

# 作物分布对灌溉水流推进阻力实验研究

王浩岚, 张升堂, 李红, 王雪瑞, 曲军霖  
(山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:** 现代化农业中,农作物在田面有规律分布,会对灌溉水流的推进产生影响,作物在不同分布间距的情况下,水流阻力会有不同的变化。通过建立水力学模型,试验分析作物分布间距及灌溉水深变化对水流阻力的影响作用。结果表明:随着平均水深的不断增大,沿程阻力系数在整体上呈增大态势。不同坡度下均有沿程阻力系数随作物分布间距减小而增大的规律。且水深愈大不同植物分布间距沿程阻力系数的差异愈大。实验结果对合理布局作物分布,使灌溉水流在作物间有效可控地推进具有一定价值。

**关键词:** 农作物分布; 分布间距; 灌溉水流; 推进阻力; 沿程阻力系数

中图分类号:TV131.2<sup>+</sup>2; S157.4<sup>+</sup>33 文献标识码:A 文章编号:1672-643X(2017)03-0244-05

## Experimental study on irrigation water flow propulsion resistance affected by crops distribution

WANG Haolan, ZHANG Shengtang, LI Hong, WANG Xuerui, QU Junlin

(College of Geological Science & Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

**Abstract:** The crop distribution with different spacing has an impact on the irrigation water flow resistance. The effect of crop spacing and irrigation depth on water propulsion resistance was analyzed based on the hydraulic model. The results show that the coefficient resistance along the land increased with the increase of average water depth. The resistance coefficient along the land increased with the decrease of the crop spacing at all of the different slopes. And the effects were more significant when the water was deeper. The experimental results have a significance to choose the rational spacing of the crop distribution, which makes the irrigation water flow in an effective and controllable way.

**Key words:** crop distribution; distance distribution; irrigation water flow; propulsion resistance; resistance coefficient along the land

## 1 研究背景

随农业的全程机械化,采用数控技术进行种植、培育、施肥、灌溉、收割等全程管理,使作物植株在田间具有精确的位置分布,整齐有序的植株排列是农业现代化的标志。不同的生产模式都有着相对应的种植规范:规定的播深、垄宽、垄高、行距以及株距等<sup>[1-4]</sup>。那么现代农田种植农田作物在整齐行列分布,在灌溉过程中会对灌溉水流产生怎样的影响作用有待研究。

目前有相关研究涉及植物与水流的相互作用影响

问题。吴福生等<sup>[5]</sup>(2008)用水槽模拟明渠水流,模拟柔、刚性植物分析水流垂向流速分布特性;闫旭峰等<sup>[6]</sup>(2012)通过试验研究得出:由于植被阻水及水流混掺效应,随着植被刚度及密度的增大,Darcy-Weisbach阻力系数也随之增大;拉尼亚<sup>[7]</sup>(2015)通过水槽试验,研究了不同密度对水流阻力的影响;Zhang Shengtang等<sup>[8]</sup>(2016)认为非淹没植被的分布模式使地表水流阻力产生各向异性,并通过实验验证建立了坡面流阻力各向异性理论;Ding Wenfen等<sup>[9]</sup>通过试验得出证明了植被分布模式对坡面流的水力特性有着重要影响;张冠华等<sup>[10]</sup>(2014)通过室内模拟实验研究了茵陈蒿不同

收稿日期:2017-03-04; 修回日期:2017-05-24

基金项目:国家自然科学基金项目(40971021、41471025);山东省自然科学基金项目(ZR2014DM004);山东省重点研发计划(攻关)项目(2016GSF117027);国家级大学生创新项目;山东科技大学地科学院创新实验教育项目

