

不同施肥条件和滴灌方式对青椒生长的影响

孔清华^{1,2}, 李光永^{1*}, 王永红³, 温义刚³

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 北京水利水电学校水工部, 北京 100024;
3. 大同市御河水利管理处, 大同 037000)

摘要: 该文通过大田试验, 比较了地下滴灌与地表滴灌及其不同施肥量对青椒生长的响应。试验设置地下滴灌和地表滴灌 2 个灌水处理和 0、75、150、300 kg/hm² 4 个施肥水平, 灌水周期为 4 d。另外设 1 个畦灌对照处理。结果表明, 2 a 中地下滴灌产量均高于地表滴灌, 2007 年平均高 4%, 2008 年平均高 13%。而地下滴灌耗水量低于地表滴灌, 2007 年平均低 6.7%, 2008 年平均低 7.3%。地下滴灌和地表滴灌 0~40 cm 土层的根系总根长分别是畦灌的 2.44 和 1.46 倍, 且地下滴灌 10 cm 以下各层的根长占总根长的百分比, 比地表滴灌高 7%, 这说明地下滴灌不仅促进作物根系的生长, 而且使根系更多的扎入较深土层。地下滴灌 150 kg/hm² 施氮量为青椒的最优灌溉施肥策略。

关键词: 水分, 灌溉, 肥料, 水肥耦合, 青椒, 地下滴灌, 地表滴灌

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.07.004

中图分类号: S275.6, S273.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-07-0021-05

孔清华, 李光永, 王永红, 等. 不同施肥条件和滴灌方式对青椒生长的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 21-25.
Kong Qinghua, Li Guangyong, Wang Yonghong, et al. Influences of subsurface drip irrigation and surface drip irrigation on bell pepper growth under different fertilization conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(7): 21-25. (in Chinese with English abstract)

0 引言

地下滴灌是由地表滴灌发展而来的一种新型的灌溉方式。由于滴灌带埋在地下, 因此养分和肥料可通过地下滴灌直接作用在作物根区^[1], 具有蒸发小、使用寿命长、节省劳力等优点^[2]。

与地表滴灌相比, 地下滴灌湿润体位置和大小以及水分状态均有很大的区别^[3], 进而可能影响到作物地下部根系的生长^[4]、分布和功能以及地上部的产量。多位学者发现洋葱、甜玉米、番茄、哈密瓜等作物地下滴灌的产量明显高于地表滴灌^[5-8], 地下滴灌作物根系分布范围更大^[9-10], 并影响到氮的淋洗和水肥利用效率^[9,11-14]。

本文旨在通过田间试验, 分析探讨水肥耦合条件下青椒地下滴灌和地表滴灌对水、肥利用效率和产量的影响机理, 进而为滴灌条件下水肥合理调控提供科学依据。

1 材料与方 法

试验在山西大同御河灌溉试验站进行, 该站位于东经 113°20', 北纬 40°06', 海拔高度 1 052 m。多年平均降水量 379.3 mm, 降水主要集中在 7、8、9 3 个月, 分别占年降雨量的 26.1%、22.7%、13.5%。年平均气温 6.8℃, 极端最高气温 37.9℃, 最低气温 -29.1℃, 无霜期 110~

130 d。地下水埋深 19 m, 耕作层土质为多砾质粉壤土, 体积质量 1.40 g/cm³, 田间持水率 22.5% (质量含水率)。试验灌溉水源为井水。

共设置 8 个试验处理, 其中灌水处理包括地下滴灌、地表滴灌; 施肥处理包括施氮 0、75、150 和 300 kg/hm², 各处理的施肥期和施肥量如表 1 所示, 并设有 1 个畦灌且施氮肥量为 300 kg/hm² 的对照。采用尿素为供试氮肥, 含氮量为 46%。每个处理 3 个重复。所有处理共计 27 个小区, 小区尺寸为 3 m×7 m, 各处理随机排列, 各处理小区之间用保护区隔开。滴灌灌水周期为 4 d。利用 FAO56 推荐的 Penman-Monteith 公式和作物系数 Kc 估计青椒的需水量, 需水量减去有效降雨量确定每次灌水量。畦灌灌水下限为 65%~70%田间持水率, 计划湿润层深度为 40 cm, 利用 Trime 水分测试 0~20、>20~40 cm 水分, 取 0~40 cm 平均土壤水分控制下限。

