

# 再生水滴灌对黄瓜生长及产量的影响研究

裴亮<sup>1</sup>, 张体彬<sup>1,2</sup>, 梁晶<sup>3</sup>, 孙丽英<sup>1</sup>, 刘慧明<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 水利部 综合事业局

新华公司, 北京 100053; 4. 环境保护部 卫星环境应用中心, 北京 100094)

**摘要:** 再生水的灌溉利用是国内外有效缓解农业用水紧张的重要举措之一。采用大田试验方法, 以地下水滴灌为对照, 分析研究了不同比例再生水滴灌对黄瓜生长及产量的影响。结果表明, 和正常施肥的对照处理相比, 在不施肥的情况下, 全部采用再生水滴灌处理对黄瓜的生长发育和产量形成均表现出一定的促进作用, 而其他也不进行施肥的较小比例的再生水滴灌处理中, 黄瓜生长指标和产量表现出和对照相当或者略低的水平。因此, 只要配以适当的农艺措施和灌溉制度, 可以采取全部再生水滴灌, 或者采用一定比例再生水灌溉和适当施肥相结合的方式, 进行黄瓜的种植。

**关键词:** 再生水滴灌; 黄瓜生长; 产量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0105-04

中图分类号: X703.1, S607.1

## Growth and Yield of Cucumber as Influenced by Reclaimed Water Drip Irrigation

PEI Liang<sup>1</sup>, ZHANG Ti-bin<sup>1,2</sup>, LIANG Jing<sup>3</sup>, SUN Li-ying<sup>1</sup>, LIU Hui-ming<sup>4</sup>

(1. *Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,*

3. *Xinhua Corporation, Bureau of Comprehensive Development, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China;* 4. *Environment Satellite Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China)*

**Abstract:** Reclaimed water drip irrigation is one of the effective measures to effectively alleviate the scarcity of agricultural water resources. The influences of reclaimed water drip irrigation on the growth and yield of cucumber were studied by using field experimental method and taking drip irrigation with groundwater as contrast treatment. Results indicate that compared with the contrast treatment of drip irrigation with groundwater under normal fertilization, the growth and yield of cucumber were improved in the treatment of drip irrigation with 100% reclaimed water under no fertilization. Given no fertilization either, the growths and yields of cucumber in the other treatments of drip irrigation with a certain proportion of reclaimed water were equal to or slightly lower than the contrast treatment. Therefore, in the condition of appropriate agronomic measures and irrigation schedule, drip irrigation with 100% reclaimed water, or a certain proportion of reclaimed water companied with appropriate fertilization, could be used for the cucumber cultivation.

**Keywords:** reclaimed water drip irrigation; cucumber growth; yield

再生水是指对污水处理厂出水、工业排水、生活污水等非传统水源进行回收, 经适当处理后达到一定水质标准, 并在一定范围内重复利用的水资源。再生

水的利用是缓解水资源紧张的重要举措之一, 也是污水资源化并利用, 减轻污水排放二次污染的环保发展趋势, 已在国内外城市用水、景观环境用水中得到广

收稿日期: 2012-09-03

修回日期: 2012-12-05

资助项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“农村生活污水再生利用滴灌养分运移特征及对作物生长的影响”(51109197); 中国科学院西部行动计划项目“我国北方盐碱地节水灌溉水盐调控机理及治理开发技术与示范”(KZCX2-XB2-13); 国务院南水北调办公室政策及技术研究中心委托项目“南水北调中线水源区化肥面源污染防治技术与示范”; 中国科学院知识创新工程项目“宁夏枸杞红枣滴灌高效种植技术集成与示范”(KSCX2-YW-N-080)

作者简介: 裴亮(1982—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 博士, 助理研究员, 主要从事农业水资源高效利用研究。E-mail: peiliang@igsrr.ac.cn.

通信作者: 张体彬(1983—), 男(汉族), 山东省菏泽市人, 博士研究生, 主要从事节水灌溉及农业水土资源高效利用研究。E-mail: zhangtibin@163.com.

