

番茄穴盘育苗潮汐灌溉技术研究

刘宏久, 高艳明, 沈 富, 徐苏萌, 李建设*

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要: 为支撑蔬菜穴盘育苗潮汐灌溉技术应用, 筛选番茄穴盘育苗最优潮汐灌溉制度, 以“硬粉8号”番茄为试材, 采用 $L_4(2^3)$ 正交试验设计, 分析番茄穴盘苗生长及生理变化、基质性质和灌水量指标。结果表明, T3 的番茄穴盘苗生育期提前, 生长势强, 壮苗指数、光合效率和根系活力高。与顶部洒水灌溉处理 (T1 和 T2) 相比, 潮汐灌溉处理 (T3 和 T4) 的基质电导率低, 灌水量小。3 因素对植株鲜重、植株干重、壮苗指数、G 值、净光合速率和根系活力影响最大的均是灌溉频率, 对灌水量影响最大的是灌溉方式。总结出番茄穴盘育苗最优灌溉制度是 A2B1C2, 即灌溉方式为潮汐灌溉, 灌溉频率为每 2 d 1 次, 灌溉时间为下午 16:00。

关键词: 番茄; 穴盘苗; 潮汐灌溉; 正交试验

中图分类号: S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)04-0549-06

The ebb and flow irrigation technology for tomato plug seedlings

LIU Hongjiu, GAO Yanming, SHEN Fu, XU Sumeng, LI Jianshe

(School of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: In order to promote the ebb and flow irrigation technology in vegetable seedling production and select an optimal ebb and flow irrigation system for tomato, an $L_4(2^3)$ orthogonal experimental design was conducted using ‘Yingfen No. 8’ tomato. Tomato plug seedling growth, physiological changes, matrix properties, and irrigation indexes were analyzed. The results showed that tomato seedling growth, seedling index, photosynthetic efficiency, and root activity of T3 were the highest. Compared with the top sprinkling irrigation (T1 and T2), the EC of the substrate and the irrigation volume of the ebb and flow irrigation treatments (T3 and T4) were the lowest. Irrigation frequency was the most important factor affecting plant fresh weight, plant dry weight, G value, net photosynthetic rate, and root activity, while irrigation method was the most important factor affecting the irrigation amount. In summary, the optimal irrigation system for tomato seedling production was A2B1C2, i.e. using the ebb and flow irrigation method at the irrigation frequency of 1 time/2 d and irrigating plants in the afternoon (16:00).

Key words: tomato; plug seedling; ebb and flow irrigation; orthogonal experiment

蔬菜穴盘幼苗的质量优劣决定着蔬菜的生长发育, 产量和品质^[1]。灌溉是穴盘育苗的关键因素, 目前的灌溉方法有传统的顶部洒水灌溉和新型的潮汐灌溉^[2]。结合蔬菜生产和节约用水两因素, 研究蔬菜穴盘育苗的灌溉制度迫在眉睫。新型的潮汐灌溉是针对盆栽植物的营养液栽培和容器育苗所设计的底部给水的灌溉方式^[3], 其基本原理是使灌溉水从栽培基质底部进入, 依靠栽培基质的毛细管作用, 将灌溉水供给植物^[4], 其主要优点是高效、节水和

环保。目前, 在欧美许多发达国家已对潮汐灌溉作了大量科学研究, 其已成为温室花卉种植和蔬菜工厂化育苗的主要灌溉方式^[5-9]。2010 年, 我国自主研发的潮汐灌溉系统落户宁夏贺兰园艺产业园^[10], 加深学者对潮汐灌溉的研究^[11-13]。其中, 李建设^[14-15]和包长征^[16]对潮汐灌溉条件下的黄瓜、辣椒和西葫芦育苗作了研究, 并证实潮汐灌溉条件下的幼苗的生长势和光合作用最强。但是, 科研工作者还未对蔬菜穴盘育苗潮汐灌溉技术进行全面研究, 灌水频