表 1 试验处理设置

Table 1 Treatments of the experiment

处理	地下滴灌				地表滴灌				畦灌
	N ₀	N ₇₅	N ₁₅₀	N ₃₀₀	N ₀	N ₇₅	N ₁₅₀	N ₃₀₀	
开花 施氮期及 坐果期	0	30	60	120	0	30	60	120	120
盛果期	0	30	60	120	0	30	60	120	120
尾果期	0	15	30	60	0	15	30	60	60

注: N₀、N₇₅、N₁₅₀、N₃₀₀ 分别表示生育期内氮肥 0、75、150、300 kg/hm² 4 个施肥水平。

平整土地之前, 在所有小区均匀撒施有机肥 (鸡粪) 11.1 m³/hm² 作底肥, 含纯氮、磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 约为 1.63%、1.54%、0.085%。

青椒品种为同丰 16 号, 种植方向为东西向, 行距

收稿日期: 2009-11-04 修订日期: 2009-11-27

基金项目: 地下滴灌技术与配套产品开发 (国家 863 计划 2006AA100213)

作者简介: 孔清华 (1984—), 女, 山东滕州人, 博士, 主要从事灌溉排水理论与新技术的研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: mandy321321@gmail.com

*通信作者: 李光永 (1963—), 男, 山西平遥人, 博士, 教授, 主要从事灌溉排水理论与新技术的研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: lgy1@cau.edu.cn

50 cm, 株距 40 cm, 种植密度为 50 000 株/hm²。每条滴灌带控制两行作物, 滴灌带间距 100 cm, 如图 1 所示。地表滴灌和地下滴灌滴灌带均选用耐特菲姆超级台风 125, 滴头流量为 1.1 L/h, 滴头间距 40 cm。地下滴灌带埋深 20 cm。

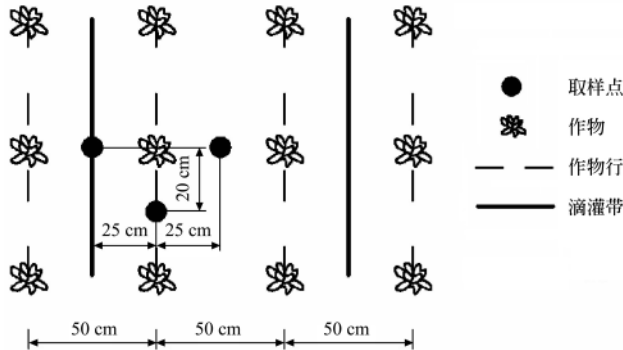


图 1 滴灌带布置、土壤水分测定位置

Fig.1 Layout of trime PVC tubes and irrigation laterals

灌水前和灌水后各测定 1 次土壤水分, 降雨后加测。采用 Trime 水分测量仪测定, 各处理土壤水分测定位置如图 1 所示, 测定层次为 0~20, >20~40, >40~60, >60~80, >80~100 cm。每个处理埋设 1 个简易蒸渗仪, 构造示意如图 2 所示。将各处理的土壤水分进行加权平均, 并利用水量平衡原理计算作物耗水量。

追肥前后及生育期结束后在各处理选取 1 个重复取土样, 取土位置与 Trime 管安装与青椒相对位置一致, 取土层次为 0~20, >20~40, >40~60, >60~80, >80~100 cm, 浸提后利用流动分析仪分析土壤各层中 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 含量。

收获后, 采用挖掘法分层取样分析作物根系, 每个处理均选取 1 个重复进行。2007 年根系取样分层为 0~10、>10~20、>20~30 cm, 2008 年分层为 0~10、>10~20、>20~30、>30~40 cm。采用 EPSON perfection V700 进行根系扫描, 并利用 WinRHIZO 进行分析, 得到相应土层的根长、根表面积、根体积等各项特征参数值。

