

薄壁微喷带组合均匀度及铺设间距试验研究

王金毅¹, 杨路华^{1,2*}, 苟万里¹, 邸志刚¹

(1.天津农学院 水利工程学院, 天津 300384; 2.天津市农业水利技术工程中心, 天津 300384)

摘要:【目的】研究薄壁微喷带组合均匀度及最佳铺设间距。【方法】选取市场常用的 N44 mm 微喷带, 开展不同压力下微喷带喷洒强度、均匀度和喷洒宽度试验, 利用 Surfer 软件克里金插值法按照水量组合原理对数据进行网格化处理, 在 1.0~2.0 R (喷洒宽度) 范围内, 分析微喷带组合喷洒强度、组合均匀度, 确定微喷带合理组合间距。【结果】发现单管微喷带喷洒强度随喷洒距离增大呈双峰或单峰分布, 喷洒宽度也随压力的增大而增大。组合喷洒强度随铺设间距的增大而减小; 组合均匀度随铺设间距增大呈“大-小-大-小”的趋势, 当微喷带铺设间距为 1.6 R 时, 组合均匀度达到峰值。【结论】针对市场上常用的折径 44 mm 微喷带, 发现当铺设间距为 1.8 R 与 1.9 R 时, 组合喷洒强度较小, 组合均匀度较大, 满足规范要求。

关键词: 薄壁微喷带; 喷洒宽度; 铺设间距; 组合均匀度; 组合喷洒强度

中图分类号: S275.5

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019100

王金毅, 杨路华, 苟万里, 等. 薄壁微喷带组合均匀度及铺设间距试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2): 72-77, 83.
WANG Jinyi, YANG Luhua, GOU Wanli, et al. Experimental study on uniformity of combination and the paving spacing for thin wall micro spray belt[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 72-77, 83.

0 引言

微喷带结合了喷灌与滴灌的优势且造价低廉, 可将水、肥均匀地喷洒到田间土壤中。微喷带可减少水资源浪费, 提高灌溉水利用效率, 不仅可以实现精量灌溉, 而且便于水肥一体化, 形成灌溉、施肥、施药的集约化新模式^[1-3]。

微喷带水量分布均匀性是衡量灌水质量和喷孔水力性能的重要指标, 而铺设间距对微喷带水量分布有很大的影响, 是微喷灌系统规划设计的重要参数。杨坤等^[4]针对小麦宽苗带种植模式下满足灌水均匀度目标的最大轮灌面积和微喷灌管网优化投入问题, 研究该种植模式下的微喷带铺设及优化布置方法。王一博等^[5]以微喷带单管水量分布试验数据为基础, 通过对试验数据直接叠加进行计算得到不同组合间距微喷带喷洒均匀度。徐袁博等^[6]为研究微喷带布置间距与灌水量的影响发现较大的微喷带布置间距增加了灌水时间, 投入产量比主要与微喷带布置间距因素关系较大。白珊珊等^[7]以不同类型微喷带为研究对象, 发现喷孔单斜列布置的微喷带, 可组合铺设来提高水量分布均匀性; 而喷孔均匀布置的微喷带, 通过组合铺

设并不能显著提高水量分布均匀性。王新坤等^[8]提出一种基于遗传算法的双向毛管最佳支管位置的优化设计方法, 该模型与算法能确定最佳支管位置。李援农等^[9]研究在不限定管网系统面积的情况下建立了单向毛管田间管网、双向毛管田间管网及自压微灌骨干管网的优化设计数学模型, 可同时完成相应管网的优化布置和优化设计且能得到最佳控制面积。杨路华等^[10]利用 Surfer 软件计算了喷(微)灌在喷头间距等于或小于喷洒宽度情况下的均匀度。袁寿其等^[11]利用 MATLAB 软件绘制出水量分布图, 同时通过插值叠求出各网格点总降水深, 从而得出不同组合间距下的全射流喷头组合均匀度。崔利华等^[12]采用常用 5 种插值方法的数学模型, 分析了不同计算方法对各喷头组合均匀度的影响规律。刘晓阳等^[13]分析微喷头并建立以投资为目标函数, 以喷洒强度和组合均匀度为约束条件的优化模型, 得出合适的安装高度、组合间距。Marjang 等^[14]在测试喷头均匀性的试验中研究了雨量筒不等距间隔情况下喷头组合均匀度的计算方法。Sayyadi^[15]利用低压折射式喷头分析工作压力、喷嘴直径和安装高度等因素对喷头喷洒宽度影响。

