

压砂地西瓜水肥耦合模型及优化组合方案

马波^{1,2,3}, 田军仓^{1,2,3}

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021;
3. 旱区现代农业水资源高效利用工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘要: 采用三因素五水平二次回归通用旋转组合设计方法, 在宁夏中部干旱带进行了压砂地西瓜水肥耦合试验, 结果表明: 在该试验条件下, 灌水定额对产量的影响极显著, 株距对产量影响较显著, 施氮量对产量无显著影响。水氮交互对产量有一定的影响效果, 低氮配以高水、中氮配以高水能够达到高产。并且经过水肥耦合模型模拟, 得到了实现不同产量目标的最佳水肥组合指标, 压砂地西瓜不同产量水平下的因素最优组合方案为: (1) 压砂地西瓜产量 12 000 ~ 15 000 kg/hm², 补水定额 48 ~ 61.5 m³/hm², 施氮量 24 ~ 31.5 kg/hm², 株距 1.7 ~ 1.9 m; (2) 压砂地西瓜产量 15 000 ~ 18 000 kg/hm², 补水定额 55.5 ~ 69 m³/hm², 施氮量 24 ~ 30 kg/hm², 株距 1.4 ~ 1.6 m; (3) 压砂地西瓜产量 18 000 ~ 21 000 kg/hm², 补水定额 58.5 ~ 72 m³/hm², 施氮量 24 ~ 30 kg/hm², 株距 1.2 ~ 1.3 m。

关键词: 西瓜; 压砂地; 水肥耦合; 水肥生产函数

中图分类号: S274; S651 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0024-06

为了克服恶劣的自然环境, 中卫市环香山地区群众针对该地气候条件特别适宜瓜类生长的这一特点种植压砂地西瓜、甜瓜^[1]。压砂地亦称砂田, 是我国西北干旱、半干旱地区独特的、传统的抗旱耕作形式(将直径为 2 ~ 5 cm 的冲积粗砾石平铺于地面 12 ~ 16 cm 厚, 种植西瓜或者甜瓜), 是劳动人民长期与干旱斗争, 为适应干旱少雨及盐碱不毛之地而创造的旱农耕作方法, 属土壤覆盖保墒技术之一。因起源于甘肃兰州, 故也称为兰州砂田、甘肃砂田^[2]。我国砂田主要分布在甘肃省中部, 以兰州市为中心的干旱、半干旱地区以及青海、新疆和宁夏的部分地区^[2]。在世界上其他降水稀少的地方也有砂田, 如法国的 Montpellier, 美国的 Texas, Montana 和 Colorado, 瑞士的 Chamoson 以及南非等^[3]。许多研究表明: 砂田具有减少蒸发和径流, 提高水分入渗和土壤温度, 阻止水土流失和土壤次生盐渍化的作用。砂田能有效地协调水、肥、气、热的矛盾, 有利于作物的高产、稳产和早熟^[4]。

到 2005 年, 宁夏中部干旱带砂田已发展至近 2 万公顷, 初步形成了香山、常乐、兴仁、高崖、喊叫水、鸣沙、白马 7 个 0.13 万公顷以上的压砂瓜基地。到 2006 年总面积发展达到 3.3 万公顷, 到 2008 年发展到 6.7 万公顷。随着种植面积的不断扩大, 压砂地产业已成为当地农民脱贫致富的支柱产业。

据调查, 压砂地西瓜目前在栽培方面存在 4 大

问题:

(1) 施肥难。由于给地面覆盖上一层砂石, 使得施肥的时候操作难度增大, 这样就会导致施肥效率和效益有所降低。

(2) 补水难。据调查, 压砂区大多数地下水的矿化度较高, 并不适宜阶段性补水灌溉的水质要求。有部分农民在极度干旱的情况下拉井水补灌, 结果造成砂田盐碱化。为此, 从甘肃引入少量的黄河水进行抗旱补灌。然而, 相对当地经济状况而言, 每方水 1 元线的成本较高, 所以说高效补水是一个重要的问题。

(3) 合理密植难。当地群众在种植压砂地西瓜过程中存在种植密度混乱的问题, 这是由于施肥和补水问题导致了群众在种植密度这个问题上没有科学的认识, 一般情况先由于有限的水分和养分导致群众现有的种植密度偏小, 这样一来造成砂地资源严重浪费, 增加了农民的种植成本。

