

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2012.05.003

防治大棚土壤盐碱化的水管理方案

陈 林¹,王修贵¹,孙怀卫^{1,2},袁永坤³,吴伟峰⁴

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北 武汉 430072;
2. 华中科技大学水电与数字化工程学院,湖北 武汉 430074;
3. 上海市青浦区水利技术推广站,上海 2017072; 4. 上海市水利管理处,上海 200002)

摘要:针对大棚土壤盐碱化问题,在田间试验的基础上,应用水管理软件 DRAINMOD 模拟各种大棚农田水管理措施下土壤含盐量的变化过程。模拟结果表明:夏季揭棚,对于控制土壤盐碱化具有明显的效果;无排水措施时,即使在夏季揭棚让雨水淋洗,长期种植也导致土壤积盐过多,不适应蔬菜生长;对于 0~40 cm 表层土壤,控制排水的盐分淋洗效果好于自由排水,但对于 40 cm 以下的土壤,自由排水的盐分淋洗效果要好于控制排水;在不揭棚时节,适当加大灌溉量有一定洗盐效果;在高温多雨时节揭棚,采用控制排水和常规灌溉量,是比较好的大棚水管理方案。

关键词:盐碱化;大棚;控制排水;DRAINMOD 模型;土壤含盐量

中图分类号:S276.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)05-0011-05

Water management schemes for controlling and treating soil salinization of greenhouses//CHEN Lin¹, WANG Xiugui¹, SUN Huaiwei^{1,2}, YUAN Yongkun³, WU Weifeng⁴ (1. *State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science (Wuhan University)*, Wuhan 430072, China; 2. *School of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology*, Wuhan 430074, China; 3. *Qingpu District Water Conservancy Technology Popularization Station of Shanghai*, Shanghai 2017072, China; 4. *Shanghai Water Conservancy Management*, Shanghai 200002, China)

Abstract: As for the soil salinization in greenhouses, the water management software DRAINMOD is used to simulate the variation of salt content in soil under different water management scenarios based on the farmland experiments. The simulated results show that the greenhouse covered without plastic sheeting in summer is an effective way to control soil salinization. When there are no drainage measures, even if the greenhouse covered without plastic sheeting is irrigated by rainwater, long-term planting will lead to high salt content in the soil and is unfavorable to the growth of vegetables. To control the salt in the upper soil layer (0~40 cm below surface), the controlled drainage is more effective than the conventional drainage. But for the soil layer below 40 cm, the conventional drainage is better than the controlled drainage. When the greenhouse is covered with plastic sheeting, more irrigation water is effective for controlling the soil salinization. To adopt the controlled drainage and routine irrigation is the satisfactory water management scheme for the greenhouses covered without plastic sheeting in high-temperature and rainy season.

Key words: salinization; greenhouse; controlled drainage; DRAINMOD model; salt content of soil

土壤盐碱化是一个世界性的难题,大量学者对治理土壤盐碱化措施进行了研究。施秀珠等^[1]根据调查和试验结果提出就上海大棚而言,在 6 月上中旬到 10 月上旬,可以利用雨水淋洗土壤盐分。范浩定等^[2-3]认为可以通过加大灌溉量淋洗土壤盐分。上述学者分别从灌溉、排水和雨水淋洗 3 个方面说明了防治土壤盐碱化的方法,其基本原理是将作物根系层土壤盐分溶解在水中,然后排到根系土壤以外。传统的排水措施是不加控制的,容易浪费水资源并增加肥料流失量。控制排水是在田间排水系统的出口设置控

制设施,根据作物对地下水位的适应能力和淋洗盐分的要求,通过控制设施来调节田间地下水埋深,这样可以控制排水量,减少排水对承泄区的污染^[4-7]。

笔者在田间试验的基础上,曾以田间水管理软件 DRAINMOD 为工具,以 SEW30、土壤 0~60 cm 土层盐分脱减率和排水量等作为评价指标,研究了大棚在覆盖条件下控制排水的间距、出口控制深度的组合方案和灌溉淋洗定额^[8],本文针对大棚生产实践中的问题,凝练成以下 3 方面的技术问题开展研究:①同不揭棚相比,雨季揭棚的控盐效果;②大棚

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2012BAD08B00);武汉市科技计划(200820212034)