泛的应用<sup>[1-3]</sup>。但对于再生水灌溉对果蔬等经济作物生长的影响,前人虽开展了一些研究,但多是在日光温室等控制条件<sup>[4-5]</sup>或模拟条件<sup>[6]</sup>下进行,关于再生水灌溉对在大田自然条件下生长的特定蔬菜作物的影响,还缺少系统的研究。

再生水灌溉一方面能避免利用污水直接灌溉所引起的严重的面源污染问题,并为植物生长提供重要的养分,促进植物生长发育和提高产量<sup>[7]</sup>;另一方面,再生水中过量养分、有毒化学物质和病原体同时输入环境生态系统,也会造成一定程度的环境污染<sup>[8]</sup>,有可能危害环境和人类健康。滴灌对灌水时间、灌水量和土壤湿润范围高度控制的特点,使其可以根据土壤物理性质、作物根系分布和作物耗水量来调节土壤水分和养分分布<sup>[9]</sup>,在保证作物达到优质高产的同时减少农业面源污染。利用滴灌技术进行农村生活污水再生利用可以提高再生水中的氮、磷等养分物质的利用效率,节肥、节水、增产的同时又减少了多余污染物输入环境生态系统,对我国水资源危机的缓解、农业面源污染防治和促进循环经济发展有重要意义<sup>[10]</sup>。本试验在其他条件相同的情况下,研究比较了不同比例的再生水与地下水滴灌对黄瓜生长及产量的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

研究区为中国科学院地理科学与资源研究所和国务院南水北调办公室政策及技术研究中心共同建立的“南水北调中线水源区农业面源污染控制综合示范区”,地处湖北省十堰市茅箭区南部山区,属北亚热带季风气候区,四季分明,冬长夏短,春季升温迅速,秋雨连绵,冬季少雨雪,冬暖少严寒。全年太阳辐射量为 446 kJ/cm<sup>2</sup>,生理辐射 211 kJ/cm<sup>2</sup>,年均日照时数达 1 925.8 h;多年平均气温 15.3 °C,极端最低气温 -14.9 °C,极端最高气温 41 °C。全年≥10 °C的积温为 4 936.5 °C;全年无霜期 246 d;多年平均降水量 855 mm,降雨量年际变化大,汛期(5月1日至10月20日)降雨量占年降雨量的 58%~62%,且强度大,历时短,入渗有限,容易冲刷侵蚀地表。研究区试验土壤为黄棕壤土,容重在 1.56~1.71 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验布置

试验在 2011 年黄瓜的生长季 7 月 20 日至 10 月 10 日进行。黄瓜的栽培方式采用垄作,垄肩宽 60 cm,两垄中心间距 140 cm,垄高 15 cm,垄上种植 2 行,株距 40 cm。分为 5 个灌溉水质处理,分别标记为 T<sub>1</sub>(全部再生水灌溉);T<sub>2</sub>(再生水和地下水联合灌溉,再生水占总灌水量的 70%);T<sub>3</sub>(再生水和地下水

联合灌溉,再生水占总灌水量的 50%);T<sub>4</sub>(再生水和地下水联合灌溉,再生水占总灌水量的 20%) 和 C(全部地下水灌溉)(如表 1 所示)。每个处理重复 3 个小区,每小区包括 3 条垄,4 m 长,即每个小区面积为 4 m×4 m。灌溉采用重力滴灌的方式进行,每垄中心铺设一条滴灌带,滴头间距为 20 cm,与株距等距,滴头流量 2.7 L/h,即每株黄瓜根部均有 1 滴头供水。每个处理(包括 3 个重复小区)由 1 个桶(容积 240 L)供水,桶放置在试验区距地面约 1.2 m 高的位置。每个处理的第 2 个试验小区内,在滴头下 20 cm 深度处安装 1 组负压计,当负压计指示的土壤水势低于 -25 kPa 时即进行灌溉,每次灌水量为 5 mm,生育期内共灌水 7 次,共 35 mm。

表 1 再生水滴灌试验处理编号

序号	处理	灌溉水质
1	T <sub>1</sub>	全部再生水
2	T <sub>2</sub>	总灌水量中含 70% 再生水
3	T <sub>3</sub>	总灌水量中含 50% 再生水
4	T <sub>4</sub>	总灌水量中含 20% 再生水
5	C	全部地下水