作者简介:王浩岚(1996-),男,陕西凤翔人,在读本科生,研究方向为水文与水资源工程。

通讯作者:张升堂(1970-),男,陕西凤翔人,博士后,副教授,硕士生导师,主要从事水文水资源方面的研究。

分布格局对坡面流阻力的影响,结果表明带状格局、棋盘状格局和小斑块格局增强坡面流阻力的作用显著高于长条状格局,戴矜君等<sup>[11]</sup>(2016)通过野外径流小区放水试验,研究发现植株行排列方式较随机排列增阻作用更明显。Stephan<sup>[12]</sup>(2002)研究指出坡面流中植被存在时水流流速的变化主要取决于植被的类型、密度和配置格局。张升堂等<sup>[13]</sup>(2015)研究了植被在淹没与非淹没状态下曼宁糙率的变化情况,得出在非淹没状态下,在淹没水深较小时,糙率随着平均水深的增加而减小,而淹没水深较大时,糙率趋向于一个稳定值。赵璐等<sup>[14]</sup>(2017)通过不同黑麦草的种植密度对坡面阻力影响的研究,得到在弗劳德数相同时,糙率系数随着坡度的增加而减小。可以看出研究作物不同的排列方式对水流特性的影响具有现实意义<sup>[15]</sup>。

针对农作物精确分布特征,建立如下水力模型,模拟农作物分布,并调节分布间距、模拟地表坡度,分析研究在不同坡度下,作物分布间距对水流阻力影响作用,以期为农田合理种植提供理论依据。

## 2 实验装置及方法

### 2.1 实验装置

由变坡矩形水槽、水箱、测压计、尾门等组成。水槽长5 m、宽0.4 m、深0.3 m。水槽底部铺设有机玻璃板,有机玻璃表面有直径为0.003 m的钻孔用来放置塑料棒来模拟刚性植物。试验铺设段的长度为3 m,在试验段长度范围内选取2个断面测量数据,分别记作1、2,每个断面布设测压管观测水位。塑料棒的纵横间距为0.06 m,与水流方向的夹角为90°。水槽底板下放置钢梁以便调整水槽坡度,可变坡的范围是0~3.0%。在水槽与水箱连接处有流量控制阀门,流量变化范围为0~0.105 m/s。在矩形水槽末端设有回流池,水流流经水槽后进入回流池,然后由水泵将回流池中的水抽入水箱中,用以实现水流循环,节约用水。

### 2.2 实验方法

目前多数这方面的研究都是将植被进行简化<sup>[16-18]</sup>,因此本试验也概化了作物类型,在有机玻璃板表面插上塑料棒来模拟刚性植物,用测压计测量出2个断面的水位。首先控制塑料棒的走向固定,在坡度为0时改变塑料棒的间距为60 mm×60 mm、120 mm×60 mm以及120 mm×120 mm,在每种间距下通过调节流量阀门变换水深,对不同的流量进行记录;然后调节坡度分别为1.0%、1.5%,并对不同的流量进行记录。最后进行计算,分别对水

力学要素水深 $h$ 与沿程阻力系数 $\lambda$ 的关系进行分析进而研究出不同间距下农作物对水流阻力的作用。

### 2.3 相关水力参数计算:

(1) 断面平均流速 $v$ :根据水流连续性方程,断面平均流速 $v$ 可以根据实测数据断面宽度和水流深度 $h$ 来求解,其计算公式为:

$$v = \frac{Q}{h \cdot b_v} \quad (1)$$

式中: $Q$ 为过水断面的流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $h$ 为水流深度, $\text{m}$ ;  $b_v$ 为试验水槽的断面宽度, $\text{m}$ 。