作者简介:陈林(1986—),男(土家族),湖北巴东人,硕士,主要从事农田排水与水管理研究。E-mail: bdchenlin@126.com

适宜的排水措施(无排水、控制排水和自由排水);
③如果不揭棚,采用加大淋洗的灌溉定额和效果。
本文在田间试验资料的基础上,根据上海青浦 50 a 的气象资料,运用 DRAINMOD 模拟 50 a 的土壤含盐量、暗管的排水量以及每年的 SEW30,其中 SEW30 是指各日地下水位超过地面以下 30 cm 数值的总和,采用 1999—2008 年田间土壤含盐量的平均值作为各种水管理方案长期作用结果的平均情况,对上述技术问题开展模拟研究,提出以控制土壤盐碱化为主要目的的大棚水管理方案。

1 田间试验及模型参数

为了研究大棚土壤盐碱化的控制措施,2007 年在上海青浦区选择了 1.6 hm² 大棚开展为期 3 a 的控制排水和节水灌溉试验。控制排水的暗管间距分别采用 7 m,10 m,15 m 和 20 m,在作物不同的生长季节采用不同的暗管出口控制深度。观测内容包括地下水位、土壤含盐量、作物蒸腾蒸发量及棚内外气象要素等,并测定和收集了土壤水分特征曲线、田间持水量、土壤容重等土壤水文地质参数。试验区常年平均地下水位约 50 cm,地下水含盐量约 1000 mg/L。

大棚水管理方案的模拟采用美国北卡罗来纳州立大学 Skaggs^[5] 开发的 DRAINMOD-S 模型,它以 DRAINMOD 模型的水平衡计算结果作为已知输入,用于研究农田排水及土壤中盐分的运动和剖面盐分的分布。DRAINMOD-S 盐分模拟所需的输入资料与 DRAINMOD 模型相同。模拟时只需要加入盐分参数和初始剖面土壤含盐量以及作物灌溉水的盐分浓度,就能够逐日计算田间水均衡要素变化量,包括入渗、径流、腾发、地下排水量、深层渗漏以及地下水位等;也可以计算作物由于干旱、涝渍、迟播以及盐渍化对产量产生的影响;还可以计算土壤剖面盐分的运移^[5,9-10]。

采用 2007 年 10—12 月排水暗管间距为 15m 的排水区观测的数据优选 DRAINMOD 模型的土壤参数。地下水位预测值与实测值的比较如图 1 所示,计算得出其相关系数 $R=0.920$,置信度 $\alpha=0.01$;土壤含盐量预测值与实测值的比较如图 2 所示,计算得出其相关系数 $R=0.700$,置信度 $\alpha=0.05$,所确定的参数均满足一定的精度要求。

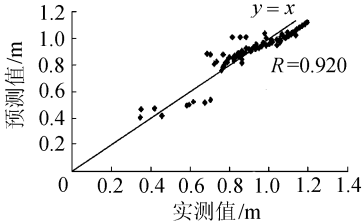


图 1 地下水位预测值与实测值比较

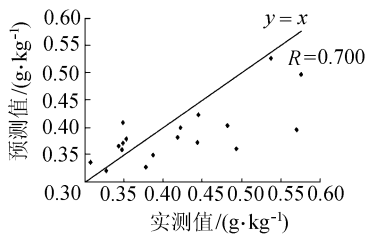


图 2 土壤含盐量预测值与实测值比较

另外观测排水暗管间距为 10 m 和 20 m 试验区的地下水位及土壤含盐量状况,用观测资料进一步对模型的有效性和可靠性进行验证。10 m 试验区地下水位预测值与实测值的线性相关系数 $R=0.906$,土壤含盐量预测值与实测值的线性相关系数 $R=0.535$,置信度 $\alpha=0.05$;20 m 试验区地下水位预测值与实测值的线性相关系数 $R=0.934$,土壤含盐量预测值与实测值的线性相关系数 $R=0.788$,置信度 $\alpha=0.05$,上述参数均满足一定的精度要求。

其他有关输入资料有:①气象数据。包括日降雨量,日气温数据(最高气温和最低气温),日潜在腾发量(PET)。②根据上海气象站 1959—2008 年的常规气象观测的 20 cm 的蒸发皿旬蒸发数据,推求棚内逐旬 PET。③排水系统特性参数如表 1 所示。④土壤含盐量初始值采用 2009 年的实测资料,如表 2 所示。⑤灌溉数据。由大棚土壤的水平衡方程拟定灌溉制度,确定灌溉量,作为输入数据。据试验测得资料,取盖棚期间灌溉水的平均含盐量为 450 mg/L,揭棚期间灌溉水的平均含盐量为 240 mg/L。