又由于水分和养分是作物生长的重要物质基础, 水分和养分之间以及各养分之间存在着相互激励的动态平衡关系。水分和养分过多既浪费了大量的资源, 又影响作物的产量。

因此, 充分利用水肥之间的相互作用, 达到以肥调水、以水促肥和提高灌溉水利用效率是提高宁夏中部干旱带压砂地作物产量以及降低生产成本的重要手段。

收稿日期: 2009-11-05

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAQ0005501); 国家自然科学基金项目(50769007); 教育部高校博士点科研基金(20060749001)

作者简介: 马波(1981—), 男, 宁夏彭阳人, 在读博士, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: alxborna-34@163.com。

通讯作者: 田军仓(1958—), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: alxtjc@163.com。

针对以上问题,本文通过试验研究,提出不同产量下的水肥优化组合方案。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

本试验点位于宁夏中卫市香山乡红圈子村尹西北,北纬 $36^{\circ}56'$,东经 $105^{\circ}15'$,海拔 1 697.8 m。试验田土壤属砂壤土,土壤干容重为 1.37 g/cm^3 ,田间持水率为 23.3%(质量比)。土壤全盐量为 1.58 g/kg ,全氮为 0.68 g/kg ,全磷为 0.64 g/kg ,全钾为 26.3 g/kg ,速效氮为 44 mg/kg ,速效磷为 8.2 mg/kg ,速效钾为 143 mg/kg ,有机质为 9.45 g/kg ,pH 值为 8.04。

1.2 试验设计与实施

试验采用三因素二次回归通用旋转组合设计方法^[5],研究单种西瓜覆膜条件下,不同灌水量、施氮量和种植密度及其水肥耦合对西瓜生长发育、生理及产量的影响,提出不同产量下的水、氮、密度优化组合方案。因素水平编码见表 1。

表 1 因素水平编码
Table 1 Code of factor level

水平 Level	灌水定额 x_1 Irrigation quota (m^3/hm^2)	纯氮 x_2 Pure nitrogen (kg/hm^2)	株距 x_3 Planting distance (m)
+7	90.0	40.5	2.0
+1	78.0	36.0	1.8
0	60.0	27.0	1.5
-1	42.0	19.0	1.2
-7	30.0	13.5	1.0

试验处理在田间随机排列,小区长 30 m,宽 2 m,面积为 60 m^2 。各处理采用管灌补水方式。西瓜品种为金城 5 号,于 2006 年 4 月 22 日播种,4 月 23 日覆膜,5 月 20 日圆棵,6 月 1 日伸蔓,6 月 30 日按照设计方案施肥,试验施用颗粒复合肥:N、P、K 含量为 15%,施肥方法为穴施。

5 月 30 日、6 月 19 日、6 月 28 日、7 月 3 日、7 月 6 日、7 月 14 日按照设计方案采用管灌补水,补水时间依据西瓜生育期需水的关键时间设计。

1.3 观测项目及方法

1.3.1 生育阶段观测 对西瓜生长的发育阶段进行观测,方法为整个处理试验区出现某一特征的 50% 为标准。

1.3.2 蔓长观测 对西瓜蔓长进行观测,方法为挂牌用钢卷尺测定主蔓根部到蔓梢的长度。

1.3.3 纵横径观测 挂牌,用直尺测定纵横径。

1.3.4 土壤含水率观测 观测土壤含水率,进行作物耗水量计算,方法为采用烘干法测定土壤含水率。

1.3.5 产量观测 最终测量西瓜产量,方法为将每个处理的西瓜用天平称量其重量,然后依据每公顷的种植密度折算产量。

2 结果与分析

2.1 压砂地西瓜水肥耦合模型的建立与检验

2.1.1 压砂地西瓜水肥耦合模型的建立 压砂地西瓜水肥耦合模型可用二次回归旋转模型表示^[6]。

根据表 2 产量结果,编制程序上机计算,求得压砂地西瓜水肥耦合回归模型为:

$$y = 16893.0 + 1038x_1 + 148.5x_2 - 2563.5x_3 - 321x_1x_2 - 150x_1x_3 - 96x_2x_3 - 397.5x_1^2 - 232.5x_2^2 + 397.5x_3^2$$