上述研究多集中在微喷带均匀度、喷头或微喷头等旋转灌水器组合均匀度和组合间距, 缺乏对多孔微喷带喷洒宽度及铺设间距的研究。为此, 选取市场上常用的 3 种折径 44 mm 微喷带, 开展单管微喷带喷洒强度以及喷洒宽度试验研究, 分析微喷带组合喷洒强度、均匀度, 探讨不同压力下微喷带的适宜铺设间

收稿日期: 2019-06-18

基金项目: 水利部海河水利委员会项目(TNHP2018001); 天津市科学技术局科技支撑重点项目(18YFZCSF00650)

作者简介: 王金毅(1994-), 男, 天津人。硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 873815466@qq.com

通信作者: 杨路华(1970-), 男, 河北内丘人。教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: yangluhua@126.com

距，为农业灌溉提供一定技术支持。

1 试验材料与设计

1.1 试验材料

试验场地为天津市农业水利技术工程中心农田水循环试验基地。选取国内农业上常用的薄壁软塑料微喷带，材质为聚乙烯，呈黑色，折径为 N44 mm，孔径分别为 0.5、0.6、0.7 mm，对应孔数为 3、3、7 孔，对应孔组间距为 240、196、202 mm 的微喷带进行试验，为便于对不同类型的微喷带进行分析比较，对 3 种微喷带进行编号，分别为：NY/T 44-240-0.5-3、NY/T 44-196-0.6-3、NY/T 44-202-0.7-7。编号物理意义如图 1 所示。

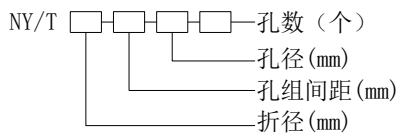


图 1 微喷带类型标记图

Fig.1 Micro-spraying belt type labeling

1.2 试验设计

试验装置主要由稳压水泵、压力表、流量计、雨量筒等组成。待测微喷带样本有 3 种，折径均为 N44 mm，综合考虑边界影响和沿程水头损失因素，测试样本长度选取 5 m。工作压力在 0.04~0.06 MPa 分 3 个等级。微喷带架高 150 mm，与雨量筒等高。微喷带正面向上铺设，保证微喷带 2 侧喷洒均匀。雨量筒布置在微喷带一侧，垂直微喷带方向布置 5 条射线，射线间距 50 cm，射线上雨量筒布置间距 60 cm，确保雨量筒数量足够覆盖微喷带喷洒区域。雨量筒为圆柱形，受水内径为 225 mm，高度为 150 mm。测试时间 15 min，用量筒测量喷洒水量，每个压力处理试验重复 3 次。具体试验布置见图 2。

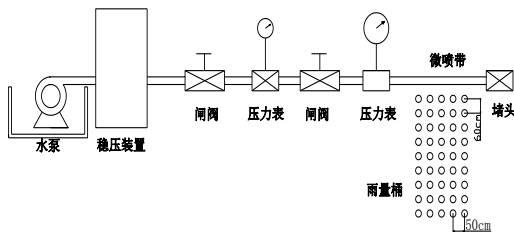


图 2 微喷带试验装置示意图

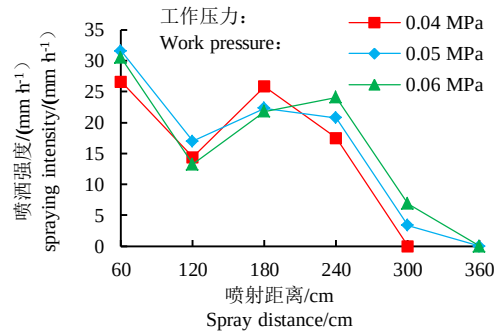
Fig.2 Schematic diagram of micro-spraying belt test equipment

2 薄壁微喷带喷洒强度及喷洒宽度分析

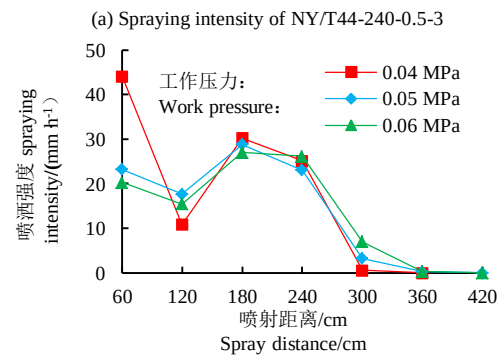
2.1 单管微喷带喷洒强度分析

微喷带喷洒强度见图 3。微喷带喷洒强度随喷射距离呈现双峰或单峰分布规律。如 NY/T 44-196-0.6-3 在 0.05 MPa 下，喷洒强度由 60 cm 处的 23.17 mm/h，减少为 120 cm 处的 17.67 mm/h，之后再增加到 180