表 1 排水系统特性参数

暗管埋深/ cm	间距/ m	控制出口 深度/m	有效半径/ cm	地表到不透 水层的 距离/m	排水率/ (cm·d ⁻¹)
120	15	按月变化	8.95	4	2.05

表 2 土壤含盐量初始值分布

土层深度/cm	土壤含盐量/ (mg·L ⁻¹)	土层深度/cm	土壤含盐量/ (mg·L ⁻¹)
0~5	2000	60~80	500
5~20	1400	80~100	450
20~40	800	>100	440
40~60	600		

2 研究方案

本文共考虑了 3 个方面的水管理措施:①揭棚措施。包括揭棚(J)和不揭棚(B)两种措施,根据当地丰产经验,揭棚措施拟定在 6—9 月,此时段高温多雨,揭棚可以满足作物对温度的要求,也可以充分利用降雨冲洗土壤盐分。但由于 6 月揭棚后 9 月又需要盖棚,增加了劳动力和生产资料支出,因此,部分农民有不揭棚的习惯。不揭棚处理为全年均有塑

膜覆盖。②排水措施。考虑 3 种排水措施:自由排水(Z)、控制排水(K)和无排水(W)。自由排水和控制排水的排水暗管埋深 120 cm,间距 15 m。其中控制排水的控制出口深度根据作物根系生长情况确定,无排水即不设排水暗管,反映了目前上海大棚生产的普遍状况。③定额措施。不揭棚时间段(10 月至次年 5 月)采用常规灌溉定额(C)和加大 10% 的灌溉定额(D)两种措施。

根据上述处理措施,共形成 10 种水管理方案,如表 3 所示。

表 3 不同水管理措施的组合方案			
揭棚措施	排水措施	方 案	
		常规灌溉定额	加大灌溉定额
揭棚	无排水	JWC	JWD
	自由排水	JZC	JZD
	控制排水	JKC	JKD
不揭棚	自由排水	BZC	BZD
	控制排水	BKC	BKD

3 方案效果分析

本文采用 1959—2008 年共 50 a 的气象资料进行模拟,以 1999—2008 年共 10 a 的指标平均值作为各种水管理方案长期作用的效果指标。①0~20 cm 土层的土壤含盐量均值。蔬菜在幼苗期主要从 0~20 cm 的土层获取水分,对于大多数蔬菜来说,幼苗期对于盐分最为敏感。②0~60 cm 土层的土壤含盐量均值。0~60 cm 土层是蔬菜中后期主要的根系活动区。③0~20 cm 土层在 1999—2008 年含盐量超过 1 200 mg/L 和 2 400 mg/L 的时间。本文模拟的 3 种作物中菠菜和芹菜的耐盐阈值为 1 200 mg/L 左右,韭菜的耐盐阈值在 2 400 mg/L 左右。④0~60 cm 土壤的剖面土壤含盐量分布。描述盐分在剖面的分布状况,反映不同土壤深度的土壤含盐量。

3.1 不揭棚时各方案的效果分析

不揭棚时共有 4 种方案,各方案的指标见表 4。由表 4 可以看出,在排水措施相同时,加大灌溉量的土壤含盐量指标皆小于常规灌溉量的。这是由于常规灌溉量是按照刚好能满足作物的腾发量拟定的,没有额外的渗漏带走盐分,灌溉水中的盐分在水分蒸发

后留在土壤中,而加大灌溉量形成渗漏,能淋洗土壤盐分。从表 4 也可以看出控制排水 0~60 cm 土层的土壤含盐量均值大于 0~20 cm 土层的,而自由排水则相反。控制排水 0~20 cm 土层的土壤含盐量超过 1 200 mg/L 和 2 400 mg/L 的天数小于自由排水的,这说明控制排水表层土壤含盐量小而底层含盐量大。4 种不揭棚方案的剖面土壤含盐量分布如图 3 所示。