2007 年共灌水 14 次, 畦灌总灌水量为 282 mm, 滴

灌各处理总灌水量为 257 mm; 2008 年共灌水 10 次, 畦灌总灌水量为 165 mm, 滴灌各处理总灌水量为 164 mm。

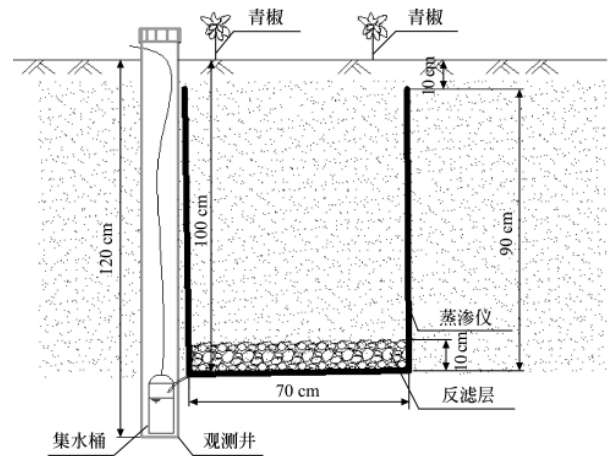


图 2 简易蒸渗仪示意图

Fig.2 Schematic of simple lysimeter

2 结果与分析

2.1 根系分布

根系是作物的重要组成部分, 是最活跃的养分和水分吸收器官。灌溉、施肥等直接作用在土壤中的农业措施都是首先影响到根系的生长、分布和功能, 进而影响到产量的高低。而根系的生长发育也会影响土壤中水分、养分、盐分等的分布与浓度等。

地下滴灌和地表滴灌的根系分布表现出明显区别, 在不同的施肥量条件下 (表 2), 其规律一致。以 N₁₅₀ 处理为例, 畦灌 (BI)、地表滴灌 (DI)、地下滴灌 (SDI) 所有处理根系主要集中在 0~40 cm 深度, 3 种灌水技术在 >30~40 cm 处青椒根长占总根长的百分比分别仅为 3.11%、1.25%、2.81%; 滴灌, 特别是地下滴灌, 可显著促进根系的生长, 青椒地表滴灌与地下滴灌总根长分别是畦灌的 1.67 和 2.44 倍, 地下滴灌的总根长是地表滴灌的 1.46 倍; 地下滴灌 10 cm 以下各层的根长占总根长的百分比, 比地表滴灌高 7%。以上数据表明, 地下滴灌不仅可促进作物根系的生长, 而且使根系更多的扎入较深土层。

表 2 不同深度根长及其占总根长百分比 (2008)
Table 2 Percent of root length at different depths in 2008

土层深度/ cm	BI		DI N ₀		SDI N ₀		DI N ₇₅		SDI N ₇₅		DI N ₁₅₀		SDI N ₁₅₀		DI N ₃₀₀		SDI N ₃₀₀	
	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%	根长/ cm	百分 比/%
0~10	4 801	45.85	7 431	53.47	6 038	45.97	8 263	45.81	6 923	36.00	11 582	66.26	15 235	59.45	8 555	59.51	7 199	46.78
>10~20	3 731	35.64	3 772	27.14	4 976	37.88	6 917	38.34	8 017	41.69	4 588	26.25	7 353	28.69	4 076	28.35	6 419	41.71
>20~30	1 612	15.40	719	5.18	1 370	10.43	1 922	10.65	3 035	15.78	1 089	6.23	2 319	9.05	919	6.39	951	6.18
>30~40	326	3.11	431	3.10	750	5.71	937	5.19	1 255	6.53	219	1.25	719	2.81	827	5.75	820	5.33
0~40 总根长	10 470		12 354		13 135		18 038		19 231		17 479		25 625		14 377		15 390	