(2) 湿周 $\chi$ :根据水流的深度 $h$ 和试验水槽的宽度可以求解出湿周 $\chi$ 的大小,其计算公式为:

$$\chi = 2h + b_v \quad (2)$$

式中: $\chi$ 为湿周, $\text{m}$ 。

(3) 水力半径 $R$ :过水断面面积 $A$ 与湿周 $\chi$ 的比值称为水力半径,其计算公式为:

$$R = \frac{b_v \cdot h}{\chi} \quad (3)$$

式中: $R$ 为水力半径, $\text{m}$ ; 过水断面面积为 $A$ , $A = b_v \cdot h$ ,单位为 $\text{m}^2$ 。

(4) 沿程水头损失 $h_f$ :在试验中,水槽地面是平整的,不存在局部损失,或者说局部损失相对于沿程损失来说很小,可以忽略不计;并且大气压强没有发生改变,因此压强水头的增量为0。由此可得,沿程水头损失的计算公式为:

$$h_f = (z_1 - z_2) + (v_1^2 - v_2^2)/2g \quad (4)$$

式中: $z_1, z_2$ 为初、末位置的水头高度, $\text{m}$ ;  $v^2/2g$ 为流速水头,  $(v_1^2 - v_2^2)/2g$ 为初、末位置的流速水头差, $\text{m}$ ;  $g$ 为重力系数,大小等于 $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

(5) 沿程阻力系数 $\lambda$ :与沿程水头损失 $h_f$ 、水力半径 $R$ 有关,其计算公式为:

$$\lambda = (h_f \cdot R \cdot 2g)/(l \cdot v^2) \quad (5)$$

式中: $l$ 为试验水槽的长度, $\text{m}$ 。

## 3 实验结果与分析

在试验过程中,通过调节流量的变化测量两个测压管的水位 $h_1, h_2$ ,并将 $h_1, h_2$ 和流量 $Q_{\text{平均}}$ 进行记录,通过式(1)计算出水流速度 $v_{\text{平均}}$ ,在不同的水流深度及水槽的断面宽度下通过式(2)可以计算出湿周 $\chi$ ,在得出水流深度 $h$ 、水槽的断面宽度 $b_v$ 和湿周 $\chi$ 后,通过式(3)计算出水力半径 $R$ 的大小,由测压高度得出初末位置的水头高度,再通过式(4)得出沿程水头损失 $h_f$ ,最后由式(5)可以得出沿程阻力系数 $\lambda$ 的值,如表1、表2、表3所示,即为试验所得的原