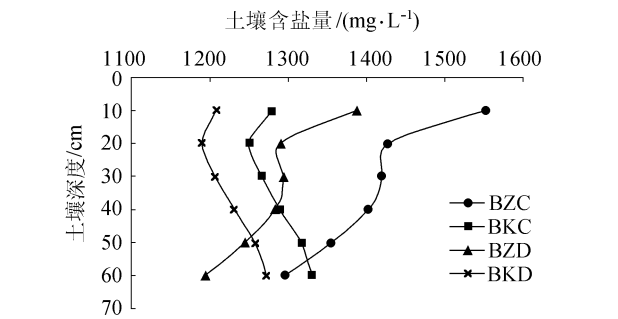


图 3 不揭棚时剖面土壤含盐量分布

由图 3 可以看出,自由排水在 0~60 cm 的土壤含盐量随土壤深度的增加而减少,而控制排水在 0~20 cm 的土壤含盐量随土壤深度的增加而减少,在 20 cm 以下随土壤深度的增加而增加。在土壤表层,约在 50 cm 深度以上土壤中,控制排水的土壤含盐量低于自由排水的,而在 50 cm 以下土壤中,情况正好相反,这是由于揭棚时控制排水出口控制深度在 30~40 cm,能集中淋洗表层土壤中的盐分,而对于自由排水(暗管埋深 120 cm),用与控制排水相同的水量,淋洗了整个土层的盐分。另一方面在控制排水条件下排水流速慢,排水中盐分浓度大。从图 3 也可以看出,当采用相同的排水措施,加大灌溉量与常规灌溉量相比,土壤含盐量显著降低。

综合以上分析,在不揭棚条件下,与自由排水相比,控制排水更有利于控制表层土壤含盐量,但不利于控制整个 0~60 cm 土层的土壤含盐量,因此,采用控制排水时,应随着作物根系的生长下调排水管出口控制深度。另外,加大灌溉量,对于降低土壤含盐量具有一定作用。

3.2 揭棚时各方案的效果分析

揭棚有排水共有 4 种方案,各方案的指标见表 5。从表 5 可以看出,与不揭棚时相似,在排水措

表 4 不揭棚时各方案的效果指标

方案	土层土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)		0~20 cm 土层土壤含盐量超过		剖面土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)					
	0~20 cm	0~60 cm	1 200 mg/L 时间/d	2 400 mg/L 时间/d	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
BZC	1 489	1 409	2 240	380	1 552	1 427	1 420	1 403	1 356	1 295
BKC	1 265	1 289	1 921	0	1 279	1 250	1 266	1 289	1 316	1 331
BZD	1 339	1 282	1 999	123	1 387	1 290	1 294	1 284	1 245	1 194
BKD	1 200	1 228	1 655	0	1 209	1 190	1 208	1 231	1 257	1 272

注:土壤含盐量均值为 1999—2008 年共 10 a 的土壤含盐量的平均值;0~20 cm 土层的土壤含盐量超过 1 200 mg/L 和 2 400 mg/L 的时间是 10 a 内的累计值。下同。

表 5 揭棚时各方案的效果指标

方案	土层土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)		0~20 cm 土层土壤 含盐量超过 1 200 mg/L 时间/d	0~20 cm 土层土壤 含盐量超过 2 400 mg/L 时间/d	剖面土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)					
	0~20 cm	0~60 cm			10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
JZC	974	905	1 041	5	1 024	925	907	885	859	830
JKC	968	904	993	0	1 004	932	892	865	860	871
JZD	940	879	956	1	982	897	885	865	838	807
JKD	941	889	882	0	971	910	879	856	853	864

施相同时,加大灌溉量的土壤含盐量指标皆小于常规灌溉量的。与表 4 相比较也可以看出,在 6—9 月揭棚条件下加大灌溉量的土壤含盐量与常规灌溉量的差异比较小,而不揭棚条件下二者的差异则比较大,因为揭棚条件下通过降雨即可达到洗盐的效果。表 5 中的数据也表明 0~20 cm 土层的淋洗效果,控制排水的要优于自由排水的,而 0~60 cm 土层的淋洗效果,自由排水的要优于控制排水的,但差异不很明显,特别是在加大灌溉量的情况下。4 种揭棚方案的剖面土壤含盐量分布如图 4 所示。

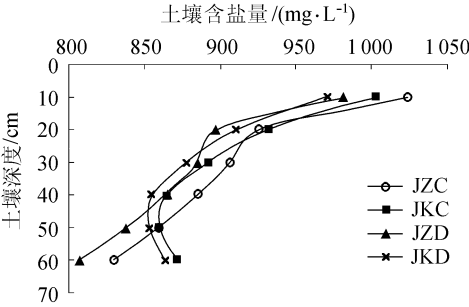


图 4 揭棚时剖面土壤含盐量分布

由图 4 可以看出,与不揭棚时相似,自由排水在 0~60 cm 的土壤含盐量随土壤深度的增加而减少,而控制排水在 0~50 cm 的土壤含盐量随土壤深度的增加而减少,在 50 cm 以下随土壤深度的增加而增加。在土壤表层,约在 50 cm 深度以上土壤中,控制排水的土壤盐含量与自由排水的相近,而在 50 cm 以下土壤中,控制排水的土壤含盐量明显高于自由排水的。揭棚与不揭棚时剖面土壤含盐量的变化趋势基本一致,但是控制排水的剖面土壤含盐量变化的拐点不同,这是因为在 6—9 月揭棚期间,控制排水的暗管出口控制深度 50~60 cm。而采用不揭棚时暗管出口控制深度仅为 30~40 cm。图 4 也可以反映加大灌溉量对于淋洗土壤盐分具有一定的效果。