注: SDI、DI、BI 分别表示地下滴灌、地表滴灌与畦灌; N₀、N₇₅、N₁₅₀、N₃₀₀ 分别表示生育期内 0、75、150、300 kg/hm² 4 个施肥水平。下同。

不同施氮量对青椒根长密度 (RLD) 分布影响如图 3 所示, 地下滴灌与地表滴灌显示出相同规律。0~10 cm

处, 随着施氮量的增加, 各处理根长密度逐渐升高。但 >10~20 cm 处施氮量为 300 kg/hm² 的处理根长密度陡然

下降，甚至降到比不施肥处理更低的水平，这说明适量的施肥促进青椒根系生长与深扎，而当施氮量在土壤中浓度超过一定值时，则会抑制根系的生长，特别是抑制根系向更深的土层生长。

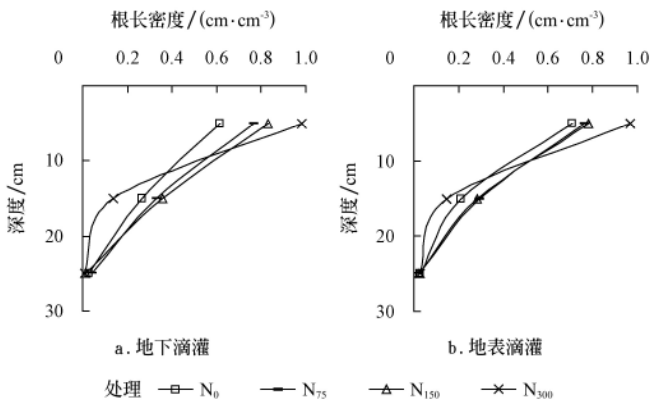


图 3 2007 年不同施氮量根长密度垂向分布

Fig.3 Root length density distribution during growing season in 2007

2.2 土壤中硝态氮分布

图 4 为 2007 年 N_{150} 处理第 2 次追肥前 1 d (8 月 14 日)，第 2 次追肥后 2 d (8 月 18 日)，及第 2 次追肥后第 22 天 (9 月 7 日) 畦灌和滴灌各施肥处理土壤中 NO_3^- -N 分布变化的比较。

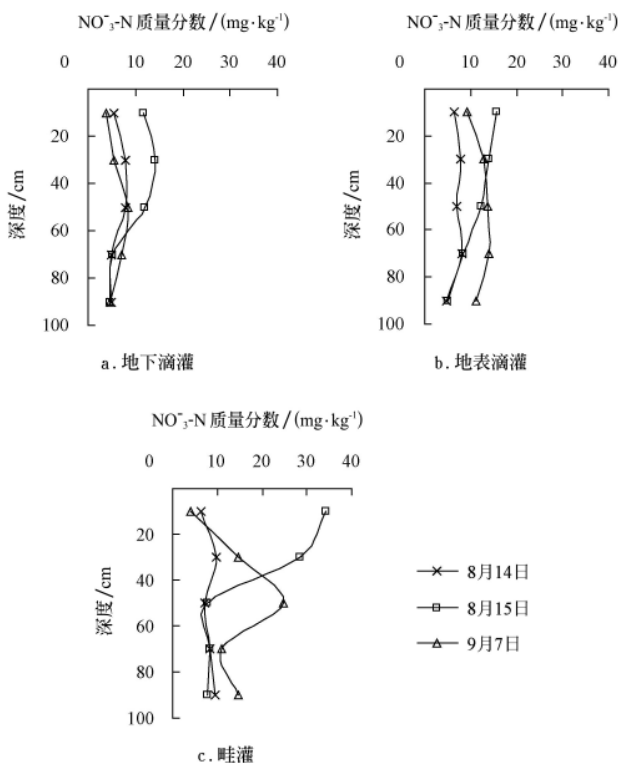


图 4 2007 年土壤剖面 NO_3^- -N 质量分数分布变化

Fig.4 Vertical distribution of NO_3^- -N centration in soil profiles in 2007

追肥前，地下滴灌与地表滴灌土壤剖面 NO_3^- -N 分布情况相似。追肥后第 2 天，地下滴灌 NO_3^- -N 质量分数最高点出现在 20~40 cm 为 14.2 mg/kg，剖面 NO_3^- -N 质量分数以 >20~40 cm 为顶点呈抛物线分布，而地表滴灌