在黄瓜种植前,每平方米土壤施磷酸二铵复合肥 30 g,在试验处理期间,含再生水灌溉的处理(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub>)不再追施肥料,全部地下水灌溉(C)处理每次灌溉前,将 100 ml 30% 尿素溶液,磷酸二氢钾 26.5 g,硫酸钾 9.1 g 添加于灌溉水桶中,随水施入。

### 1.3 测定项目及方法

定植后第 2 周测量黄瓜植株的株高,以后约 10 d 左右测量 1 次。在 10 月 10 日(黄瓜生长旺盛期)测量植株茎粗、叶面积和叶片数,测量叶面积时取每柱第 1~3 片,测量叶片的长和宽,叶片为叶片上部肩宽侧值,叶长为叶片基部至叶尖的距离。自根瓜坐住后观察开花、坐果状况,10 月各处理陆续进入收获期,采收一个月后统计产量。

此外,农村生活污水经过多层土壤渗滤系统过滤后得到试验用的再生水,地下水、生活污水及再生水水质如表 2 所示。由表 2 可以看出,简单的多层土壤渗滤系统对生活污水处理效果一般,再生水中仍有很多指标的上限略微超过了国家标准限值。再生水灌溉时,土壤-植物系统也会对再生水中污染物进行吸收和吸附,并且在滴灌条件下,单次灌水量少,对污染物的淋失较少。本课题组前期通过对不同深度土壤和地下水中理化指标的分析得知,只要对再生水水质和灌溉水量进行有效协调,就可以在保证作物优质高产的同时有效防止污染物淋失进入水体<sup>[11]</sup>。

表 2 水质指标、测定方法及其与国家相关标准之间的比较

项目	地下水	生活污水	再生水	分析方法	农田灌溉水质标准 (GB5084-2005)—蔬菜
CODCr/(mg·L <sup>-1</sup> )	3.21~5.83	450~730	68~112	重铬酸盐法测定	100
NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.08~0.17	73~108	14~29	纳氏试剂法测定	—
浊度/NTU	0.4~2	20~113	21~98	浊度仪测定	—
SS/(mg·L <sup>-1</sup> )	2~10	60~190	30~60	重量法	60
温度/°C	10~20	14~38	14~38	温度计测定	—
pH 值	7~8	6~9	6~9	玻璃电极法测定	6~9
BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	1.2~2.33	179~271	28~47	稀释接种法	40
DO/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.21~0.14	2.9~5.7	2.0~4.8	便携式溶解仪	≥0.5
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.99~2.03	53~79	17~37	紫外分光光度法	≤30
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.08~0.22	4.9~10.4	4.1~9.3	钼酸铵分光光度法	≤30
余氯/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.88	20.1	1.04	碘量法	2
粪大肠菌群数/(10 <sup>4</sup> 个·L <sup>-1</sup> )	3	520	4	多管发酵法	4
溶解性总固体/(mg·L <sup>-1</sup> )	891	4 300	1 310	笔式 TDS 测定	1 000
色度	13.4	319	22	铬钴标准比色法	30
蛔虫卵数/(个·L <sup>-1</sup> )	1.8	112	1.3	多管发酵和沉淀集卵法	2

## 2 结果与分析

### 2.1 再生水滴灌对黄瓜植株生长的影响

选择茎粗、单叶叶面积、单株叶片数和株高 4 个指标,研究再生水滴灌灌溉对黄瓜生长发育的影响。由表 3 可以看出,各处理下的黄瓜茎粗差异并不大,除全部再生水滴灌灌溉的 T<sub>1</sub> 处理相对略高外,其他 4 个处理的植株茎粗差异不显著。单叶叶面积在各处理间表现为 T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>C>T<sub>3</sub>>T<sub>4</sub>,其中 T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 差异不显著,而 T<sub>4</sub> 处理单叶叶面积显著低于其他处理。各处理间,单株叶片数表现出和单叶叶面积一样的变化趋势,T<sub>1</sub> 最大,为每株 28.13 个叶片,但和 T<sub>2</sub> 未达到显著水平,而 T<sub>4</sub> 最低,仅为 T<sub>1</sub> 处理的 84%,显著低于除 T<sub>3</sub> 外的其他处理。