综合以上分析可以得出,与不揭棚相似,在揭棚条件下控制排水在控制表层土壤含盐量方面要优于自由排水,然而对于整个 0~60 cm 土层来说,自由排水要优于控制排水。另外,加大灌溉量,对于控制土壤含盐量具有一定的作用。

3.3 揭棚措施对土壤含盐量的影响分析

4 种揭棚和不揭棚方案(JZC,JKC,BZD,BKD)

的剖面土壤含盐量分布如图 5 所示。

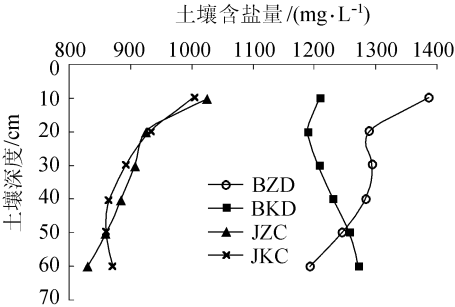


图 5 揭棚与不揭棚剖面土壤含盐量分布

从图 5 可以看出,BZD 和 BKD 是不揭棚时淋先盐分效果相对较好的两种方案,而 JZC 和 JKC 是揭棚时淋洗盐分效果相对较差的两种方案,即使如此,揭棚条件下土壤含盐量也要小得多。

由表 4 可以看出,不揭棚时 0~20 cm 和 0~60 cm 土层的土壤含盐量均值都在 1 200 mg/L 以上,从平均状况来说,已不适宜耐盐阈值小的蔬菜生长。表层土壤中,共有 2 000 d 左右的土壤含盐量超过 1 200 mg/L,在不加大灌溉且采用自由排水的情况下,有近 400 d 的土壤盐含量超过 2 400 mg/L。因此,如果大棚在高温多雨时节不揭棚,会使大棚的土壤含盐量过高,导致种植的蔬菜减产。

由表 5 可以看出,揭棚时 0~20 cm 和 0~60 cm 土层的土壤含盐量均值都在 1 000 mg/L 以下,从平均状况来说,能适宜耐盐阈值小的蔬菜生长。表层土壤中,仅 1 041 d 的土壤含盐量超过 1 200 mg/L,仅几天的土壤含盐量超过 2 400 mg/L。因此,如果大棚在高温多雨时节揭棚,对控制大棚土壤含盐量具有良好的效果。当灌溉量仅满足作物的腾发需求时,没有额外的水分下渗淋洗盐分,造成了土壤积盐。揭棚利用水淋洗土壤盐分,增加了降雨的利用率,能够最有效地控制土壤含盐量。

3.4 排水措施对土壤含盐量的影响分析

以上分析表明,有排水条件下,揭棚和加大灌溉量对控制土壤含盐量效果显著,现分析无排水条件下的土壤含盐量情况,各方案的效果指标比较如表 6 所示。由表 6 可以看出,无排水的大棚经过 40 a 耕作之后,0~20 cm 土层、0~60 cm 土层的土壤含盐量均值已经超过了大多数蔬菜的耐盐阈值,表层土

表 6 无排水与有排水各方案效果指标比较

方案	土层土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)		0~20 cm 土层土壤 含盐量超过 1 200 mg/L 时间/d	0~20 cm 土层土壤 含盐量超过 2 400 mg/L 时间/d	剖面土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)					
	0~20 cm	0~60 cm			10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm
JWD	3 785	3 113	3 653	3 560	3 994	3 575	3 360	3 111	2 671	1 967
JWC	3 796	3 128	3 653	3 573	4 001	3 593	3 377	3 123	2 683	1 996
JKD	941	889	882	0	971	910	879	856	853	864