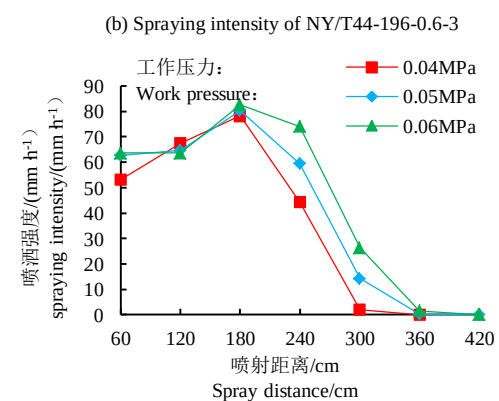
cm 处的 28.76 mm/h，再减少至末端的 0 mm/h。微喷带喷洒强度与孔径和孔数呈正相关关系。随着孔径和孔数的增加，喷洒强度显著增加，且孔数影响大于孔径。在工作压力 0.05 MPa，喷射距离为 180 cm 处时，NY/T 44-240-0.5-3，NY/T 44-196-0.6-3、NY/T 44-202-0.7-7 的喷洒强度分别是 22.33、28.76、80.32 mm/h。不同压力下微喷带喷洒强度变化没有明显规律，工作压力增加导致微喷带喷洒水量增加，另一方面，也增加了喷洒宽度和喷洒面积，因此喷洒强度随工作压力变化不明显。



(a) NY/T44-240-0.5-3 喷洒强度



(b) NY/T44-196-0.6-3 喷洒强度



(c) NY/T 44-202-0.7-7 喷洒强度

(c) Spraying intensity of NY/T 44-202-0.7-7

图 3 单管微喷带喷洒强度变化图

Fig.3 Change of spraying intensity in single tube micro-spraying belt

2.2 单管微喷带喷洒宽度确定

参照《中华人民共和国农业行业标准 农业灌溉设备-微喷带》（NY/T1361—2007）确定微喷带的喷

洒宽度^[16],如果处于最外侧列中集水桶的灌水强度全部低于 0.13 mm/h,则该整列为无效列,其余为有效列。本试验中,微喷带喷洒宽度(R)为雨量筒中的水深 h 为 0.13 mm/h 的点到微喷带中心线的平面垂直距离,即为不同微喷带在特定工作压力下的喷洒宽度,计算式为:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i, \quad (1)$$

式中: L_i 为第 i 条射线上喷洒强度等于 0.13 mm/h 的点到微喷带中心线的平面垂直距离 (m); R 为微喷

带的喷洒宽度 (m); n 为射线条数。根据式 (1) 计算不同型号的微喷带喷洒宽度见表 1。微喷带喷洒宽度随着压力的增大而增大。NY/T 44-240-0.5-3,工作压力由 0.04 MPa 增加到 0.05 MPa,喷洒宽度由 2.98 m 增加到 3.37 m,增幅达 13.1%,由 0.05 MPa 增加到 0.06 MPa,喷洒宽度由 2.98 m 增加到 3.56 m,增幅达 5.6%。NY/T 44-196-0.6-3、NY/T 44-202-0.7-7 微喷带工作压力由 0.04 MPa 增加到 0.05 MPa 和由 0.05 MPa 增加到 0.06 MPa,喷洒宽度增幅分别为 18.2%和 0.8%、14.6%和 4.7%。

表 1 喷洒宽度 R 计算表Table 1 Spray width R calculation

m

微喷带型号 Type of micro-spraying belt	压力 Pressure/MPa	射线条数 Ray number (i)					喷洒宽度 Spray width/m
		1	2	3	4	5	
NY/T 44-240-0.5-3	0.04	2.94	2.97	2.98	2.99	3.00	2.98
	0.05	3.22	3.29	3.32	3.46	3.56	3.37
	0.06	3.53	3.54	3.55	3.58	3.60	3.56
NY/T 44-196-0.6-3	0.04	3.02	3.05	3.07	3.09	3.11	3.07
	0.05	3.57	3.61	3.63	3.65	3.69	3.63
	0.06	3.64	3.65	3.66	3.67	3.68	3.66
NY/T 44-202-0.7-3	0.04	3.09	3.12	3.13	3.21	3.25	3.16
	0.05	3.57	3.61	3.62	3.63	3.67	3.62
	0.06	3.72	3.78	3.79	3.81	3.85	3.79