NO_3^- -N 质量分数最高点则出现在地表的 0~20 cm 为 15.7 mg/kg。追肥后第 22 天，地下滴灌在整个剖面 NO_3^- -N 质量分数低于地表滴灌，这可能是由于地下滴灌根系发育较地表滴灌更发达，增加了作物对氮的吸收利用。另外，由于青椒根系较浅，大部分集中在 0~40 cm，在 >40~60 cm 深度，地下滴灌 NO_3^- -N 质量分数为 8.4 mg/kg，而地表滴灌 NO_3^- -N 质量分数为 13.8 mg/kg (>60~80 cm 处)，说明了地下滴灌硝态氮的淋失量远低于地表滴灌。畦灌的施氮肥量为 300 kg/hm²，从图中可以看出，施肥后 2 d，地面 0~20 cm 的 NO_3^- -N 质量分数迅速增加至 34.17 mg/kg，>20~40 cm 处的 NO_3^- -N 质量分数也明显升高。追肥后第 22 天，根系活动层 NO_3^- -N 质量分数降低到追肥前的水平，而 >40~60 cm 深度 NO_3^- -N 残留量最高达 24.83 mg/kg。

N_{75} 、 N_{300} 处理与 N_{150} 处理 NO_3^- -N 剖面分布变化趋势基本一致 (图 5)，因施肥量不同，相应土层中的硝态氮含量随氮肥用量的增加而明显提高。特别是在施肥后第 22 天， N_{300} 处理在 40 cm 以下深度 NO_3^- -N 残留量较 N_{150} 处理显著升高。

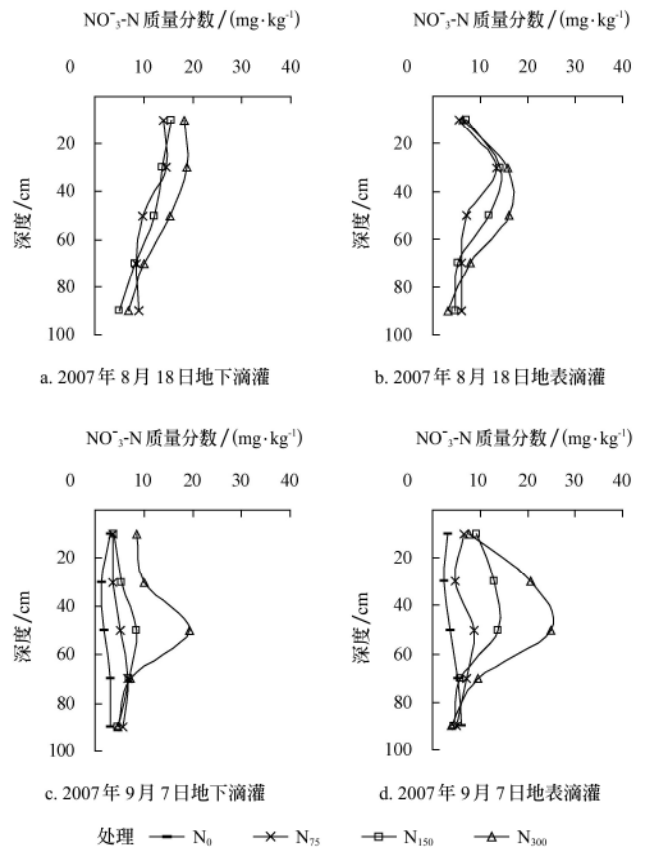


图 5 不同施肥量对 NO_3^- -N 质量分数分布的影响

Fig.5 Vertical distribution of NO_3^- -N as influenced by different nitrogen amounts