始数据及处理数据;为了更加清晰的看到由于水流阻力的改变沿程阻力系数的变化情况,绘制了 $\lambda - h$  曲线图,如图1、图2、图3所示。

表1 坡度为0时试验数据

分布 间距/mm	$h_1 /$ m	$h_2 /$ m	$Q_{\text{平均}} /$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$v_{\text{平均}} /$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$R_{\text{平均}} /$ m	$h_f /$ m	$\lambda$
120 × 120	0.0149	0.0140	0.0006	0.0131	0.0135	0.0008	0.0535
	0.0200	0.0193	0.0009	0.0176	0.0179	0.0007	0.0400
	0.0255	0.0248	0.0013	0.0221	0.0223	0.0008	0.0444
	0.0380	0.0370	0.0024	0.0312	0.0316	0.0009	0.0589
	0.0401	0.0391	0.0026	0.0327	0.0331	0.0009	0.0575
	0.0451	0.0440	0.0032	0.0361	0.0364	0.0010	0.0590
	0.0498	0.0485	0.0037	0.0390	0.0395	0.0012	0.0687
	0.0567	0.0556	0.0046	0.0435	0.0438	0.0010	0.0565
	0.0653	0.0640	0.0057	0.0485	0.0488	0.0012	0.0632
	0.0748	0.0731	0.0070	0.0535	0.0540	0.0016	0.0799
120 × 60	0.0861	0.0849	0.0085	0.0596	0.0599	0.0011	0.0557
	0.0935	0.0922	0.0097	0.0631	0.0634	0.0012	0.0586
	0.0980	0.0961	0.0104	0.0649	0.0653	0.0018	0.0834
	0.0090	0.0069	0.0004	0.1194	0.0076	0.0017	0.0480
	0.0129	0.0111	0.0006	0.1240	0.0113	0.0016	0.0602
	0.0230	0.0212	0.0013	0.1476	0.0199	0.0016	0.0773
	0.0321	0.0306	0.0021	0.1695	0.0271	0.0014	0.0671
	0.0372	0.0348	0.0026	0.1811	0.0305	0.0022	0.1058
	0.0400	0.0381	0.0029	0.1899	0.0327	0.0017	0.0815
	0.0449	0.0429	0.0034	0.1959	0.0360	0.0018	0.0893
60 × 60	0.0522	0.0500	0.0044	0.2133	0.0407	0.0020	0.0934
	0.0591	0.0570	0.0052	0.2242	0.0450	0.0019	0.0896
	0.0647	0.0620	0.0059	0.2313	0.0481	0.0025	0.1160
	0.0759	0.0729	0.0074	0.2473	0.0542	0.0028	0.1274
	0.0870	0.0840	0.0091	0.2661	0.0599	0.0028	0.1215
	0.0948	0.0918	0.0104	0.2778	0.0636	0.0028	0.1184
	0.0105	0.0082	0.0004	0.1101	0.0089	0.0020	0.0768
	0.0154	0.0132	0.0007	0.1228	0.0133	0.0020	0.0908
	0.0180	0.0158	0.0009	0.1300	0.0156	0.0019	0.0952
	0.0218	0.0199	0.0011	0.1353	0.0189	0.0017	0.0934
0.0265	0.0242	0.0015	0.1449	0.0225	0.0021	0.1178	
0.0308	0.0281	0.0019	0.1600	0.0257	0.0025	0.1290	
0.0379	0.0350	0.0025	0.1750	0.0308	0.0026	0.1395	
0.0439	0.0409	0.0032	0.1895	0.0350	0.0027	0.1395	
0.0522	0.0493	0.0041	0.2033	0.0405	0.0027	0.1361	
0.0642	0.0602	0.0055	0.2223	0.0474	0.0037	0.1844	
0.0721	0.0679	0.0065	0.2336	0.0518	0.0039	0.1919	
0.0872	0.0823	0.0086	0.2547	0.0595	0.0045	0.2165	
0.1015	0.0962	0.0108	0.2722	0.0661	0.0049	0.2283	

试验过程中,首先调整水槽坡度为0,然后依次改变有机玻璃板上塑料棒的分布间距,从120 mm × 120 mm到120 mm × 60 mm,再到60 mm × 60 mm,并且记录测压管的水头高度,最后通过上述计算得到表1中的数据。

在表1中,水槽坡度为0时,不论作物的分布间

距为多大,随着平均水深的不断增大,沿程阻力系数呈明显的增大趋势。

为了更加直观的得到坡度为0时,沿程阻力系数 $\lambda$ 与水头高度 $h$ 之间的关系,同时比较在坡度相同、分布间距不同时沿程阻力系数 $\lambda$ 随水头高度 $h$ 的变化趋势,绘制了 $\lambda - h$ 曲线,如图1。

由图1可得,水槽坡度为0,作物的分布间距不同,随着水深的不断增大,沿程阻力系数值及其增大的速率有所不同,分布间距为120 mm × 120 mm的沿程阻力系数最小,并且增大的速率比较缓慢,趋于平稳;而作物分布间距为60 mm × 60 mm时,其沿程阻力系数最大并且增大的速率最大;当分布间距为120 mm × 60 mm时,沿程阻力系数值以及增大的速率都趋于另外两者之间。

再次试验中,将坡度调整到1.0%,再依次改变塑料棒分布间距,记录下水头高度的原始数据,通过计算得到所需的物理量,如表2所示。

由表2可得,在水槽坡度为1.0%时,无论作物的分布间距如何改变,随着平均水深的不断增大,沿程阻力系数在整体趋势上呈增大的态势,但是可以大致看出当水深达到0.02时,沿程阻力系数开始逐渐减小,但减小的幅度很小并且在水深达到0.03 ~ 0.04时,沿程阻力系数又开始回升且不再减小。

