量对于滴灌频率较为敏感,适当增加滴灌频率,可以提高西葫芦的产量。而对于 N2 水平,W2 处理的产量较 W1 处理的产量仅高 7.09%(2016 年)和 3.96%(2017 年),差异不显著,说明高氮处理下西葫芦产量

对滴灌频率增加的敏感程度较低。同一滴灌频率条件下, N1 水平与 N2 水平间产量差异不显著, 说明过量施氮并不能显著提高产量, 甚至导致减产。综上所述, W2N1 处理其水肥耦合和协同效果最好, 在提高了产量的同时, 降低了氮素的投入。

2.4 不同处理对西葫芦耗水量及水分利用效率的影响

作物生育期内水分利用效率和耗水量是衡量水分利用的重要指标^[14]。由表 2 可知, 各处理对西葫芦的耗水量、水分利用效率的影响存在差异。西葫芦两年耗水量均为 W1N2>W1N1>W2N2>W2N1, W1N2 两年的耗水量最大, 分别为 221.72 mm(2016 年), 238.52 mm(2017 年)。在 N1 水平下, W1 处理与 W2 处理间差异显著。这是由于滴灌频率高时, 单次滴灌量少, 灌溉水集中在根层土壤的总时间较长, 且深层下渗少、因此耗水量小。灌溉频率低时, 单次滴灌量大, 表层土壤湿润范围大, 水分散失面积较高频滴灌处理大, 同时土壤湿润深度大, 水分向深层下渗多, 以致耗水量较大。

两年西葫芦的水分利用效率为: W2N1>W2N2>W1N2>W1N1, W2N1 两年都表现为水分利用效率最高, 分别为 262.41 kg/(mm·hm²)(2016 年), 257.00 kg/(mm·hm²)(2017 年)。同一施氮水平下, W2 处理的水分利用效率高于 W1 处理, 且差异显著。这是由于高频滴灌使根层的土壤水分充盈, 水分下渗较少, 利于西葫芦对根系周围水分的吸收, 进而提高了西葫芦的水分利用效率。同一滴灌频率处理下, N1 水平与 N2 水平的水分利用效率间无显著差异。上述结果表明, 定额滴灌量一定, 滴灌频率对西葫芦水分利用效率的影响大于施氮量对西葫芦水分利用效率的影响。

表 2 不同处理对西葫芦产量、耗水量及水分利用效率的影响

种植季	处理	灌溉量/ mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	耗水量/ mm	水分利用效率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
2016	W1N1	269.87	48014.27b	218.75a	219.49b
	W2N1	269.87	54689.63a	208.41b	262.41a
	W1N2	269.87	48958.32b	221.72a	220.81b
	W2N2	269.87	52427.50ab	210.07b	249.57a
2017	W1N1	269.87	54103.33b	235.68a	229.65b
	W2N1	269.87	58249.59a	226.67b	257.00a
	W1N2	269.87	55588.76ab	238.52a	233.15b
	W2N2	269.87	57787.99a	230.92ab	250.27a

注: 数字后不同小写字母表示处理在 5% 水平上差异显著。

3 讨论

在滴灌定额一定下, 滴灌频率和施肥量影响土壤水分的分布和运移。隋娟等^[15]通过研究滴灌条件下水肥耦合对氮素运移、土壤水分分布规律的影响认为, 同一滴灌制度下, 施氮量的增加可促进作物对水分的吸收, 滴灌定额较小时, 土壤含水率的变化受施

氮量的变化影响尤为明显。本试验结果表明, 定额滴灌量一定, 在同一施氮水平下, 灌溉频率对土壤含水率变化影响也很显著。在 N1、N2 水平下, 0—60 cm 土层 W2 处理的土壤含水率显著高于 W1 处理的土壤含水率, 60—80 cm 土层各处理间差异性不大, 在西葫芦的生育后期, W1 处理明显发生了水分下渗现象。高频滴灌使土壤的湿润土层变浅, 而且上部土层含水量在一定范围内增高, 使水分主要贮存于西葫芦的根部 0—40 cm, 易被作物吸收, 这与曹红霞等^[16]的研究结果一致。