表 3 不同比例再生水滴灌对黄瓜茎粗、单叶叶面积和单株叶片数的影响

处理	茎粗/mm	单叶叶面积/cm <sup>2</sup>	单株叶片数/个
T <sub>1</sub>	7.72±0.08a	95.73±1.46a	28.13±2.40a
T <sub>2</sub>	7.54±0.08ab	92.70±0.60ab	25.27±1.59ab
T <sub>3</sub>	7.46±0.12b	90.17±2.95b	23.73±1.60bc
T <sub>4</sub>	7.37±0.10b	84.87±4.16c	21.10±1.47c
C	7.48±0.13b	91.70±1.73ab	24.43±0.71b

注:同一列中相同字母表示差异在 p<0.05 水平上不显著。下同。

由于黄瓜属于爬藤作物,所以在测量株高时,选择代表性的植株将其主茎拉直后进行测量。由图 1

可以看出,最高时期的株高可达 3~4 m,整个生育期呈现明显的“S”型的生长曲线。8 月中旬至 9 月中旬为黄瓜营养生长的快速阶段,黄瓜株高增长较快,而后缓慢下来。各处理之间比较发现,处理差异随黄瓜生长发育逐渐加大。在生育后期,全部再生水滴灌灌溉的 T<sub>1</sub> 处理株高高于其他处理,而 T<sub>4</sub> 处理最低,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub> 和 C 处理差异不大。

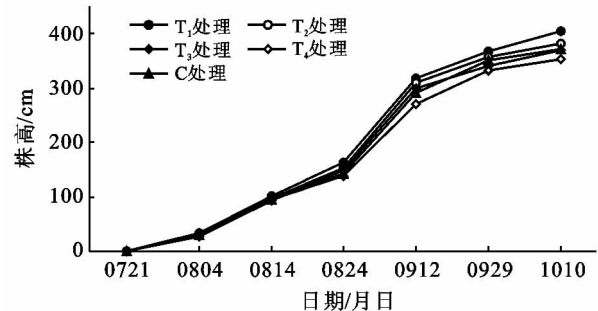


图 1 不同比例再生水滴灌对黄瓜株高的影响

### 2.2 再生水滴灌对黄瓜产量的影响

选择瓜长、单瓜重和产量 3 个指标,研究再生水滴灌对黄瓜果实产量的影响(表 4)。瓜长方面,总灌水量中含 20%再生水的 T<sub>4</sub> 处理瓜长最小,显著小于全部再生水滴灌的 T<sub>1</sub> 处理,其他处理之间差异不显著。单瓜重亦是以 T<sub>1</sub> 处理的值最高,但各处理之间差异均未达 0.05 的显著水平。产量方面,全部再生水滴灌的 T<sub>1</sub> 处理产量最高,其值分别比产量最低的 T<sub>4</sub> 处理和全部地下水灌溉的 C 处理的产量,增加 21.5%和 10.3%。

表 4 不同比例再生水滴灌对黄瓜的瓜长、单瓜重和产量的影响

处理	瓜长/cm	单瓜重/g	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
T <sub>1</sub>	23.07±1.62a	172.37±7.95a	37 138.95±180.14a
T <sub>2</sub>	20.80±1.31ab	170.20±2.89a	35 545.50±56.56ab
T <sub>3</sub>	20.73±1.79ab	168.67±1.76a	32 846.55±182.78bc
T <sub>4</sub>	19.80±2.45b	167.53±4.51a	30 577.50±55.27c
C	20.43±1.03ab	168.30±9.27a	33 658.95±156.77abc