2.3 耗水量

2007、2008 年各处理生育期内总耗水量如表 3 所示。由于 2008 年各月平均气温均低于 2007 年，特别在 2008 年 5 月 30 日，出现了生育期内的极低温度 2.4℃，影响青椒幼苗生长，2 a 的耗水量差异也较大。

表 3 地下滴灌、地表滴灌与畦灌耗水量对比

Table 3 Cumulative water consumption under different irrigation and fertilization practices

年份	参考作物潜在蒸散量 ET_0/mm	灌水技术	实际耗水量 ET_c/mm			
			N_0	N_{75}	N_{150}	N_{300}
2007	508	DI	407	426	451	404
		SDI	301	405	438	432
		BI				451
2008	406	DI	362	387	382	382
		SDI	334	357	377	359
		BI				397

2007 年耗水量最低为 301 mm (SDI N_0)，最高为 451 mm (DI N_{150})，2008 年的最低为 334 mm (SDI N_0)，最高为 387 mm (DI N_{75})。

除 2007 年 N_{300} 处理外，其他所有地下滴灌处理耗水量均低于地表滴灌耗水量，2007 和 2008 年平均分别低 6.7% 和 7.3%。

不同灌水技术在各生育阶段日均耗水量如图 6 所示。作物苗期，地表滴灌的日均耗水量显著高于地下滴灌，在这一时期作物株体较小，腾发量以土面蒸发为主，地下滴灌保持地表干燥，减少土面蒸发，从而降低了作物耗水量。进入开花座果期，地下滴灌日均耗水量略高于地表滴灌，这是由于此时期根系生长的主要时期，地下滴灌根系生长快于地表滴灌。盛果期作物生长旺盛，耗水量达到整个生育期的峰值，地下滴灌日均耗水量低于地表滴灌与地面灌。尾果期地下滴灌耗水量略高于地表滴灌，这可能是由于地下滴灌延长了青椒生长时间，使青椒延后萎蔫的缘故。

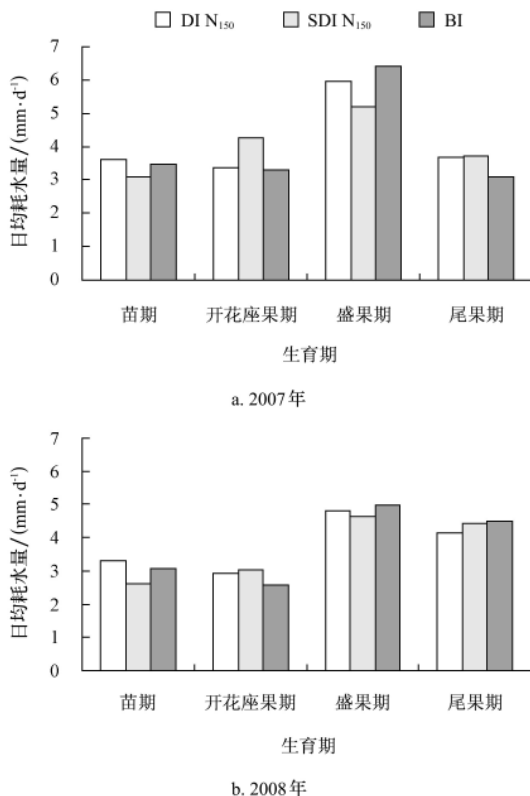


图 6 各生育阶段日均耗水量

Fig.6 Daily averaged water consumption at different growth stages

2.4 产量与水分利用效率

表 4 中列出了 2 a 中各处理的青椒产量及水分利用效率 (water use efficiency, WUE)。2008 年所有处理的产量普遍低于 2007 年，如前所述，这可能是由于 2008 年各月平均气温均低于 2007 年的温度造成的。