研究^[17-20]表明, 高氮肥的施入, 土壤剖面中硝态氮含量不断累积, 土壤下层氮素淋失加剧, 减量施氮能够显著降低温室土壤氮素淋失量, 这与本试验结果相一致。在同一滴灌频率下, 西葫芦全生育期, N1 水平的土壤硝态氮含量显著低于 N2 水平下的硝态氮含量。研究发现各处理的土壤硝态氮含量多集中在 0—40 cm 土层中, 这与王秀康等^[21]和李静等^[22]研究结果相同。姜慧敏等^[23]研究发现, 番茄拉秧期 0—40 cm 土层的硝态氮含量越高, 则被下一季作物再利用的可能性越大, 但也有学者认为, 土壤中残留较高的硝态氮, 随着对下一季作物施肥灌溉处理, 硝态氮极易淋溶到土壤下层, 甚至对地下水的水质造成严重污染^[24]。本试验研究发现, N2 水平上层土壤(0—40 cm)的硝态氮含量相对较高, 下层土壤(40—80 cm)硝态氮含量也会随之增加, 在末瓜期, W1N2 处理尤为显著, 60—80 cm 土层硝态氮含量急剧增高, 更易造成氮素向深层土壤淋失的风险。适量的氮肥施入再结合高频次的滴灌处理(W2N1 处理), 根区硝态氮含量维持在相对适宜水平, 0—40 cm 土层平均硝态氮含量为 48.23~84.29 mg/kg, 与黄绍文等^[25]推荐适宜温室蔬菜生长的土壤硝态氮含量基本相符合, 在末瓜期, 60—80 cm 土层硝态氮含量较其他处理, 其含量最低, 土壤氮素向下淋洗损失的风险也就越低。说明科学合理的滴灌频率和施氮量能够有效减缓氮素向深层土壤的淋失。

施用氮肥具有增产作用, 但过量施用氮肥不能达到最高的产量^[23], 本试验中, W2N1 的产量最高。在适宜的施氮处理下, 灌水频率的提高可以促进西葫芦的营养生长和生殖生长的发育, 为后期高产的形成奠定基础。Diego 等^[26]通过研究研究了灌溉管理技术对温室甜瓜及温室气体和氮氧化物排放的影响, 得到在相同滴灌量, 施氮肥处理后, 高频灌溉较低频灌溉, 果实产量增加近 63%; 在大田试验中, 倪永静等^[27]和赵雪飞等^[28]通过研究不同灌水次数和施氮量对小麦产量与品质的影响, 得出适宜的灌水频次和施氮量能够使小麦达到较为理想的产量。适宜灌水频次和合

理氮肥相结合可使水肥耦合和协同效果达最好,这样更有利于“节水节肥”的生产需求。Sharma 等^[29]和刘芬等^[30]认为,施肥可以有效提高水分利用效率。孔德杰等^[31]通过研究宁夏干旱风沙区日光温室滴灌辣椒后认为,随着滴灌频率的增加,土壤水分贮量逐渐增多,耗水量逐渐减少,水分利用效率明显提高。本试验结果表明,高频滴灌处理的水分利用效率显著高于低频处理的水分利用效率,滴灌频率的提高对西葫芦水分利用效率的影响大于施氮量对西葫芦水分利用效率的影响。

4 结论

(1)定额灌溉量下同一施氮水平,提高灌溉频率可以保持 0—40 cm 土层较好的土壤含水率,减少了深层下渗,降低了西葫芦的耗水量,促进西葫芦根系对水分的吸收,从而提高水分利用效率,增加西葫芦产量。

(2)在本试验条件下,高氮处理各土层硝态氮含量较高,增大了氮素淋失的风险。适氮处理配合高频次滴灌能使根区硝态氮含量维持在相对适宜水平,降低氮素向深层淋失的风险。

(3)在适氮(N1)水平下,西葫芦产量对于滴灌频率敏感,而对于高氮(N2)水平,提高滴灌频率,产量增加不显著。

(4)定额滴灌量下,滴灌频率对西葫芦水分利用效率的影响大于施氮肥对西葫芦水分利用效率的影响。

(5)W2N1 处理更有利于北方寒旱地区日光温室西葫芦的生长,温室西葫芦栽培推荐施氮量为 375 kg/hm²,灌溉频率两天 1 次。

参考文献:

- [1] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2):126-128.
- [2] 周晶,姜昕,马鸣超,等. 长期施氮对土壤肥力及土壤微生物的影响[J]. 中国土壤与肥料,2016(6):8-13.
- [3] Neeteson J J, Booi R, Whitmore A P. A review on sustainable nitrogen management in intensive vegetable production systems [J]. Acta Horticulturae,1999,506:17-26.
- [4] 李涛,于蕾,吴越,等. 山东省设施菜地土壤次生盐渍化特征及影响因素[J]. 土壤学报,2018,55(1):1-13.
- [5] 郭文忠,刘声峰,李丁仁,等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤,2004,36(1):25-29.
- [6] 杨慧,谷丰,杜太生. 不同年限日光温室土壤硝态氮和盐分累积特性研究[J]. 中国农学通报,2014,30(2):240-247.
- [7] 赵俊晔,于振文,李延奇,等. 施氮量对土壤无机氮分布和微生物氮含量及小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):466-472.
- [8] Richter J, Roelcke M. The N-cycle as determined by in-

tensive agriculture-examples from central Europe and China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2000,57(1):33-46.

- [9] 王立河,赵喜茹,王喜枝,等. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响[J]. 土壤通报,2007,38(3):472-476.
- [10] 薛亮,马忠明,杜少平. 水氮耦合对绿洲灌区土壤硝态氮运移及甜瓜氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):139-147.
- [11] Home P G, Panda R K, Kar S. Effect of method and scheduling of irrigation of water and nitrogen use efficiencies of Okra[J]. Agricultural Water Management, 2002,55(2):159-170.
- [12] 杨治平,陈明昌,张强,等. 不同施氮措施对保护地黄瓜养分利用效率及土壤氮素淋失影响[J]. 水土保持学报,2007,21(2):57-60.
- [13] Assouline S. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake [J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(5): 1630-1636.
- [14] 刘影,张玉龙,张凯,等. 灌溉方法对温室栽培番茄产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015, 33(2):141-145.
- [15] 隋娟,王建东,龚时宏,等. 滴灌条件下水肥耦合对农田水氮分布及运移规律的影响[J]. 灌溉排水学报,2014, 33(1):1-6.
- [16] 曹红霞,康绍忠,何华. 蒸发和灌水频率对土壤水分分布影响的研究[J]. 农业工程学报,2003,16(9):1-4.
- [17] 毕晓庆,山楠,杜连凤,等. 氮肥用量对设施滴灌栽培番茄产量品质及土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报,2013,32(11):2246-2250.
- [18] 殷冠羿,胡克林,李品芳,等. 不同水肥管理对京郊设施菜地氮素损失及氮素利用效率的影响[J]. 农业环境科学学报,2013,32(12):2403-2412.
- [19] 王丽英,武雪萍,张彦才,等. 适宜施氮量保证滴灌日光温室黄瓜番茄产量降低土壤盐分及氮残留[J]. 农业工程学报,2015,31(17):91-98.
- [20] 李若楠,武雪萍,张彦才,等. 滴灌氮肥用量对设施菜地硝态氮含量及环境质量的影響[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1642-1651.
- [21] 王秀康,邢英英,李占斌. 覆膜和施氮肥对玉米产量和根层土壤硝态氮分布和去向的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(20):3944-3957.
- [22] 李静,张富仓,江明杰,等. 水氮供应对温室黄瓜氮素吸收及土壤硝态氮分布的影响[J]. 灌溉排水学报,2017, 36(3):52-58.
- [23] 姜慧敏,张建峰,杨俊诚,等. 不同氮肥用量对设施番茄产量、品质和土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(12):2338-2345.

(3)各林分枯落物持水量与浸水时间呈明显对数关系: $Q = a \ln t + b, R^2 > 0.95$;枯落物吸水速率与浸水时间呈明显幂函数关系: $V = kt^n, R^2 > 0.99$ 。在开始浸泡的2 h内,枯落物持水量迅速上升,吸水速率最大,之后随浸泡时间延长,持水量增加速度减慢,10 h以后变化趋于平缓,24 h时达到饱和。枯落物层可以在短时间内快速持水有助于森林水文调节功能的发挥。