根据得到表2的数据,再次绘制沿程阻力系数 $\lambda$ 与水头高度 $h$ 之间的关系图,即图2所示。

图2可知,当水槽的坡度为1.0%,对于作物的不同分布间距,随着水深的不断增大,沿程阻力系数值及其增大的速率与图1大致相同,但在图2中有一段明显的下降段,当水深大致达到0.02时,沿程阻力系数开始逐渐减小,不同的分布间距使得沿程阻力系数减小的趋势与速率也不同,分布间距为120 mm × 120 mm时,沿程阻力系数值减小的趋势较大且减小值最大;而当分布间距为60 mm × 60 mm时,沿程阻力系数减小的趋势和减小值都很小;分布间距为120 mm × 60 mm的沿程阻力系数的变化趋势和变化值趋于另外两者之间。

继续改变试验水槽的坡度至1.5%,通过改变模拟作物的分布间距进行试验并记录测压管水头高度 $h_1$ 、 $h_2$ ,计算所需物理量的值,得到表1。

在表3中,水槽坡度为1.5%时,其试验数据变化复杂,但依旧可以判断出随着水深的不断增大,沿程阻力系数在整体趋势上呈增大的态势。

在坡度为1.5%时,绘制沿程阻力系数 $\lambda$ 与水头高度 $h$ 的曲线图,如图3所示。

表 2 坡度为 1.0% 时试验数据

分布	$h_1 /$	$h_2 /$	$Q_{\text{平均}} /$	$v_{\text{平均}} /$	$R_{\text{平均}} /$	$h_f /$	$\lambda$
间距/mm	m	m	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	m	m	
120 × 120	0.0058	0.0075	0.0009	0.3528	0.0064	0.0165	0.0444
	0.0102	0.0115	0.0018	0.4239	0.0103	0.0158	0.0473
	0.0113	0.0135	0.0021	0.4188	0.0117	0.0159	0.0552
	0.0123	0.0178	0.0024	0.4134	0.0140	0.0158	0.0674
	0.0135	0.0202	0.0026	0.4068	0.0155	0.0149	0.0730
	0.0154	0.0237	0.0030	0.4005	0.0177	0.0136	0.0783
	0.0178	0.0303	0.0037	0.4136	0.0213	0.0115	0.0748
	0.0194	0.0357	0.0043	0.4235	0.0240	0.0094	0.0659
	0.0229	0.0437	0.0052	0.4358	0.0282	0.0062	0.0482
	0.0393	0.0563	0.0068	0.3682	0.0384	0.0028	0.0417
	0.0475	0.0634	0.0078	0.3601	0.0433	0.0028	0.0487
	0.0562	0.0712	0.0091	0.3608	0.0482	0.0030	0.0586
	0.0655	0.0803	0.0104	0.3616	0.0533	0.0028	0.0599
120 × 60	0.0084	0.0081	0.0012	0.3646	0.0079	0.0147	0.0458
	0.0108	0.0133	0.0018	0.3699	0.0114	0.0153	0.0664
	0.0123	0.0160	0.0020	0.3572	0.0132	0.0146	0.0790
	0.0134	0.0191	0.0023	0.3586	0.0150	0.0138	0.0841
	0.0154	0.0234	0.0027	0.3677	0.0176	0.0126	0.0858
	0.0177	0.0282	0.0032	0.3685	0.0205	0.0107	0.0847
	0.0224	0.0380	0.0043	0.3851	0.0260	0.0071	0.0653
	0.0259	0.0413	0.0048	0.3784	0.0286	0.0062	0.0646
	0.0334	0.0477	0.0056	0.3573	0.0336	0.0052	0.0714
	0.0429	0.0562	0.0068	0.3470	0.0396	0.0049	0.0842
	0.0519	0.0648	0.0081	0.3495	0.0451	0.0048	0.0917
	0.0623	0.0744	0.0096	0.3536	0.0509	0.0051	0.1076
	0.0674	0.0794	0.0104	0.3570	0.0536	0.0050	0.1105
60 × 60	0.0041	0.0034	0.0004	0.2634	0.0037	0.0143	0.0396
	0.0052	0.0048	0.0006	0.2805	0.0049	0.0147	0.0475
	0.0096	0.0087	0.0012	0.3365	0.0087	0.0147	0.0592
	0.0102	0.0105	0.0014	0.3414	0.0098	0.01500	0.0660
	0.0118	0.0128	0.0017	0.3523	0.0116	0.0149	0.0728
	0.0135	0.0152	0.0020	0.3474	0.0134	0.0147	0.0850
	0.0166	0.0203	0.0026	0.3499	0.0169	0.0137	0.0987
	0.0203	0.0293	0.0035	0.3607	0.0220	0.0107	0.0947
	0.0264	0.0372	0.0044	0.3539	0.0273	0.0084	0.0963
	0.0347	0.0460	0.0053	0.3362	0.0335	0.0068	0.1057
	0.0465	0.0563	0.0068	0.3358	0.0408	0.0073	0.1381
	0.0582	0.0668	0.0084	0.3368	0.0476	0.0079	0.1730
	0.0693	0.0776	0.0101	0.3439	0.0537	0.0080	0.1889