表 4 不同处理的青椒产量和水分利用效率

Table 4 Bell pepper yields and water use efficiency of different treatment

年份	处理	SDI		DI		BI	
		产量/ (t·hm ⁻²)	WUE/ (kg·m ⁻³)	产量/ (t·hm ⁻²)	WUE/ (kg·m ⁻³)	产量/ (t·hm ⁻²)	WUE/ (kg·m ⁻³)
2007	N_0	39.46 c	13.11*	36.07 b	8.87		
	N_{75}	43.43 b	10.71	42.70 a	10.01		
	N_{150}	46.54*a	10.64	44.72*a	9.92		
	N_{300}	46.29 a	10.72	43.29 a	10.71*	31.88	7.07
2008	N_0	29.72 c	8.90	28.11 b	7.76		
	N_{75}	35.89 b	10.06	30.44 ab	7.86		
	N_{150}	42.83*a	11.35*	34.50*a	9.02*		
	N_{300}	35.44 b	9.87	30.17 ab	7.90	23.00	6.27

注：*表示青椒年内最高产量和最高水分利用效率，同一列中不同字母表示不同灌水处理产量在达 0.05 水平显著差异，相同字母表示在 0.05 水平无显著差异。

从表 4 中数据得出，2 a 中，地下滴灌产量均高于地表滴灌，2007 年平均高 4%，2008 年平均高 13%。而地下滴灌与地表滴灌产量均高于畦灌，2007、2008 两年中地下滴灌产量比畦灌分别高 32.4%、51.1%，地表滴灌比畦灌高 27.1%、34.0%。地下滴灌青椒 N_{150} 处理产量为所有处理中最高，另外，地下滴灌水分利用效率亦明显高于地表滴灌，2007 年平均高 13%，2008 年平均高 21%。畦灌的水分利用效率显著低于滴灌各处理。

对地下滴灌、地表滴灌不同处理的青椒累计产量用显著性水平 $\alpha = 0.05$ 分别做方差分析，施氮量对产量有显著影响。在相同灌水技术条件下，产量随着施肥量增加而增加，当施氮量增加到 150~200 kg/hm² 范围内，产量达到最大值，此后施氮量继续增加，产量反而下降。

如图 7 所示，青椒产量与生育期总耗水量之间亦呈二次曲线关系，即在地下滴灌或地表滴灌条件下，青椒产量随耗水量增加而增大，耗水量达到 400~500 mm 之间产量达到峰值。

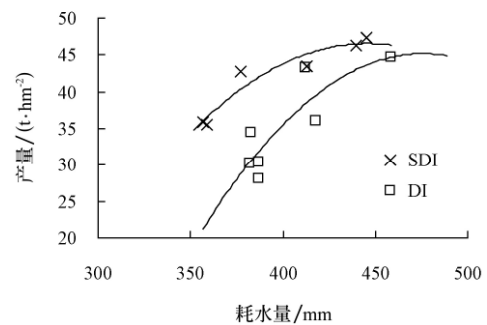


图 7 地下滴灌、地表滴灌产量与耗水量关系

Fig.7 Relationship between yield and crop evapotranspiration

3 结论与讨论

本文通过田间试验，在相同灌水量条件下，进行了

地下滴灌、地表滴灌和畦灌青椒在根系分布、氮素淋洗、耗水量、作物产量和水分利用效率等 5 个方面的对比研究。结果表明: 地下滴灌耗水量低于地表滴灌 6.7%~7.3%, 而产量高于地表滴灌 4%~13%, 水分利用效率高与地表滴灌 13%~21%。地下滴灌通过增加作物对氮的吸收利用和促进根系发育, 形成根系密集层, 减少了硝态氮的淋失。地下和地表滴灌 150 kg/hm² 施氮量为青椒的最优灌溉施肥策略。

[参 考 文 献]