### 3 结论

结合以往研究结果,再生水滴灌的优势除提高土壤有机质和植物必需的全氮、全磷等基础营养外,更重要的可能是其丰富的微量营养元素,为作物生长和产量形成提供更为适宜的土壤生物环境<sup>[12]</sup>。因此在本研究中,和正常施肥的全部地下水灌溉的对照处理相比,在不施肥的情况下,全部采用再生水滴灌处理对黄瓜的生长发育和产量形成,均表现出一定的促进作用,这与前人研究结果类似<sup>[6]</sup>。而其他较小比例的再生水滴灌处理,由于也不进行施肥,所以黄瓜生长指标和产量表现出和对照相当或者略低的水平。由此可以得出,只要农艺措施、灌溉制度适当,可以采取全部再生水滴灌,或者采用一定比例再生水灌溉和适当施肥相结合的方式,进行黄瓜的种植。

同时,值得注意的是,再生水中的污染物在土壤中还是有一定的富集,尤其是全部采用再生水滴灌灌溉的情况下,其对土壤环境和植物生长发育、产量和品质形成也存在一定的负面影响<sup>[12-13]</sup>,至于其影响程度和时效还需通过长期的试验做进一步的观察和研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 焦志华,黄占斌,李勇,等.再生水灌溉对土壤性能和土

壤微生物的影响研究[J].农业环境科学学报,2010,29(2):319-323.

[2] 裴亮,刘慧明,王理明.农业再生水灌溉现状及发展对策分析[J].生态经济,2012(1):152-155.

[3] 裴亮,颜明,陈永莲,等.再生水灌溉环境生态效应研究进展[J].水资源与水工程学报,2012,23(3):5-21.

[4] 彭致功,杨培岭,王勇,等.再生水灌溉对草坪土壤速效养分及盐碱化的效应[J].水土保持学报,2006,20(6):84-88.

[5] 宝哲,杨培岭,任树梅,等.模拟再生水灌溉下污灌土壤中盐分离子交换运移的试验研究[J].农业环境科学学报,2009,28(1):101-106.

[6] 吴文勇,许翠平,刘洪禄,等.再生水灌溉对果菜类蔬菜产量及品质的影响[J].农业工程学报,2010,6(1):36-40.

[7] Munir J, Mohammad R, Hinnawi S, et al. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters[J]. Desalination, 2007,215(1/3):143-152.

[8] Oron G, Campos C, Gillerman L, et al. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities[J]. Agricultural Water Management, 1999,38(3):223-234.

[9] 万书勤,康跃虎,刘士平.华北平原滴灌灌溉频率对萝卜生长的影响[J].灌溉排水学报,2003,22(2):26-30.

[10] 刘洪禄,吴文勇,师彦武,等.北京市再生水利用潜力与配置方案研究[J].农业工程学报,2006(S2):289-291.

[11] 裴亮,张体彬,陈永莲,等.农村生活污水再生水滴灌对根际土壤特性的影响研究[J].灌溉排水学报,2012,31(4):42-45.

[12] 吴文勇,刘洪禄,郝仲勇,等.再生水灌溉技术研究现状与展望[J].农业工程学报,2008,24(5):302-306.

[13] 裴亮,蒋树芳,刘士平,等.再生水灌溉水处理工艺及灌溉技术要求研究[J].水利水电技术,2012,43(1):93-97.

(上接第 95 页)

[6] 杨跃军,孙向阳,王保平,等.泡桐叶片的水分特征研究[J].北京林业大学学报,1999,21(6):28-34.

[7] 王孟本,李洪建,柴宝峰.晋西北小叶杨林水分生态的研究[J].生态学报,1996,16(3):232-237.

[8] 刘文杰,张一平,马友鑫,等.森林内雾水的水文和化学效应研究现状[J].林业科学,2005,41(2):141-146.

[9] 郑玉龙,冯玉龙.西双版纳地区附生与非附生植物叶片对雾水的吸收[J].应用生态学报,2006,17(6):977-981.

[10] 李晶晶,白岗柱,张蕊.陕北丘陵沟壑区常见树种叶片吸水性能研究[J].中国水土保持科学,2013,11(1):99-102.

[11] 郑征,刘宏茂,刘伦辉,等.西双版纳原始热带季节雨林生物量研究[J].广西植物,1999,19(4):309-314.

[12] 卢洪健,李金涛,刘文杰.西双版纳橡胶林枯落物的持水性能与截留特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(4):67-73.