表 7 各方案效果指标

方案	土层土壤含盐量均值/(mg·L ⁻¹)		0~20 cm 土层土壤 含盐量超过 1 200 mg/L 时间/d	0~20 cm 土层土壤 含盐量超过 2 400 mg/L 时间/d	年均 排水量/mm	SEW30/ (cm·d)	年均灌溉量/ mm
	0~20 cm	0~60 cm					
BZC	1 489	1 409	2 240	380	237.7	0.4	227
BKC	1 265	1 289	1 921	0	176.3	247.5	227
BZD	1 339	1 282	1 999	123	263.1	0.4	252
BKD	1 200	1 228	1 655	0	192.0	253.8	252
JZC	974	905	1 041	5	348.1	5.4	358
JKC	968	904	993	0	280.3	146.5	358
JZD	940	879	956	1	364.6	5.4	375
JKD	941	889	882	0	291.3	147.8	375

壤已经达到了中度盐渍化,几乎无法种植蔬菜。

3.5 大棚水管理方案的综合评价

大棚水管理方案中,既要使土壤不积盐,也要满足植物需要的合理的水分条件,则水管理达到的目标是:土壤含盐量均值尽可能小,0~20 cm 土层的土壤含盐量超过作物耐盐阈值的天数不可过多,SEW30 不超过 300 cm·d,排水量和灌溉量则越少越好,各方案的指标如表 7 所示。由表 7 可以看出,各种方案的 SEW30 均未超过 300 cm·d。揭棚处理的灌溉量和排水量明显多于不揭棚的,这是由于在揭棚时作物的腾发量比不揭棚时要大得多,虽然揭棚时有降雨的补充,但是降雨过于集中,大多排出。以上分析也说明了揭棚对于充分利用降雨淋洗土壤盐分防治土壤碱化的作用。表 7 中 BZC 和 BZD 的灌溉量和排水量指标表明:降水被大量排出,未得到充分利用,导致排水量大于灌溉量。

以防治大棚土壤盐碱化为主要目标,建议在 6—9 月揭棚,应当考虑在控制盐碱化时减少灌溉量和排水量,表 7 显示,控制排水条件下常规灌溉量为最理想的田间水管理方案,建议采用。

4 结 语

不采用排水措施,会使大棚内土壤盐渍化,影响蔬菜生长;在高温多雨时节通过揭棚的淋洗方式控制土壤盐分效果显著;通过加大灌溉定额以淋洗土壤盐分,可实现控盐的目的;对于控制表层土壤的盐分,控制排水效果好于自由排水,而对于控制 0~60 cm 土层整个剖面的盐分,则自由排水效果较好;在揭棚期间控制排水处理亦能使 0~60 cm 土层土壤含盐量满足多数蔬菜的生长要求。揭棚条件下采用

控制排水、常规灌溉量是拟定的各个大棚水管理方案中的最佳方案,建议在生产实际中推广。

参考文献:

[1] 施秀珠,奚振邦,朱建萍,等. 上海郊区蔬菜塑料大棚的土壤障碍问题[J]. 上海农业科技,1991(2):28-30.

[2] 范浩定,吴爱芳,周仕龙. 大棚蔬菜土壤盐渍化治理技术研究[J]. 长江蔬菜,2004(4):48-49.

[3] 杨建军,沈根祥,姚政,等. 灌水洗盐对设施农业中土壤养分的影响[J]. 上海农业学报,2004,20(2):63-66.

[4] 王少丽,王修贵,丁昆仑,等. 中国的农田排水技术进展与研究展望[J]. 灌溉排水学报,2008,27(1):108-111.

[5] SKAGGS R W. DRAINMOD reference report; methods for design and evaluation of drainage: water management systems for soils with high water tables[R]. North Carolina: North California State University,1990.

[6] GILLIAM J W, SKAGGS R W. Controlled drainage management guidelines for improving quality[M]. North Carolina: Cooperative Extension Service,1996.

[7] 刘建刚,罗纨,贾忠华,等. 从水盐平衡的角度分析控制排水在银南灌区实施的可行性[J]. 农业工程学报,2005,21(4):43-45.

[8] 陈林,王修贵,孙怀卫,等. 塑料大棚控制排水系统设计及水管理研究[J]. 节水灌溉,2011(10):60-64.

[9] KANDIL H M, SKAGGS R W, ABDEL DAYEM S, et al. DRAINMOD-S Water management model for irrigated arid lands, crop yield and applications[J]. Irrigation and Drainage Systems,1995(3):239-258.

[10] 王少丽,王兴奎,PRASHER S O,等. 应用 DRAINMOD 农田排水模型对地下水位和排水量的模拟[J]. 农业工程学报,2006,22(2):54-59.

(收稿日期:2012-01-16 编辑:周红梅)