3 微喷微带组合铺设间距影响因素分析

3.1 微喷带组合喷洒强度分析

在不同压力下以单管微喷带的最大射程(喷洒宽度 R)为下限,以 2 管之间的最大铺设间距 $2R$ 为上限,以 $0.1R$ 为基准,在 0.04~0.06 MPa 分 3 个等级,分别对 NY/T 44-240-0.5-3、NY/T 44-196-0.6-3、NY/T 44-202-0.7-7 3 条微喷带的喷洒强度进行组合,

组合喷洒强度计算结果见表 2。由表 2 可知,折径为 44 mm 微喷带组合喷洒强度随铺设间距的增大而减小,随微喷带孔数的增大而增大;但工作压力的增大对组合喷洒强度的变化影响不明显。当铺设间距为 $1.7R$ 与 $1.8R$ 时,组合喷洒强度平均减幅最大,分别为 12.3%、15.0%;当铺设间距为 $1.2R$ 与 $2.0R$ 时,组合喷洒强度平均减幅最小,分别为 0.9%、1.4%。

表 2 微喷带组合喷洒强度计算结果

Table 2 Calculation results of combined spraying intensity of micro-spray belt

mm/h

微喷带型号 Type of micro-spraying belt	压力 Pressure/MPa	R	$1.1R$	$1.2R$	$1.3R$	$1.4R$	$1.5R$	$1.6R$	$1.7R$	$1.8R$	$1.9R$	$2.0R$
NY/T 44-240-0.5-3	0.04	33.71	28.73	28.29	26.35	23.88	22.85	21.51	19.52	17.24	15.61	15.35
	0.05	31.93	29.2	28.26	25.09	23.06	21.92	20.32	18.34	15.7	14.02	14.64
	0.06	32.24	28.22	27.06	24.38	22.74	21.65	19.94	17.8	15.66	14.38	14.87
NY/T 44-196-0.6-3	0.04	37.09	35.58	37.16	31.58	26.73	27.39	27.51	25.15	21.97	18.32	17.06
	0.05	27.49	27.75	26.17	23.92	22.97	22.5	19.82	16.76	13.54	12.28	12.84
	0.06	27.49	25.77	25.77	23.71	23.07	22.49	20.49	17.6	14.11	12.67	12.82
NY/T 44-202-0.7-7	0.04	82.15	74.53	75.88	72.91	69.08	64.81	58.57	50.34	43.22	37.05	37.74
	0.05	80.56	75.71	77.02	72.09	68.18	64.05	56.79	48.69	40.57	36.75	37.59
	0.06	89.51	83.23	81.88	76.39	72.65	67.54	60.48	51.64	44.02	40.16	41.59

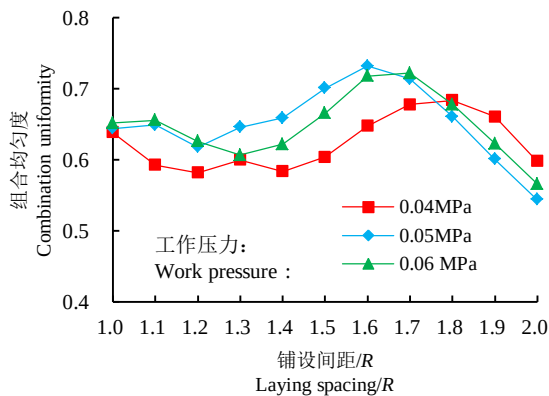
3.2 微喷带组合均匀度分析

根据 NY/T 44-240-0.5-3、NY/T 44-196-0.6-3、NY/T 44-202-0.7-7 单管微喷带喷洒强度试验数据,通过克里斯琴森均匀度计算方法计算微喷带组合均匀度结果(表3),并以铺设间距为横坐标,以组合均匀度为纵坐标绘制数型见图4。由图4可知,折径为44 mm的微喷带在铺设间距为1.6 R时,组合均匀度达到峰值;当铺设间距为1.4 R时,组合均匀度随压力的增大先增大后减小;当铺设间距为1.8~2.0 R时,组合均匀度随压力的增大先减小后增大。为直