式中, y 为压砂地西瓜产量(kg/hm^2);其他符号意义见表 2。

2.1.2 压砂地西瓜水肥耦合模型的检验 对回归方程进行检验,经计算得: $F_1 = 2.37 < F_{(1-\alpha)}(f_{LF}, f_{\text{误}}) = F_{0.9}(5, 5) = 3.45$, $F_2 = 8.92 > F_{1-\alpha}(f_{\text{回}}, f_{\text{回}}) = F_{0.95}(9, 10) = 3.02$,说明回归方程显著。而且因素与产量的复相关系数 $R = 0.94$,则表明水肥耦合回归模型进行产量预报,具有较高的可靠性。

偏回归系数显著性检验与产量作用评价:经计算得常数项和一次项中的灌水定额 x_1 对产量的影响极显著(* * *);一次项中的株距对产量影响较显著(*),由于没有可供参考的适合当地条件的补水定额,试验设计的补水定额值偏低,加之连续严重干旱,少量的补水对于试验中的水氮交互作用不是十分明显,但从 t 检验可以看出水氮还是有一定的交互作用,其余系数均不显著,于是方程可简化为: $y = 16893.0 + 1038x_1 - 2563.5x_3 - 321x_1x_2$,由此简化回归方程的第 2 至第 4 项容易看出,水的一次项、株距的一次项以及水和氮的交互项对压砂地西瓜产量反应敏感。

2.2 压砂地西瓜水肥耦合模型分析

2.2.1 主因素效应 由于无量纲的线性编码变换后,偏回归系数已经不受因素取值的大小和单位的影响,即已标准化,其大小可以直接反映变量对产量的影响程度,综合考虑偏回归系数及 t 检验的结果,可得出试验中各因素对产量影响的顺序为灌水定额(x_1) > 株距(x_3) > 施氮量(x_2)。

表 2 三因素五水平二次通用旋转组合设计结构矩阵(x)与试验产量
Table 2 The structure matrix(x) and test yield of the current rotary combination
design method of square regression with three factors and five levels

处理号 Treatment No.	常数列 x_0 Constant sequence	灌溉定额 x_1 Irrigation quota	氮 x_2 Nitrogen	株距 x_3 Planting distance	水氮 x_1x_2 Water & nitrogen	水株距 x_1x_3 Planting distance and water	氮株距 x_2x_3 Planting distance and nitrogen	水二次项 x_1^2 Quadratic term of water	氮二次项 x_2^2 Quadratic term of nitrogen	株距二次项 x_3^2 Quadratic term of planting distance	产量 Yield (kg/hm ²)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13674.0
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	19599.0
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	14022.0
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	19761.0
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	13219.5
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	18742.5
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	12480.0
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	17419.5
9	1	1.682	0	0	0	0	0	2.828	0	0	19216.5
10	1	-1.682	0	0	0	0	0	2.828	0	0	13878.0
11	1	0	1.682	0	0	0	0	0	2.828	0	17149.5
12	1	0	-1.682	0	0	0	0	0	2.828	0	16872.0
13	1	0	0	1.682	0	0	0	0	0	2.828	14967.0
14	1	0	0	-1.682	0	0	0	0	0	2.828	22627.5
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17857.5
16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15292.5
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16446.0
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17169.0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16816.5
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17496.0

2.2.2 单因素效应 将回归模型中的水、氮和株距三因子中的两个固定在零水平,求得单因素对产量的回归子模型如下:

灌水量: $y = 16893.0 + 1038x_1 - 397.5x_1^2$;
施氮量: $y_2 = 1126.2 + 9.9x_2 - 15.5x_2^2$;
株距: $y = 16893.0 - 2563.5x_3 + 397.5x_3^2$ 。

根据上述偏回归子模型,分别令 $dy_1/dx_1 = 0$, $dy_2/dx_2 = 0$, $dy_3/dx_3 = 0$, 可得 $x_1 = 1.31$, $x_2 = 0.32$, $x_3 = 3.2$ 。由于 $d^2y_1/dx_1^2 < 0$, $d^2y_2/dx_2^2 < 0$, 故 $x_1 = 1.31$, $x_2 = 0.32$ 时产量有最大值,且最高产量分别为 $y_1 = 17\,571\text{ kg/hm}^2$ 和 $y_2 = 16\,915.5\text{ kg/hm}^2$ 。由于 $d^2y_3/dx_3^2 > 0$, 故 $x_3 = 3.2$ 时取得最小值,无最大值。