收稿日期: 2015-03-20

基金项目: 农业科技成果转化资金项目“设施蔬菜现代节水高效优新技术产业化示范”(2013GB2G300494)资助。

作者简介: 刘宏久, 硕士研究生。E-mail: liured9@163.com

* 通信作者: 李建设, 博士, 教授。E-mail: jslinxn@163.com

率、灌溉时间等关键运行参数没有确定^[17]。

为支撑番茄穴盘育苗潮汐灌溉技术应用,本试验以番茄为对象,系统研究灌溉方式、灌溉频率和灌溉时间对番茄穴盘苗生长发育、基质性质和节水效率的影响,从而筛选出番茄穴盘育苗的最优潮汐灌溉制度。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本试验于2014年11月至12月,在宁夏贺兰园艺产业园日光温室进行。试验期间温室温度控制在白天最高28℃,夜间最低10℃,日平均湿度在40%。采用由塑料盆和排水阀组成的模拟潮汐灌溉系统,一个塑料盆放置1个穴盘。

供试番茄品种为硬粉8号,由国家蔬菜工程技术研究中心育成,北京京研益农科技发展中心生产。

用98穴的穴盘育苗,育苗基质由宁夏嘉禾源种业有限公司提供。育苗基质理化性质测定参照《土壤学实验指导教程》和《土壤化学及实验指导》^[18-19],其测定结果:容重 $0.201\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, EC为 $186\text{ ms}\cdot\text{m}^{-1}$, pH为7.3,有机质含量 $\geq 20\%$,腐植酸 $\geq 10\%$,氮磷钾 $\geq 10\%$ 。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 本试验包含灌溉方式、灌溉频率和灌溉时间3个试验因素,其中每个因素包括2个水平(表1),根据因素水平采用 $L_4(2^3)$ 正交设计安排试验,共4个处理(表2),每个处理1个穴盘,重复3次。

试验前先将番茄种子放入恒温25℃的温箱进行催芽,待番茄种子发芽整齐后播种。播种时,将基质浇透,播后5d开始试验处理。

表1 试验因素水平

Table 1 Experimental factors and levels

水平 Level	灌溉方式(A) Irrigation method	灌溉频率(B)/d·次 ⁻¹ Irrigation frequency	灌溉时间(C)/min Irrigation time
1	顶部洒水灌溉 Irrigation from the top by spraying	2	8:00
2	潮汐灌溉 Ebb and flow irrigation	3	16:00

表2 试验设计

Table 2 Experimental design

处理 Treatment	灌溉方式(A) Irrigation method	灌溉频率(B) Irrigation frequency	灌溉时间(C) Irrigation time
T1	A1	B1	C1
T2	A1	B2	C2
T3	A2	B1	C2
T4	A2	B2	C1

1.2.2 测定方法 (1)番茄穴盘苗的形态指标测定。番茄播种后21d、28d和35d,分别取样测定幼苗的株高(从茎基部至生长点)、茎粗(子叶下1cm处)、第一片真叶长、根系长度,同时测定番茄穴盘苗植株鲜重,然后105℃杀青,80℃烘干至恒重,测量地植株干重。

通过测定好的生长指标来计算壮苗指数、干物质含量和G值。

壮苗指数=(茎粗/株高)×植株鲜重;干物质含量=植株干重/植株鲜重;G值($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)=植株干质量/育苗天数

(2)番茄穴盘苗的生理指标测定。在番茄播种后35d的上午10:00,测定番茄幼苗的第1片真叶的光合指标(德国WALZ的GFS3000光合仪)和叶绿素(SPAD-502叶绿素仪),同时参照苍晶植物

生理学实验教程使用TTC还原法,测定番茄穴盘苗根系活力^[20],每个处理测量3次。

(3)基质含水量和灌溉量的测定。在番茄播种后,每天上午9:00使用英国DELTA-T公司的WET土壤三参数测定仪测量基质含水量和电导率,每个处理测量3次;同时通过称重法测定每次的灌溉用水量,计算出总灌溉量和灌溉次数。

1.2.3 数据处理 使用Excel2007整理数据和作图,使用SAS8.0对试验数据进行显著性分析、方差分析和正交试验的直观分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对番茄穴盘苗形态指标的影响

从表3可以看出,随着苗龄的增长,所有处理的株高、茎粗、叶长、植株鲜重和植株干重都在增

长, 而根长在播种后 28 d 达到最大值。播种后 21 d, T3 的根长显著高于其他处理, 而各处理之间的株高、茎粗、叶长、植株鲜重和植株干重无差异。播种后 28 d, T3 和 T4 的株高和叶长最大且差异显著, T1 和 T3 的茎粗显著高于其他处理, 所有处理中 T2