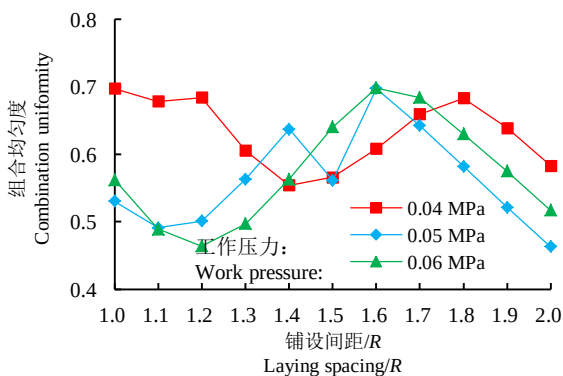
表3 0.04~0.06 MPa 微喷带插值试验数据均匀度计算结果

Table 3 Calculation results of uniformity of micro-spray belt interpolation test data from 0.04~0.06 MPa

铺设间距 Laying spacing	NY/T 44-240-0.5-3			NY/T 44-196-0.6-3			NY/T 44-202-0.7-7		
	0.04 MPa	0.05 MPa	0.06 MPa	0.04 MPa	0.05 MPa	0.06 MPa	0.04 MPa	0.05 MPa	0.06 MPa
1.0 R	0.639	0.644	0.652	0.697	0.530	0.562	0.534	0.547	0.560
1.1 R	0.593	0.649	0.656	0.678	0.491	0.489	0.487	0.530	0.533
1.2 R	0.582	0.618	0.626	0.684	0.501	0.464	0.487	0.556	0.550
1.3 R	0.600	0.646	0.607	0.605	0.563	0.497	0.532	0.613	0.604
1.4 R	0.584	0.659	0.622	0.554	0.637	0.563	0.592	0.680	0.674
1.5 R	0.604	0.701	0.666	0.566	0.561	0.640	0.656	0.737	0.732
1.6 R	0.648	0.732	0.718	0.608	0.697	0.698	0.706	0.740	0.750
1.7 R	0.678	0.714	0.722	0.659	0.642	0.684	0.700	0.679	0.696
1.8 R	0.684	0.661	0.678	0.683	0.582	0.630	0.637	0.607	0.629
1.9 R	0.661	0.601	0.623	0.639	0.521	0.575	0.575	0.544	0.564
2.0 R	0.598	0.544	0.566	0.583	0.463	0.517	0.515	0.482	0.503

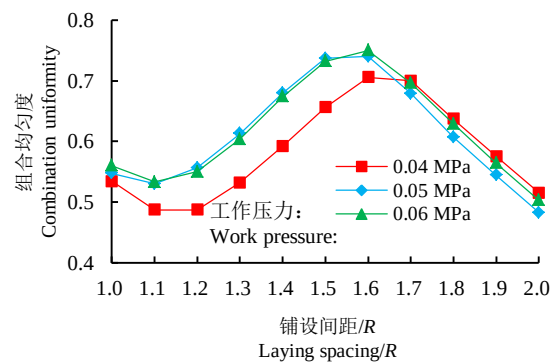


(a) NY/T 44-240-0.5-3



(b) NY/T 44-196-0.6-3

观体现上述微喷带最佳组合均匀度及最大铺设间距下组合喷洒强度的分布程度绘制了压力0.04 MPa下NY/T 44-240-0.5-3 铺设间距为2 R 的组合喷洒强度等值线图(图5)。由图5可知,微喷带喷洒强度随着铺设间距的增大呈间歇均匀分布,等值线越疏的区域组合均匀度越高,等值线越密的区域组合均匀度越低。因此,靠近微喷带的区域组合均匀度比较低,远离微喷带的区域组合均匀度比较高;位于铺设间距中心区域组合均匀度比较高,而位于铺设间距中心两侧区域组合均匀度较低。



(c) NY/T 44-202-0.7-7

图4 微喷带不同铺设间距下的组合均匀度关系图

Fig.4 The relationship between the combination uniformity of micro-spraying belt with different laying spacing