表 3 坡度为 1.5% 时试验数据

分布	$h_1 /$	$h_2 /$	$Q_{\text{平均}} /$	$v_{\text{平均}} /$	$R_{\text{平均}} /$	$h_f /$	$\lambda$
间距/mm	m	m	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	m	m	
120 × 120	0.0021	0.0041	0.0004	0.3642	0.0030	0.0293	0.0349
	0.0039	0.0054	0.0007	0.3955	0.0045	0.0262	0.0395
	0.0069	0.0073	0.0013	0.4480	0.0068	0.0232	0.0413
	0.0080	0.0084	0.0014	0.4421	0.0079	0.0230	0.0483
	0.0090	0.0093	0.0017	0.4776	0.0087	0.0229	0.0458
	0.0099	0.0104	0.0021	0.5085	0.0097	0.0231	0.0451
	0.0139	0.0142	0.0034	0.6025	0.0131	0.0229	0.0433
	0.0170	0.0205	0.0042	0.5617	0.0171	0.0249	0.0706
	0.0210	0.0324	0.0053	0.5253	0.0234	0.0230	0.1020
	0.0250	0.0444	0.0068	0.5343	0.0293	0.0192	0.1031
	0.0280	0.0562	0.0082	0.5459	0.0342	0.0145	0.0871
	0.0320	0.0663	0.0094	0.5466	0.0387	0.0093	0.0630
	0.0369	0.0731	0.0105	0.5364	0.0423	0.0055	0.0420
120 × 60	0.0052	0.0052	0.0008	0.3650	0.0050	0.0224	0.0443
	0.0102	0.0099	0.0018	0.4518	0.0095	0.0221	0.0540
	0.0111	0.0104	0.0020	0.4636	0.0102	0.0217	0.0536
	0.0131	0.0114	0.0025	0.5054	0.0115	0.0205	0.0483
	0.0141	0.0133	0.0027	0.5013	0.0128	0.0217	0.0578
	0.0150	0.0138	0.0030	0.5140	0.0134	0.0213	0.0566
	0.0170	0.0165	0.0035	0.5200	0.0154	0.0221	0.0658
	0.0200	0.0265	0.0042	0.4578	0.0208	0.0218	0.1131
	0.0235	0.0356	0.0052	0.4629	0.0256	0.0192	0.1199
	0.0249	0.0405	0.0057	0.4636	0.0279	0.0172	0.1167
	0.0302	0.0538	0.0074	0.4796	0.0343	0.0119	0.0929
	0.0428	0.0679	0.0095	0.4518	0.0430	0.0067	0.0734
	0.0521	0.0744	0.0105	0.4274	0.0478	0.0044	0.0901
60 × 60	0.0072	0.0081	0.0009	0.2999	0.0073	0.0225	0.0962
	0.0089	0.0096	0.0012	0.3320	0.0088	0.0225	0.0941
	0.0102	0.0107	0.0015	0.3546	0.0099	0.0225	0.0926
	0.0116	0.0124	0.0018	0.3769	0.0113	0.0225	0.0940
	0.0139	0.0145	0.0022	0.3810	0.0132	0.0223	0.1066
	0.0163	0.0174	0.0028	0.4120	0.0155	0.0224	0.1070
	0.0211	0.0232	0.0038	0.4357	0.0199	0.0220	0.1211
	0.0241	0.0347	0.0047	0.4092	0.0255	0.0179	0.1425
	0.0276	0.0436	0.0066	0.4873	0.0300	0.0172	0.1138
	0.0354	0.0538	0.0070	0.4099	0.0362	0.0110	0.1239
	0.0437	0.0610	0.0080	0.3938	0.0413	0.0102	0.1426
	0.0498	0.0657	0.0087	0.3840	0.0446	0.0105	0.1671
	0.0570	0.0728	0.0098	0.3831	0.0489	0.0102	0.1781