的全部生长指标最低。播种后 35 d, T3 的株高和植株鲜重最高且差异显著, T1 的茎粗最高且显著高于 T4, T4 的植株鲜重最低, 可能是受到水分胁迫的结果; 同时所有处理的植株干重差异不显著, 这是穴盘营养面积的有限性造成的。

表 3 不同处理对番茄穴盘苗生长指标的影响

Table 3 Effect of different treatments on the growth indexes of the tomato seedlings

取样时间 Sampling time	处理 Treatment	株高/mm Height	茎粗/mm Stem diameter	叶长/mm Leaf length	根长/mm Root length	植株鲜重/g Plant fresh weight	植株干重/g Plant dry weight
播后 21 d 21 days after planting	T1	60.21 ^a	2.37 ^a	58.22 ^a	89.92 ^{ab}	0.908 ^a	0.0803 ^a
	T2	61.79 ^a	2.31 ^a	59.78 ^a	82.59 ^{ab}	0.845 ^a	0.0715 ^a
	T3	61.88 ^a	2.29 ^a	65.52 ^a	93.47 ^a	0.954 ^a	0.0833 ^a
	T4	61.69 ^a	2.35 ^a	64.99 ^a	76.15 ^b	0.978 ^a	0.0857 ^a
播后 28 d 28 days after planting	T1	61.41 ^b	2.69 ^a	71.00 ^b	121.00 ^a	1.319 ^{ab}	0.149 ^{ab}
	T2	63.77 ^b	2.44 ^b	70.59 ^b	89.28 ^b	1.241 ^b	0.138 ^b
	T3	77.16 ^a	2.77 ^a	79.60 ^a	106.59 ^{ab}	1.582 ^a	0.179 ^a
	T4	78.03 ^a	2.46 ^b	78.19 ^a	105.45 ^{ab}	1.325 ^{ab}	0.146 ^{ab}
播后 35 d 35 days after planting	T1	81.44 ^b	3.08 ^a	78.98 ^{ab}	102.09 ^{ab}	1.895 ^b	0.217 ^a
	T2	78.74 ^b	2.90 ^{ab}	76.52 ^b	103.72 ^a	1.805 ^b	0.203 ^a
	T3	90.11 ^a	2.89 ^{ab}	83.82 ^a	104.33 ^a	1.979 ^a	0.234 ^a
	T4	84.73 ^{ab}	2.79 ^b	79.23 ^{ab}	83.41 ^b	1.794 ^b	0.206 ^a

注: 表中不同字母表示不同处理间的差异显著 ($P < 0.05$, LSR 测验)。下同。

Note: Different letters show significant difference between treatments at $P < 0.05$ according to LSR test. The same below.

表 4 不同处理对番茄穴盘苗壮苗指数、G 值和干物质含量的影响

Table 4 Effects of different treatments on seedling indexes, G value and root-shoot ratio of tomato seedlings

取样时间 Sampling time	处理 Treatment	壮苗指数 Seedling index	G 值 G-value	干物质含量 Dry-matter content
播后 21 d 21 days after planting	T1	0.0361 ^a	0.00383 ^a	0.0886 ^a
	T2	0.0319 ^a	0.00341 ^a	0.0834 ^a
	T3	0.0357 ^a	0.00397 ^a	0.0866 ^a
	T4	0.0373 ^a	0.00408 ^a	0.0877 ^a
播后 28 d 28 days after planting	T1	0.0577 ^a	0.00532 ^{ab}	0.1123 ^a
	T2	0.047 ^{ab}	0.00492 ^b	0.1102 ^a
	T3	0.0570 ^a	0.00638 ^a	0.1131 ^a
	T4	0.0422 ^b	0.00523 ^{ab}	0.1104 ^a
播后 35 d 35 days after planting	T1	0.0718 ^{ab}	0.00620 ^{ab}	0.1147 ^a
	T2	0.0671 ^b	0.00580 ^b	0.1129 ^a
	T3	0.0743 ^a	0.00668 ^a	0.1182 ^a
	T4	0.0582 ^c	0.00588 ^b	0.1176 ^a

2.2 不同处理对番茄穴盘苗壮苗指数、G 值和干物质含量的影响

壮苗指数、G 值和干物质含量是反映幼苗素质的主要指标。从表 4 可以得出, 随着播种时间的增长, 所有处理的壮苗指数、G 值和干物质含量都在增加; 同时播种后 21 d, 各处理的壮苗指数, G 值和干物质含量无显著差异; 播种后 28 d, T1 的壮苗