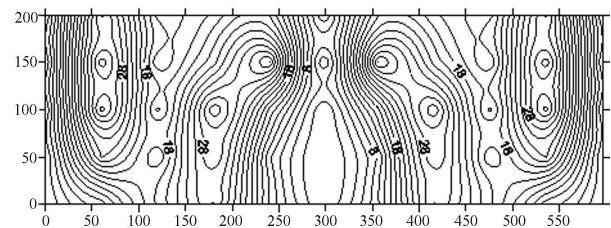


图5 0.04 MPa 下 NY/T 44-240-0.5-3 铺设间距为2 R 的组合喷洒强度分布等值线图

Fig.5 Under 0.04 MPa with NY/T 44-240-0.5-3 the contour distribution of combined spraying intensity with spacing of 2 R

3.3 微喷带组合铺设间距的确定

根据《中华人民共和国农业行业标准农业灌溉设备-微喷带》中规定,当水量分布均匀系数达到 60% 以上时,组合间距较好,即相应铺设间距为最佳^[16]。

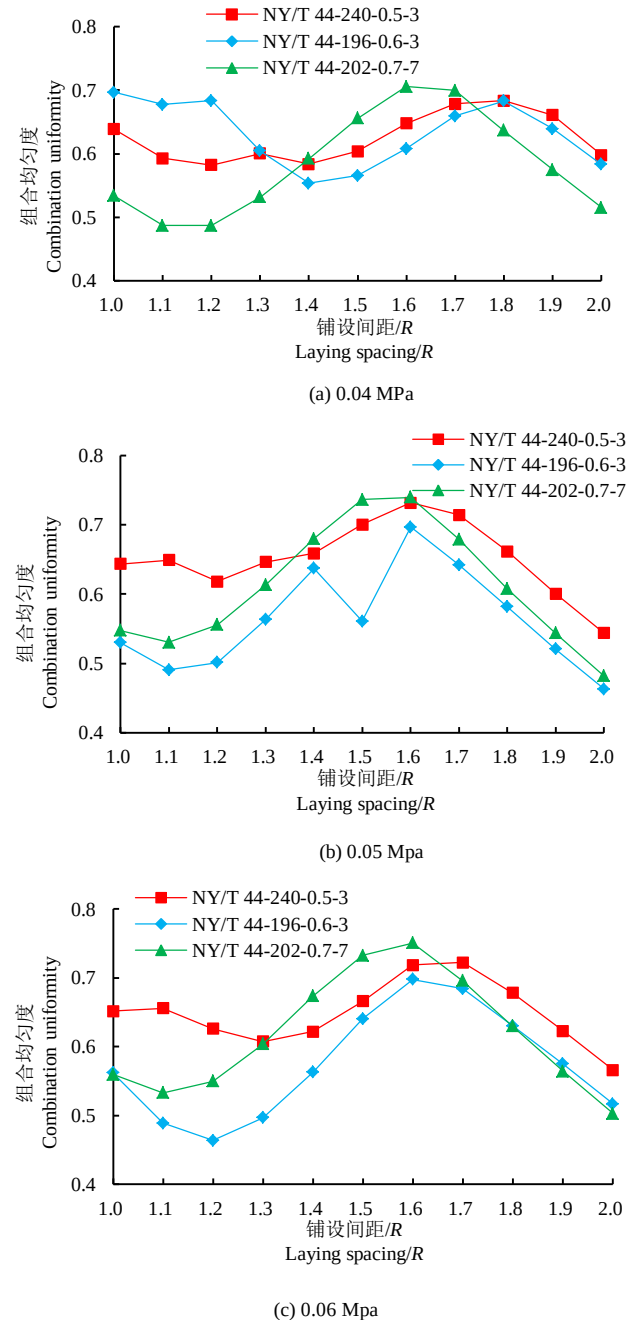


图 6 3 种类型微喷带在不同压力与铺设间距下的组合均匀度关系图

Fig.6 The relationship between the combination uniformity of three types of micro spray belt under different pressure and laying spacing

由图 6 可知,在同一压力或不同压力下,组合均匀度随着铺设间距的变化或增或减。但总体而言随着铺设间距的减小,微喷带可以互相弥补末端的水量分布,可提高组合均匀度;组合间距过大,水量弥补效果差,会产生漏喷。