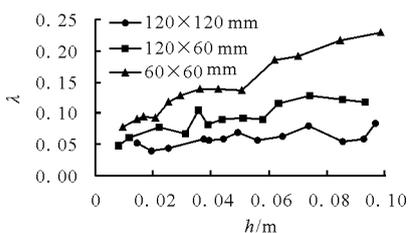


图 1 坡度为 0 时  $\lambda - h$  曲线

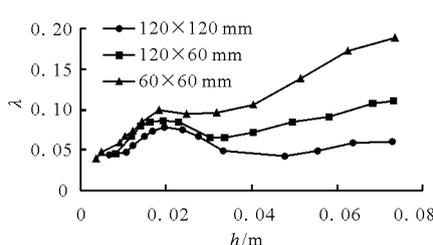


图 2 坡度为 1.0% 时  $\lambda - h$  曲线

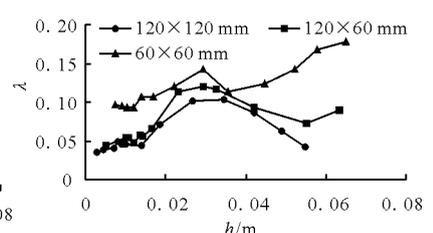


图 3 坡度为 1.5% 时  $\lambda - h$  曲线

由图 3 可以看出,水槽坡度为 1.5%,与图 1、图 2 相同,随着水深的不断增大,沿程阻力系数在整体

趋势上呈增长态势,但其实验数据变化复杂,大部分数据都集中在平均水深为 0~0.015 m 之间,并且沿

程阻力系数随平均水深的变化也不是非常明显;在水深为0.015~0.03 m时,沿程阻力系数迅速增大;之后又开始减小,直到水深超过0.06 m之后再次恢复增长;单独看每条曲线的变化没有明显的规律可循,但整体而言,分布间距为60 mm×60 mm的沿程阻力系数值在同一水深处最大,分布间距为120 mm×120 mm的沿程阻力系数值最小,分布间距为120 mm×60 mm时沿程阻力系数值趋于另外两者之间。

对比图1、图2、图3,无论水槽的坡度多大,无论农作物的分布间距如何改变,随着平均水深的不断增大,尽管在沿程阻力系数增大的过程中可能会出现减小的现象,但在整体上依旧呈增大的趋势;并且农作物对灌溉水流阻力作用大小的差异也随着水深的增大而增大,并且由图1、图2、图3均可以看出:分布间距为60 mm×60 mm的 $\lambda-h$ 曲线位于另外两条之上,分布间距为120 mm×60 mm的 $\lambda-h$ 曲线次之,分布间距为120 mm×120 mm的 $\lambda-h$ 曲线位于最下面,即分布间距为60 mm×60 mm时,沿程阻力系数最大,分布间距为120 mm×120 mm时,沿程阻力系数最小,分布间距为120 mm×60 mm的沿程阻力系数趋于之间。