根据上述不同偏回归子模型,也可分别获得各因素在不同水平下的产量预测值,见表 3,其变化趋势见图 1、图 2 和图 3。

从图 1 看出,压砂地西瓜产量与灌水量关系在试验区间内呈上凸抛物线型。当灌水定额由 $30\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (-1.682 水平)增加到 $84\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (1.31 水

平)时,产量由 $14\,022\text{ kg/hm}^2$ 增加到 $17\,571\text{ kg/hm}^2$,即增加单位灌水量时的产量增加值为 10.95 kg/m^3 ;当灌水量高于 $84\text{ m}^3/\text{hm}^2$ (1.31 水平),产量开始由 $17\,571\text{ kg/hm}^2$ 缓慢下降为 $17\,514\text{ kg/hm}^2$,即增加单位水量时的产量减小值为 1.58 kg/m^3 。

表 3 西瓜水、氮、株距三因子的产量预测值(kg/hm²)
Table 3 Forecasting watermelon yield with three factors
of water, nitrogen and planting distance

水平 Level	灌水对产量的 预测 With water	氮肥对产量的 预测 With nitrogen	株距对产量的 预测 With planting distance
+γ	17514.0	16485.0	13705.5
+1	17533.5	16809.0	14727.0
0	16893.0	16893.0	16893.0
-1	15457.5	16512.0	19854.0
-γ	14022.0	15985.5	22329.0

从图 2 看出,压砂地西瓜产量与施氮量关系在试验区间内呈上凸抛物线型,当施氮量由 13.5 kg/hm^2 (-1.682 水平)增至 29.6 kg/hm^2 (0.32 水平)

时,产量由 15 985.5 kg/hm² 增加到 16 917 kg/hm²,即增加单位施氮量时的产量增加值为 58.03 kg/kg;当施氮量超过 29.6 kg/hm² (0.32 水平)达到 40.5 kg/hm² (+1.682 水平)时,产量由 16 917 kg/hm² 减小到 16 485 kg/hm²,即增加单位施氮量时的产量减少值为 39.45 kg/kg。

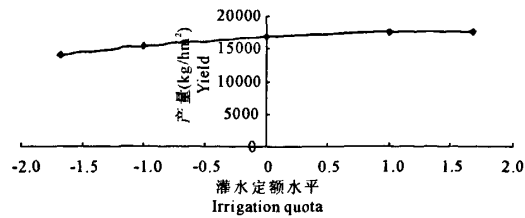


图 1 西瓜产量与灌水量的关系

Fig.1 The relationship between watermelon yield and irrigation requirement

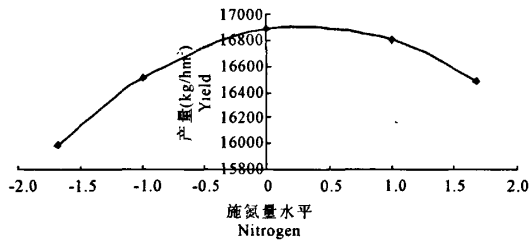


图 2 西瓜产量与施氮量的关系

Fig.2 The relationship between watermelon yield and nitrogen requirement

从图 3 看出,压砂地西瓜产量与株距关系在试验区间内也呈下凸抛物线型。当株距由 1 m (-1.682 水平)增至 2 m (+1.682 水平)时,产量由

22 329 kg/hm² 降至 13 705.5 kg/hm²,即随着株距的增加,产量呈下降趋势,单位株距的产量降低值 574.9 kg/m。

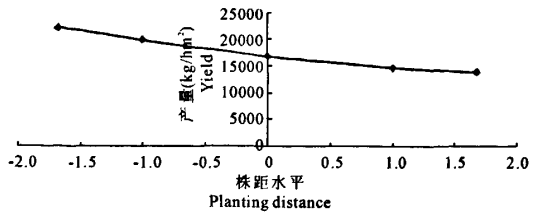


图 3 西瓜产量与株距的关系

Fig.3 The relationship between watermelon yield and planting distance

2.2.3 因素间的交互作用 由回归方程交互项的系数 *t* 检验结果可知,灌水量和施氮量具有一定的交互作用,将 *x*₃ 固定在零水平,得下列水氮交互方程:

$$y = 16893.0 + 1038x_1 + 148.5x_2 - 321x_1x_2 - 397.5x_1^2 - 232.5x_2^2$$

根据计算,求得交互作用见表 4。

由表 4 可知,若施氮量一定,当施氮量 < 0 水平 (54 kg/hm²) 时,产量随补水量的增加而增加;当施氮量 ≥ 0 水平 (54 kg/hm²) 时,产量随着补水量在一定范围增加而增加,超过一定限度时,产量反而减小。若补水量一定时,当水量 = -1.682 水平时,产量随着施氮量的增加而增加,当补水量 ≥ -1 水平 (30 m³/hm²) 时,产量随着施氮量增加而增加,超过一定限度时,产量反而减小。这说明低氮配以高水、中氮配以高水产量高。