指数最大且显著高于 T4, T3 的 G 值最高且显著高于 T2, 各处理的干物质含量无显著差异; 播种后 35 d, T3 的壮苗指数和 G 值最高显著高于 T2 和 T4; 而干物质含量在所有处理中仍无显著差异; 整个苗期, T4 处理的壮苗指数和 T2 处理的 G 值最小。

2.3 不同处理对番茄穴盘苗光合指标的影响

从表 5 中可以看出, T1 和 T3 的净光合速率和

蒸腾速率最高且显著高于 T4, T1 的气孔导度最大, 差异显著; 胞间 CO₂ 浓度最高的处理是 T3, 水分利

用效率最高的处理是 T4; 各处理的胞间 CO₂ 浓度和水分利用效率无差异。

表 5 不同处理对番茄穴盘苗的光合指标的影响

Table 5 Effects of different treatments on physiological indexes of the tomato seedling

处理 Treatment	净光合速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ <i>Pn</i>	气孔导度 / $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ <i>Gs</i>	胞间 CO ₂ 浓度 / $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ <i>Ci</i>	蒸腾速率 / $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ <i>Tr</i>	水分利用效率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ <i>WUE</i>
T1	6.363 ^a	66.64 ^a	349.87 ^a	1.189 ^a	5.352 ^a
T2	5.913 ^{ab}	57.27 ^b	342.82 ^a	1.102 ^{ab}	5.374 ^a
T3	6.383 ^a	58.83 ^b	360.80 ^a	1.197 ^a	5.388 ^a
T4	5.199 ^b	43.64 ^c	349.79 ^a	0.946 ^b	5.502 ^a

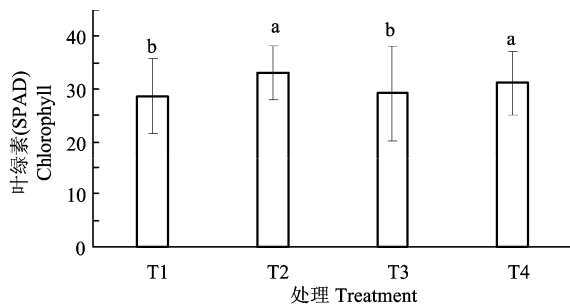


图 1 不同处理对番茄穴盘苗叶绿素含量的影响

Figure 1 Effects of different treatments on the chlorophyll of tomato seedlings

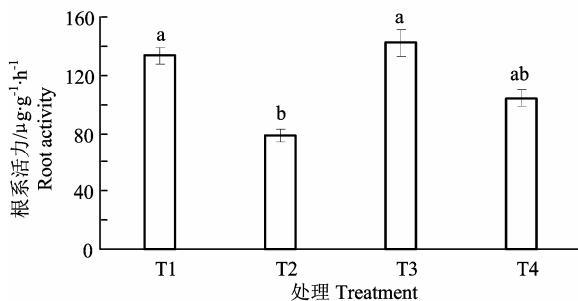


图 2 不同处理对番茄穴盘苗根系活力的影响

Figure 2 Effects of different treatments on the root activity of tomato seedlings

2.4 不同处理对番茄穴盘苗叶绿素含量和根系活力的影响

叶绿素含量是衡量植株地上部生长状况的主要生理指标。由图 1 看出, 所有处理中, T2 和 T4 的叶绿素含量最高, 差异显著。这与马富举^[21]研究的干旱胁迫下小麦的叶绿素含量变化结果相似, 证明干旱胁迫强度与叶绿素含量呈正相关性, 所以 T2 和 T4 的幼苗受干旱胁迫影响较大。根系活力是判断幼苗品质的重要生理指标, 是衡量植物根系吸收养分能力的重要指标。从图 2 得出, T1 和 T3 的根系活力最强, 且差异显著, 进一步证明 T1 和 T3 的幼苗质量最佳。

2.5 不同处理对基质性质和灌溉量的影响

从表 6 可以看出, 平均基质电导率由大到小依次为: T2、T4、T1 和 T3, 其中 T2 显著高于其他处理; 平均基质含水量由大到小依次为 T3、T1、T4 和 T2, 其中 T3 显著高于其他处理; 灌溉量由大到小依次为: T1、T2、T3 和 T4, 顶部洒水灌溉处理(T1 和 T2)显著高于潮汐灌溉的处理(T3 和 T4); 灌溉次数 T1 和 T3 为 16 次, T2 和 T4 为 11 次。