## 4 结 论

通过实验研究作物田间分布变化情况对灌溉水流的阻力影响,得到以下结论:

(1)对于相同坡度,农作物分布行间距不变时,水流所受的阻力随着灌溉水流深度的增大而增大;

(2)对于相同坡度,农作物植株分布间距越大,水流沿程阻力系数越小,即农作物分布间距愈大的农田,灌溉水流在其表面推进时受到的阻力作用将愈小;

(3)不同分布间距的农作物对灌溉水流阻力作用大小的差异将随着水深的增大而增大。

这些规律将对合理化规划农作物分布具有指导意义,同时对目前水土侵蚀严重地区的保护性农田种植方式具有借鉴意义。但由于本研究在理想化条件下进行,且实验坡度相对较小,其研究规律在较大坡度上的适用性有待进一步研究。

## 参考文献:

[1] 洪丹. 玉米高光效保护性耕作全程农机化技术[J]. 江

西农业,2016(13):122

[2] 张陆海,冯宝元,丁宏斌. 甘肃省马铃薯生产全程机械化技术模式分析[J]. 农业机械,2016(6):119-121.

[3] 尹愈强,杨轶凡,崔世恒,等. 植物不同排列方式对明渠水流影响的试验研究[J]. 中国水运,2014,14(3):169-171.

[4] 吴宁,王旭洋. 结合现代农业技术,探究现代农田水利建设[J]. 黑龙江水利科技,2014(8):254-256.

[5] 吴福生,蒋树海. 性植物与刚性植物紊流特性研究[J]. 水动力学研究与进展,2008,23(2):158-165.

[6] 闫旭峰,周苏芬,黄尔,等. 植被条件下坡面薄层水流动力学特性试验研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2012,44(2):26-30.

[7] 拉尼亚. 非淹没植被水流特性研究[D]. 南京:河海大学,2015.

[8] Zhang Shengtang, Liu Yin, Zhang Jingzhou, et al. Anisotropic flow resistance theory and experimental verify on partially submerged crop vegetation[J]. Water Science & Technology Water Supply,2017,17(1):24-31.

[9] Ding Wenfeng, Li Mian. Effects of grass coverage and distribution patterns on erosion and overland flow hydraulic characteristics[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(6):1-14.

[10] 张冠华,刘国彬,易亮. 植被格局对坡面流阻力影响的试验研究[J]. 水土保持学报,2014,28(4):55-59.

[11] 戴矜君,程金花,张洪江,等. 植被覆盖下坡面流阻力变化规律[J]. 水土保持学报,2016,30(2):44-49.

[12] Stephan U, Gutknecht D. Hydraulic resistance of submerged flexible vegetation[J]. Journal of Hydrology, 2002,269(1):27-43.

[13] 张升堂,梁博,张楷. 植被分布对地表糙率影响[J]. 水土保持通报,2015,35(5):45-48.

[14] 赵璐,孙菊英,张璐,等. 不同黑麦草种植密度对坡面流的阻力特性影响研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(2):101-105.

[15] 高延良,董旭,杨帆,等. 坡面植被水流水动力学特性研究[J]. 水力发电学报,2016,35(9):38-47.

[16] 闫静,唐洪武,田志军,等. 植物对明渠流速分布影响的试验研究[J]. 水利水运工程学报,2011(4):138-142.

[17] Noarayanan L, Murali K, Sundar V. Manning's "n" coefficient for flexible emergent vegetation in tandem configuration[J]. Journal of Hydroenvironment Research, 2012, 6(1):51-62.

[18] 吴福生. 含植物明渠水动力特性研究[D]. 南京:南京水利科学研究院,2009.