综上所述,适宜的林分密度对于提高刺槐林枯落物层水文生态功能具有重要作用,林分过密或者过疏都会影响其功能的发挥。造林密度为1 200~1 800株/hm²的中密度林分,枯落物持水性能及拦蓄能力表现较好,水文生态功能较强,建议今后刺槐林营建中向此范围调控。对于密度过高或过低的林分,应及时进行间伐或补植,注重枯落物保护,以提高现有林分的稳定性与水土保持功能。

参考文献:

- [1] 孙浩,杨民益,余杨春,等.宁夏六盘山几种典型水源涵养林林分结构与水文功能的关系[J].中国水土保持科学,2014,12(1):10-18.
- [2] 赵磊.江西大岗山不同密度杉木林水源涵养功能研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [3] 石媛,鲁绍伟.河北雾灵山不同密度油松人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2014,28(3):92-97.
- [4] 贺志龙,张芸香,郭跃东.不同密度华北落叶松林天然林土壤养分特征研究[J].生态环境学报,2017,26(1):43-48.
- [5] 邹扬,贺康宁,赵畅.高寒区青海云杉人工林密度与林下植物多样性的关系[J].西北植物学报,2013,33(12):2543-2549.
- [6] 王谦,孙保平.陕西榆林樟子松人工林土壤及枯落物水

文效应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(8):123-132.

- [7] Wang C, Zhao C Y, Xu Z L, et al. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment [J]. Journal of Arid Land, 2013, 5(2): 207-219.
- [8] 李民义,张建军,郭宝妮.晋西黄土区不同密度油松人工林林下植物多样性及水文效应[J].生态学杂志,2013,32(5):1083-1090.
- [9] 鲁绍伟,陈波.北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2013,27(1):224-229.
- [10] 吴迪,辛学兵,裴顺祥,等.北京九龙山8种林分的枯落物及土壤水源涵养功能[J].中国水土保持科学,2014,12(3):78.
- [11] 刘芝芹,黄新会,涂璟.云南高原不同林分类型枯落物储量及持水特性[J].生态环境学报,2015,24(6):919-924.
- [12] 赵阳,余新晓,吴海龙,等.华北土石山区典型森林枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(6):148-152.
- [13] 吴强,楚聪颖,张鹏,等.滦河上游7种典型林分类型水土保持功能[J].水土保持学报,2015,29(5):40-44.
- [14] 张栓堂,石丽丽.冀北山地人工油松林水文效应研究[J].南水北调与水利科技,2016,14(4):117-122.
- [15] 陈莉莉,王得祥.不同密度油松人工林土壤特性及水源涵养功能研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(7):141-149.
- [16] 胡晓聪,黄乾亮.西双版纳热带山地雨林枯落物及其土壤水文功能[J].应用生态学报,2017,28(1):55-63.
- [17] 刘宇,郭建斌,王彦辉.宁夏六盘山不同密度华北落叶松人工林枯落物水文效应[J].北京林业大学学报,2016,38(8):36-44.
- [18] 白英辰,朱江.密度调控对华北落叶松人工林枯落物水文特征的影响[J].水土保持学报,2016,30(6):128-133.
- [28] 赵雪飞,王丽金,李瑞奇.不同灌水次数和施氮量对冬小麦群体动态和产量的影响[J].麦类作物学报,2009,29(6):1004-1009.
- [29] Sharma S P, Leskovar D I, Crosby K M, et al. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2014, 136(2): 75-85.
- [30] 刘芬,王小英,赵业婷,等.渭北旱塬土壤养分时空变异与养分平衡研究[J].农业机械学报,2015,46(2):110-119.
- [31] 孔德杰,张源沛,郑国保,等.不同灌水次数对日光温室辣椒土壤水分动态变化规律的影响[J].节水灌溉,2011(6):14-19.

(上接第114页)

- [24] 张学科.日光温室不同水肥措施下水氮迁移特性[J].西北农业学报,2016,25(12):1884-1889.
- [25] 黄绍文,王玉军,金继运,等.我国主要菜区土壤盐分、酸碱性和肥力状况[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):906-918.
- [26] Diego A, Laura S M, Lourdes G T. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops[J]. Science of the Total Environment, 2014, 490: 880-888.
- [27] 倪永静,贺群岭,李金沛,等.不同灌水次数与氮肥运筹对‘豫教5号’叶面积指数及产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(3):35-42.