- [1] 李久生, 杜珍华, 栗岩峰. 地下滴灌系统施肥灌溉均匀性的田间试验评估[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 83-87. Li Jiusheng, Du Zhenhua, Li Yanfeng. Field evaluation of fertigation uniformity for subsurface drip irrigation systems [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 83-87. (in Chinese with English abstract)
- [2] 黄兴法, 李光永. 地下滴灌技术的研究现状与发展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 176-181. Huang Xingfa, Li Guangyong. Present situation and development of subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 176-181. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘玉春, 李久生. 毛管埋深和层状质地对番茄滴灌水氮利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 7-12. Liu Yuchun, Li Jiusheng. Effects of lateral depth and layered-textural soils on water and nitrogen use efficiency of drip irrigated tomato[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 7-12. (in Chinese with English abstract)
- [4] 孔清华, 李光永, 王永红, 等. 地下滴灌施氮及灌水周期对青椒根系分布及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊2): 38-42. Kong Qinghua, Li Guangyong, Wang Yonghong, et al. Effects of nitrogen application and irrigation cycle on bell pepper root distribution and yield under subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(Suppl.2): 38-42. (in Chinese with English abstract)
- [5] Ayars J E, Phene C J, Hutmacher R B. Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory[J]. Agricultural Water Management, 1999, 42(1): 1-27.
- [6] Patel Neelam, Rajput T B S. Effect of subsurface drip irrigation on onion yield[J]. Irrig Sci, 2008, 27(2): 97-108.
- [7] Hanson B R, Schwankl L J, Schulbach K F. A comparison of furrow, surface drip, and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water[J]. Agricultural Water Management, 1997, 33(2/3): 139-157.
- [8] Hernandez J J Martinez, Yosef B Bar, Kaikafi U. Subsurface drip fertigation sweet corn rooting, uptake, dry matter production and yield[J]. Irrig Sci, 1991, 12(3): 153-159.
- [9] Zotarelli Lincoln, Scholberg Johannes M, Dukes Michael D. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(1): 23-34.
- [10] Machado Rui M A, Rosário Maria do, Oliveira G, et al. Tomato root distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation[J]. Plant and Soil, 2003, 255(1): 333-341.
- [11] Sorensen R B, Bader M J, Wilson E H. Cotton yield and grade response to nitrogen applied daily through a subsurface drip irrigation system[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2004, 20(1): 13-16.
- [12] Thompson Thomas L, Doerge Thomas A, Godin Ronald E. Godin. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower: II. Agronomic, economic, and environmental outcomes[J]. Soil Sci Soc Am J, 2000, 64(1): 412-418.
- [13] Thompson Thomas L, Doerge Thomas A, Godin Ronald E. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli: II. Agronomic, economic, and environmental outcomes[J]. Soil Sci Soc Am J, 2002, 66(1): 178-185.
- [14] Camp C R, Bauer P J, Hunt P G. Subsurface drip irrigation lateral spacing and management for cotton in the southeastern coastal plain[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4): 993-999.

Influences of subsurface drip irrigation and surface drip irrigation on bell pepper growth under different fertilization conditions

Kong Qinghua^{1,2}, Li Guangyong^{1*}, Wang Yonghong³, Wen Yigang³

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Water Resource and Hydropower Department, Beijing Water Conservancy School, Beijing 100024, China;

3. Management Office of Yuhe, Datong 037000, China)

Abstract: A 2-year field experiment was conducted in 2007, 2008 to study the response of bell pepper to subsurface drip irrigation (SDI) and surface drip irrigation (DI). Four nitrogen levels of 0, 75, 150, 300 kg/hm² (N₀, N₇₅, N₁₅₀, N₃₀₀) comprised the fertigation treatments. The irrigation interval was 4 days. The results showed that, bell pepper yields for treatment SDI were higher than that for DI by 4% in 2007, and 13% in 2008, respectively. The water consumption of SDI was lower than that of DI by 6.7% in 2007, and 7.3% in 2008, respectively. The root length density of SDI and DI was 1.46 and 2.44 times BI (border irrigation). The percent of root length under 10 cm of SDI were higher than that of DI by 7 percent, which means SDI not only promote the growth of crop root system, but also promote deep insertion of the root system. Treatment SDI N₁₅₀ was recommended as the optimal strategy for improving bell pepper yield and WUE, reducing NO₃⁻-N leaching.

Key words: water, irrigation, fertilizers, water and nitrogen coupling, bell pepper, subsurface drip irrigation, surface drip irrigation