表 4 西瓜补水量与施氮量的交互作用
Table 4 The interaction of water and nitrogen

项目 Item	施氮量 (<i>x</i> ₃) Nitrogen					统计参数 Statistic parameter		
	-1.682	-1	0	1	+1.682	$\bar{X}$	<i>s</i>	<i>C_v</i>
灌水量 Water (<i>x</i> ₁)	-1.682	12207.0	13101.0	14022.0	14478.0	14523.0	13666.5	66.41
	-1	14010.0	14755.5	15457.5	15694.5	15589.5	15102.0	47.46
	0	15985.5	16512.0	16893.0	16809.0	16485.0	16537.5	23.76
	+1	17166.0	17473.5	17533.5	17128.5	16585.5	17178.0	25.11
	+1.682	17515.5	17673.0	17514.0	16890.0	16198.5	17158.5	41.00
统计参数 Statistic parameter	$\bar{X}$	15376.5	15903	16284	16200	15876		
	<i>s</i>	149.29	129.68	101.34	74.01	56.69		
	<i>C_v</i>	0.146	0.122	0.093	0.069	0.053		

2.2.4 最优组合方案 根据已建立的压砂地水肥耦合优化数学模型,编制计算机程序,在 -1.682 ~ +1.682 之间取 7 个水平 (-1.682, -1, -0.5, 0,

+0.5, +1, +1.682), 上机进行不同目标下的最优组合方案模拟。通过模拟求得产量在 12 000 ~ 15 000 kg/hm² 的有 107 个组合;产量在 15 000 ~

18 000 kg/hm² 的有 114 个组合;产量在 18 000 ~ 21 000 kg/hm² 的有 74 个组合。其主要产量区间的水、氮和株距最优组合方案见表 5、表 6 和表 7,表中均值、标准差和 95% 置信区间的计算公式从略。

表 5 西瓜产量 12 000 ~ 15 000 kg/hm² 寻优方案及频率
Table 5 The plan and frequency for optimizing of watermelon yield 12 000 ~ 15 000 kg/hm²

水平号 Level	x ₁		x ₂		x ₃	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
- 1.682	21	0.1963	16	0.1495	0	0
- 1.0	21	0.1963	15	0.1402	1	0.0093
- 0.5	18	0.1682	14	0.1308	3	0.0280
0.0	15	0.1402	13	0.1215	9	0.0841
0.5	12	0.1121	15	0.1402	19	0.1776
1.0	9	0.0841	16	0.1495	35	0.3271
1.682	11	0.1028	18	0.1682	40	0.3738
合计次数 Total	107	1	107	1	107	1
均值 Mean	- 0.2974		0.0455		1.0213	
标准差 St deviation	0.4298		0.4572		0.2590	
95% 置信区间 Confidence interval	0.1001 ~ 3.1731		0.4683 ~ 1.5962		1.2608 ~ 1.7345	
措施范围 Range	48 ~ 61.5		24 ~ 31.5		1.7 ~ 1.9	

表 6 西瓜产量 15 000 ~ 18 000 kg/hm² 寻优方案及频率
Table 6 The plan and frequency for optimizing of watermelon yield 15 000 ~ 18 000 kg/hm²

水平号 Level	x ₁		x ₂		x ₃	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
- 1.682	12	0.1053	16	0.1404	2	0.0175
- 1.0	15	0.1316	17	0.1491	10	0.0877
- 0.5	18	0.1579	17	0.1491	22	0.0000
0.0	16	0.1579	18	0.1316	40	0.3509
0.5	16	0.1404	16	0.1404	29	0.2544
1.0	19	0.1667	15	0.1316	11	0.0965
1.682	18	0.1404	15	0.1579	0	0.1930
合计次数 Total	114	1	114	1	114	1
均值 Mean	0.1148		- 0.0367		0.0100	
标准差 St deviation	0.4290		0.4323		0.2400	
95% 置信区间 Confidence interval	- 0.2819 ~ 0.5116		- 0.4364 ~ 0.3631		- 0.2120 ~ 0.2319	
措施范围 Range	55.5 ~ 69		24 ~ 30		1.4 ~ 1.6	