表 6 不同处理对基质性质和灌溉指标的影响

Table 6 Effects of different treatments on the substrate quality and irrigation indexes

处理 Treatment	基质电导率/ $\text{ms}\cdot\text{m}^{-1}$ Substrate EC	基质含水量/ $\%(\text{v}/\text{v})$ Substrate water content	每次灌溉量/kg Irrigation amount a time	灌溉次数/次 Irrigation time	总灌溉量/kg Total irrigation amount
T1	275 ^c	25.80 ^b	0.950 ^b	16 ^a	15.210 ^a
T2	299 ^a	20.13 ^c	1.277 ^a	11 ^b	14.067 ^b
T3	244 ^d	27.80 ^a	0.676 ^d	16 ^a	10.823 ^c
T4	287 ^b	21.04 ^c	0.931 ^c	11 ^b	10.237 ^d

2.6 主要指标的直观分析

从表 7 可以看出, 正交试验的 3 因素对株高、茎粗影响的主次顺序是灌溉方式>灌溉频率>灌溉时间, 其中灌溉方式起绝对主要作用, 最优组合分

别为 A2B1C2 和 A1B1C1。从 3 因素对植株鲜重、壮苗指数和净光合速率影响的均值看, 其主次顺序均为灌溉频率>灌溉时间>灌溉方式, 最优组合分别为 A2B1C2、A1B1C2 和 A1B1C2。3 因素对植株干

重、G 值、根系活力和基质含水量的影响的主次顺序分别为灌溉频率>灌溉方式>灌溉时间, 最优组合分别为 A2B1C2、A2B1C2、A2B1C1 和 A2B1C2。

3 因素对灌溉量影响的主次顺序为灌溉方式>灌溉频率>灌溉时间, 耗水最优组合均为 A1B1C1, 节水最优组合为 A2B2C2。

表 7 主要指标的直观分析

Table 7 Visual analysis results of the main indexes in the experiment

指标 Index		因素 Factor			因素主次顺序 Factor order	优组合 Optimal combination
		灌溉方式 (A) Irrigation method	灌溉频率 (B) Irrigation frequency	灌溉时间 (C) Irrigation time		
株高 Height	k1	80.57	85.57	82.92	A>B>C	A2B1C2
	k2	87.34	82.34	85.00		
	R	6.77	3.23	2.08		
茎粗 Stem diameter	k1	2.99	2.99	2.93	A>B>C	A1B1C1
	k2	2.84	2.84	2.90		
	R	0.150	0.143	0.030		
植株鲜重 Plant fresh weight	k1	1.846	1.936	1.823	B>C>A	A2B1C2
	k2	1.863	1.775	1.888		
	R	0.0158	0.161	0.066		
植株干重 Plant dry weight	k1	0.209	0.226	0.212	B>A>C	A2B1C2
	k2	0.221	0.205	0.219		
	R	0.0107	0.0217	0.0073		
壮苗指数 Seedling index	k1	0.0696	0.0739	0.0652	B>C>A	A1B1C2
	k2	0.0675	0.0632	0.0719		
	R	0.0021	0.0107	0.0066		
G 值 G value	k1	0.0060	0.0065	0.0061	B>A>C	A2B1C2
	k2	0.0064	0.0059	0.0063		
	R	0.0004	0.0007	0.0003		
净光合速率 P_n	k1	6.06	6.29	5.70	B>C>A	A1B1C2
	k2	5.79	5.55	6.14		
	R	0.273	0.742	0.447		
根系活力 Root activity	k1	105.50	137.67	116.33	B>A>C	A2B1C1
	k2	121.00	88.83	110.17		
	R	15.50	48.83	6.16		
基质含水量 Substrate water content	k1	23.17	26.65	24.12	B>A>C	A2B1C2
	k2	24.66	21.19	24.13		
	R	1.484	5.458	0.416		
灌溉量 Irrigation volume	k1	14.63	13.01	12.72	A>B>C	A1B1C1
	k2	10.53	12.14	12.43		
	R	4.098	0.875	0.288		

3 讨论

T3 的番茄穴盘苗生育期提前, 生长势强, 壮苗指数, 光合效率和根系活力高, 其主要影响因素是灌溉方式和灌溉频率。这与李建设^[14-15]的保水剂和供水方式对黄瓜和辣椒生长影响的研究结果相似, 底部供水可增强穴盘苗素质。