以满足组合均匀系数 0.6 为基础,分析得到 3 种

微喷带不同压力下最大铺设间距统计表,见表 4。由图 6 发现,最大铺设间距随着压力的增大变化不明显并有降低的趋势;微喷带低压工作时组合均匀度比较大,铺设间距也较大。计算统计得出 NY/T44-240-0.5-3 与 NY/T44-196-0.6-3 最大组合铺设间距为 1.9 R, NY/T44-202-0.7-7 最大组合铺设间距为 1.8 R。因此,市场上常用的折径 44 mm 微喷带,当铺设间距为 1.8 R 与 1.9 R 时,组合喷洒强度较小,组合均匀度较大,满足规范要求,即为最佳。

表 4 微喷带最大铺设间距

Table 4 The maximum laying interval of micro spray belt

压力 Pressure/MPa	NY/T44-240-0.5-3	NY/T44-196-0.6-3	NY/T44-202-0.7-7
0.04	1.9 R	1.9 R	1.8 R
0.05	1.9 R	1.7 R	1.8 R
0.06	1.9 R	1.8 R	1.8 R

4 讨论

本文以微喷带组合喷洒强度、组合均匀度为评价组合铺设间距的 2 个指标,经过对单管微喷带试验数据组合分析,发现微喷带铺设间距过大,会产生漏喷;而铺设间距过小,会产生交叉重叠喷水,二者都会影响微喷带的灌水时间以及投资成本、产量等,其与徐袁博等^[6]研究发现较大的微喷带布置间距增加了灌水时间,投入产量比与微喷带布置间距因素关系较大的结果比较相近,而且本文经过对 3 种类型微喷带,计算分析获得了较为合适的不同铺设间距。

文中通过对折径 44 mm 的斜三孔与斜七孔微喷带开展喷洒强度、均匀度及喷洒宽度试验,经对单管微喷带数据组合,对比分析单管微喷带与双管微喷带组合铺设,发现经过组合铺设可以显著提高水量分布均匀度,这与白珊珊等^[7]研究发现,不同类型喷孔单斜列布置的微喷带,通过组合铺设来提高水量分布均匀性的研究结果很相似,而本文进而提出了不同孔数的微喷带的铺设间距,发现孔数增多,组合铺设间距相应减小趋势,原因可能是随着微喷带孔数增多,单管微喷带初始喷射水滴相互打击强度增大,致使远离微喷带中心线区域组合均匀度变小,随着铺设间距的减小,被组合微喷带的喷水水滴互相打击,减小了单管微喷带初始水滴相互打击的程度,从而提高了组合均匀度,具体结果希望在未来进一步详细研究讨论。

本文以单管微喷带的最大射程为下限,以双管之间的最大铺设间距 2 R 为上限,以 0.1 R 为基准,分别对 3 种不同型号微喷带进行组合计算,获取组合喷洒强度较小,均匀度较大的铺设间距即 1.8、1.9 R 为最佳铺设间距,其与杨路华等^[10]的研究方法相似,但

研究对象与研究结果不一致。上述学者大多集中对喷头或微喷头的组合均匀度与喷洒强度研究, 缺少对微喷带的研究与指导, 而微喷带和喷头等工作原理有区别。因此, 本文提出了适宜微喷带的组合铺设间距, 为农业灌溉提供进一步指导。

5 结 论

薄壁微喷带的单管喷洒强度随喷射距离的增加, 呈现双驼峰或单驼峰的分布规律。在 $0.04 \sim 0.06$ MPa 不同压力下单管微喷带喷洒宽度随压力增大而增大; 组合喷洒强度随铺设间距的增大而减小, 随微喷带孔数的增大而增大, 但工作压力的增大对组合喷洒强度的变化影响不明显; 组合均匀度在铺设间距为 $1.6 R$ 时达到峰值。微喷带最大铺设间距随着压力的增大变化不明显并有降低的趋势, 低压工作时组合均匀度比较大, 铺设间距也较大。针对市场上常用的折径 44 mm 微喷带, 当铺设间距为 $1.8 R$ 与 $1.9 R$ 时, 组合喷洒强度较小, 组合均匀度较大, 满足规范要求, 即为最佳。

参考文献:

- [1] 白珊珊, 万书勤, 康跃虎, 等. 作物遮挡下不同微喷带灌溉关键参数研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(1): 27-32.
BAI Shanshan, WAN Shuqin, KANG Yuehu, et al. Irrigation Parameters of Different Micro-sprinkling Hoses under Crop Shading[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(1): 27-32.
- [2] 郑迎春. 微喷带水力性能试验研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
ZHENG Yingchun. Experimental Study on Hydraulic Characteristics of Micro-Spraying Hose[D]. Baoding: Agricultural University of Heibei, 2009.
- [3] HOME P G, PANDA P K, KAR S. Effect of method and scheduling of irrigation on water and nitrogen use efficiencies of Okra (*Abelmoschus esculentus*)[J]. Agricultural Water Management, 2002, 55: 159-170.
- [4] 杨坤, 李扬, 刘林, 刘雪美, 等. 小麦宽苗带种植模式下微喷灌管网布置优化[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(6): 82-87.
YANG Kun, LI Yang, LIU Lin, et al. Optimization of Micro-Sprinkler Irrigation Pipeline Network Arrangement under Wide-Seesling-Belt Planting Mode of Wheat[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(6): 82-87.
- [5] 王一博. 低水头微喷带喷洒特性试验研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2017.
WANG Yibo. Experimental research on spray characteristics of micro-sprinkling hoses with low water head[D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2017.
- [6] 徐袁博. 不同微喷带布置间距与灌水量对冬小麦的影响[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2017.
XU Yuanbo. The effect of different spacing of micro-sprinkling hoses and irrigation amount on winter wheat[D]. Yangling: University of Science and Technology, 2017.
- [7] 白珊珊, 万书勤, 康跃虎, 等. 微喷带组合灌溉灌水均匀性研究[J]. 节水灌溉, 2015(5): 1-8.
BAI Shanshan, WAN Shuqin, KANG Yuehu, et al. Research on Water Distribution Uniformity of Micro-sprinkling Hoses Combinations Under Crop Shading[J]. Water Saving Irrigation, 2015(5): 1-8.
- [8] 王新坤, 蔡焕杰. 微灌坡地双向毛管最佳支管位置遗传算法优化设计[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 31-35.
WANG Xinkun, CAI Huanjie. Optimal Design for the Best Submain Position of Micro-Irrigation on Slope with Paired Laterals by Genetic Algorithms[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 31-35.
- [9] 李援农, 马朋辉, 胡亚瑾, 等. 灌区自压微灌独立管网系统优化设计研究[J]. 水利学报, 2016, 47(11): 1 371-1 379.
LI Yuannong, MA Penghui, HU Yajin, et al. Optimal Design of the Gravity Micro-Irrigation Pipe Network for Irrigation District[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(11): 1 371-1 379.
- [10] 杨路华, 刘玉春, 柴春玲, 等. 应用 Surfer 软件进行喷(微)灌均匀度分析[J]. 节水灌溉, 2004(5): 14-16.
YANG Luhua, LIU Yuchun, CHAI Chunling, et al. Application of Surfer Software for Uniformity Analysis of Sprinkler Irrigation or Micro Irrigation[J]. Water Saving Irrigation, 2004(5): 14-16.
- [11] 袁寿其, 朱兴业, 李红. 基于 MATLAB 全射流喷头组合喷灌计算模拟[J]. 排灌机械工程学报, 2008, 26(1): 47-52.
YUAN Shouqi, ZHU Xingye, LI Hong. Simulation of Combined Irrigation for Complete Fluidic Sprinkler Based on Matlab[J]. Drainage and Irrigation Machinery. 2008, 26(1): 47-52.
- [12] 崔利华. 喷灌均匀度计算方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
CUI Lihua. The research of sprinkler irrigation uniformity coefficient calculation methods[D]. Yangling: University of science and technology, 2013.
- [13] 刘晓扬, 杨路华, 柴春岭, 等. 微喷头水量分布仿真及组合优化研究[J]. 节水灌溉, 2016 (3): 24-26.
LIU Xiaoyang, YANG Luhua, CHAI Chunling, et al. Water Distribution Simulation and Combinatorial Optimization of Micro-sprinkler[J]. Water Saving Irrigation, 2016(3): 24-26.
- [14] MARJANG N, MERKLEY G P, SHABAN M. Center-pivot uniformity analysis with variable container spacing[J]. Irrigation Science, 2012, 30(2): 149-156.
- [15] SAYYADI H, GAZEMI A H, SADRAADDINI A. Characterising droplets and precipitation profiles of a fixed spray-plate sprinkler[J]. Biosystems Engineering, 2014, 119: 13-24.
- [16] NY/T1361—2007[S]. 农业灌溉设备-微喷带.
NY/T1361—2007[S]. Agricultural irrigation equipment micro sprinkling hose.