3 结 论

通过试验研究,在一定程度上掌握了当地压砂地西瓜生长的需水需肥规律以及种植密度,从试验可以得到如下结论:

1) 压砂地西瓜产量与灌水量关系在试验区间内呈上凸抛物线型。当灌水定额由 30 m³/hm² (- 1.682 水平)增加到 84 m³/hm² (1.31 水平)时,产量由 14 022 kg/hm² 增加到 17 571 kg/hm²,当灌水量高于 84 m³/hm² (1.31 水平),产量开始由 17 571

kg/hm²缓慢下降为 17 514 kg/hm²,可见,该试验条件下,补水量为 84 m³/hm² 较为适宜;

2) 压砂地西瓜产量与施氮量关系在试验区间内呈上凸抛物线型,当施氮量由 13.5 kg/hm² (- 1.682 水平)增至 29.6 kg/hm² (0.32 水平)时,产量由 15 985.5 kg/hm² 增加到 16 917 kg/hm²,当施氮量超过 29.6 kg/hm² (0.32 水平)达到 40.5 kg/hm² (+ 1.682 水平)时,产量由 16 917 kg/hm² 减小到 16 485 kg/hm²,可见,该试验条件下,施氮量为 29.6 kg/hm² 较为适宜;

表 7 西瓜产量 18 000 ~ 21 000 kg/hm² 寻优方案及频率
Table 7 The plan and frequency for optimizing of watermelon yield 18 000 ~ 21 000 kg/hm²

水平号 Level	x ₁		x ₂		x ₃	
	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency	次数 Times	频率 Frequency
-1.682	5	0.0676	9	0.1216	12	0.1622
-1.0	9	0.1216	10	0.1351	38	0.5135
-0.5	8	0.1757	11	0.1486	24	0.3243
0.0	11	0.1486	11	0.1216	0	0.0000
0.5	14	0.1892	12	0.1622	0	0.0000
1.0	14	0.1892	11	0.1486	0	0.0000
1.682	13	0.1081	9	0.1622	0	0.0000
合计次数 Total	74	1	74	1	74	1
均值 Mean	0.2899		0.0203		-0.9484	
标准差 St deviation	0.4060		0.4182		0.1601	
95% 置信区间 Confidence interval	-0.0856 ~ 0.6655		-0.3665 ~ 0.4070		-1.0965 ~ -0.8003	
措施范围 Range	58.5 ~ 72.0		24.0 ~ 30.0		1.2 ~ 1.3	

3) 压砂地西瓜产量与株距关系在试验区间内也呈下凸抛物线型。当株距由 1 m (- 1.682 水平) 增至 2 m (+ 1.682 水平) 时, 产量由 22 329 kg/hm² 降至 13 705.5 kg/hm², 即随着株距的增加, 产量呈下降趋势, 结合当地情况, 在可操作性和水肥条件合理的情况下选择株距为 1.5 m;

4) 在本试验条件下, 各因素影响压砂地西瓜产量的顺序为补水量 > 株距 > 施氮量; 在各因素交互作用下, 补水量与施氮量的交互作用较显著, 并经交互作用分析说明低氮配以高水、中氮配以中水产量高。

压砂地西瓜不同产量水平下的因素最优组合方案为: (1) 压砂地西瓜产量 12 000 ~ 15 000 kg/hm², 补水定额 48 ~ 61.5 m³/hm², 施氮量 24 ~ 31.5 kg/hm², 株距 1.7 ~ 1.9 m; (2) 压砂地西瓜产量 15 000 ~ 18 000 kg/hm², 补水定额 55.5 ~ 69 m³/hm²,

施氮量 24 ~ 30 kg/hm², 株距 1.4 ~ 1.6 m; (3) 压砂地西瓜产量 18 000 ~ 21 000 kg/hm², 补水定额 58.5 ~ 72 m³/hm², 施氮量 24 ~ 30 kg/hm², 株距 1.2 ~ 1.3 m。

参 考 文 献:

[1] 王 芳, 李友宏, 赵天成, 等. 关于宁夏压砂西瓜持续发展的思考[J]. 宁夏农林科技, 2005, 5: 60—61.
[2] 杨来胜, 席正英, 李 玲, 等. 砂田的发展及其应用研究(综述)[J]. 甘肃农业, 2005, (7): 72.
[3] Modaihash A S, Horton R, Kirkham D. Soil water evaporation suppression by sand mulches[J]. Soil Science, 1985, 139: 357—361.
[4] 王亚军, 谢志奎, 赵志山, 等. 甘肃砂田西瓜覆膜补灌效应研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 300—305.
[5] 田军仓, 韩丙芳, 李应海, 等. 膜上灌玉米水肥耦合模型及其最佳组合方案研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(5—6): 396—398.
[6] 马逢时, 何良材, 余明书, 等. 应用概率统计(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.

(英文摘要下转第 35 页)

- [11] Gardner W R, Mayhugh M S. Solution and tests of the diffusion equation for the more moist of water in soil[J]. Soil Sci Soc Amer proc, 1958,22:197—201.
- [12] 费良军,吴军虎,王文焰,等. 充分供水条件下单点膜孔入渗湿润性研究[J]. 水土保持学报,2001.15(5):137—140.
- [13] 张振华,杨润亚,蔡焕杰,等. 土壤质地、密度及供水方式对点源入渗特性的影响[J]. 农业系统科学与综合研究,2004,20(2):81—85.

Study on effects of different dripper discharge on wetting soil characteristic of drip irrigation

ZHAO Ying-na¹, WANG You-ke^{1,2}, MA Li-hui^{1,2}, LI Peng-hong¹, DUAN Xue-song¹, ZHANG Lu-jun¹

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The experiment was conducted to investigate the effect of different dripper discharge and irrigation amount on the characteristic value of soil wetted volume and the course of soil water distribution with drip irrigation in Jujube demonstration base of mountain micro-irrigation in Mizhi. The results show that horizontal and vertical advance distance of soil wetted front conforms to power function of infiltration time for point source drip irrigation and calculated value is all above 0.99; the soil wetted volume and the distribution of soil water content in wetted soil controlled by dripper discharge and irrigation amount. The soil wetted volume reduced and average moisture content increase with dripper discharge increase under same irrigation amount. Some models were presented to predict horizontal and vertical wetting front and volume of wetted soil.

Keywords: drip irrigation; characteristic value of wetted volume; dripper discharge; irrigation amount

(上接第29页)

Model of coupling water with fertilizer in gravel-mulched watermelon field and its optimum combination scheme

MA Bo^{1,2,3}, TIAN Jun-cang^{1,2,3}

(1. College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Ningxia Research Center of Technology on Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. Center of Engineering Research on Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agricultural in Arid Regions, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Based on the current rotary combination design method of square regression with three factors and five levels, experiment of coupling water with fertilizer in gravel-mulched watermelon field was conducted in central arid region of Ningxia. The results show that irrigation quota is the main factor affecting watermelon yield, and the planting distance was the second factor, while the nitrogen quantity was the third one. Water and nitrogen quantity interaction has certain effect, and it will get high yield when low nitrogen quantity and high irrigation quota are combined, middle nitrogen quantity and high irrigation quota combined. Optimum combination indexes of water and fertilizer on different watermelon yield were gained through the model simulation and experiment. The optimal combination scheme of factors on different yield level of watermelon in gravel-mulched field is: (1) When watermelon yield is 12 000 ~ 15 000 kg/hm², irrigation quota is 48 ~ 61.5 m³/hm², nitrogen quantity is 24 ~ 31.5 kg/hm², and planting distance is 1.7 ~ 1.9 m; (2) When watermelon yield is 115 000 ~ 18 000 kg/hm², irrigation quota is 55.5 ~ 69 m³/hm², nitrogen quantity is 24 ~ 30 kg/hm², and planting distance is 1.4 ~ 1.6 m; (3) When watermelon yield is 18 000 ~ 21 000 kg/hm², irrigation quota is 58.5 ~ 72 m³/hm², nitrogen quantity is 24 ~ 30 kg/hm², and planting distance is 1.2 ~ 1.3 m. All these can provide reference for water-saving irrigation of watermelon in gravel-mulched field in central arid region of Ningxia.

Keywords: watermelon; gravel-mulched field; coupling water with fertilizer; function of water and fertilizer with yield