与顶部洒水灌溉的处理 (T1 和 T2) 相比, 潮

汐灌溉的处理 (T3 和 T4) 的基质电导率低, 灌溉量小。T3 比 T1 节水 28.8%, 比 T2 节水 23.1%。这与马福生^[12]的研究结果相符合, 证明了潮汐灌溉的节水效率高。

灌溉方式、灌溉频率和灌溉时间 3 因素对植株鲜重、植株干重、壮苗指数、G 值、净光合速率和根系活力影响最大的均是灌溉频率, 同时 3 因素对灌溉量影响最大的是灌溉方式, 可见灌溉频率对番

茄穴盘苗生长和生理变化起决定作用,灌溉方式对灌溉量起主要作用。

比较 3 因素对基质含水量和灌溉量影响的均值,基质含水量指标主要由灌溉频率决定,而灌溉量指标主要由灌溉方式决定,考虑节约用水和保持适宜番茄穴盘苗生长的基质含水量,最优组合应选择 A2B1C2。

4 结论

综合以上分析结果,番茄穴盘育苗的灌溉方式应首选潮汐灌溉;在温室环境条件为白天最高 28℃,夜间最低 10℃,日平均湿度在 40%,番茄穴盘育苗最优灌溉制度是 A2B1C2,即灌溉方式为潮汐灌溉,灌溉频率为每 2 d 1 次,灌溉时间为下午 16:00。

参考文献:

- [1] 陈振德. 蔬菜穴盘育苗技术[M]. 青岛: 青岛出版社, 2000.
- [2] 尚庆茂, 张志斌. 构建工厂化育苗网络 促进现代蔬菜产业发展[J]. 中国蔬菜, 2008(6): 1-4.
- [3] 马学良, 赵其恒. 国内外设施农业节水灌溉设备技术现状与发展[J]. 节水灌溉, 1999(2): 4-6.
- [4] 周长吉, 张学军, 杨振声, 等. 温室灌溉原理与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [5] 美克里斯·贝茨. 齐飞, 译. 温室及设备管理[M]. 17 版. 北京: 北京化学工业出版社, 2009.
- [6] Poole R T, Conover C A. Fertilizer levels and medium affect foliage plant growth in an ebb and flow irrigation system [J]. J Environ Hort, 1992, 10(2): 81-86.
- [7] James E, van Iersel M. Ebb and flow production of petunias and begonias as affected by fertilizers with different phosphorus content[J]. HortScience, 2001, 36(2): 282-285.
- [8] Neal C A, Henley R W. Water use and runoff comparisons of greenhouse irrigation systems[J]. Proc Fla State Hort Soc, 1992, 105: 191-194.
- [9] 辜松, 杨艳丽, 张跃峰, 等. 荷兰蔬菜种苗生产装备系统发展现状及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 185-194.
- [10] 白燕. 潮汐灌溉节能技术落户我区[N]. 宁夏日报, 2010年8月19日, 第05版.
- [11] 张黎, 王勇. 盆栽八仙花潮汐灌溉栽培试验初探[J]. 北方园艺, 2011(20): 77-79.
- [12] 马福生, 刘洪禄, 杨胜利, 等. 无土盆栽红掌潮汐灌溉技术[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 115-120.
- [13] 苗妍秀, 曲梅, 李伟, 等. 植物工厂中不同供液方式对辣椒育苗的影响[J]. 长江蔬菜, 2012(6): 33-36.
- [14] 李建设, 高艳明, 韩艳霞. Skygel 保水剂与供水方式对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(6): 134-138.
- [15] 李建设, 高艳明, 李志鹏. 保水剂与供水方式对辣椒幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2010(15): 99-104.
- [16] 包长征, 曹云娥, 卢纯, 等. 不同保水剂和供水方式对西葫芦幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2010(16): 58-60.
- [17] 刘宏久, 高艳明, 李建设. 潮汐灌溉技术研究进展[J]. 北方园艺, 2014(10): 171-173.
- [18] 胡慧蓉, 田昆. 土壤学实验指导教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [19] 李学垣. 土壤化学及实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [20] 苍晶, 赵会杰. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [21] 马富举, 李丹丹, 蔡剑, 等. 干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 724-730.