

玉米冠层对喷灌水量空间分布的影响

李王成¹, 黄修桥¹, 龚时宏², 仵峰¹, 范永申¹

(1. 水利部 中国农业科学院农田灌溉研究所, 新乡 453003; 2 中国水利电力科学研究院, 北京 100044)

摘 要: 作物冠层对喷灌水量分布的明显影响, 为了弄清楚作物冠层对喷灌水量分布的影响作用, 该文以春玉米为研究对象, 进行了多组试验, 初步探讨了在不同生育期玉米冠层上部与下部水量的分布情况。田间试验结果表明, 玉米冠层对喷灌水量近地表附近分布均匀度有很大影响。喷灌水量到达玉米冠层后, 通过 4 种途径落向地面, 即: 秆径流量、叶尖水量、叶下水量和行间水量。这 4 部分水量在其分布点上的均匀程度很高, 但作为一个整体, 其水量的连续分布均匀性则很差。可见冠层对喷灌水量分布的影响不容忽视, 有必要进一步弄清它们之间的影响机理, 这将为喷灌制度的设计提供重要依据。

关键词: 喷灌; 玉米冠层; 水量分布; 均匀度

中图分类号: S513; S275.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)03-0059-04

1 引言

喷灌时, 由于作物冠层的存在, 喷洒水不是直接落向地面而是经作物冠层调节后到达地表。因而, 作物冠层上部水量分布与下部(指作物冠层与地表之间的空间, 本文如没有特别指出则均指近地表空间)水量分布有明显的不同。喷洒水到达作物冠层后, 一部分被汇集至作物根部, 称之为秆径流量(后称秆径流); 一部分流经叶尖到达地面, 称为叶尖水量; 一部分沿叶缘落至地面, 称为叶下水量; 还有一部分透过叶片间隙落至地面, 这些间隙大部分分布在作物行间, 因而称其为行间水量。显然, 作物冠层对喷灌水量有明显的影响, 有必要弄清它们之间的影响机理, 以便为喷灌制度的设计提供重要依据。根据国内外研究的情况来看, 这方面的研究很少^[2~6](大部分的研究都是针对喷灌水量通过冠层到达地面进入土壤以后的水量分布均匀度而进行的), 本文通过试验研究(以春玉米为研究对象)对上述水量分布及其相互关系进行初步探讨。

2 试验设计

试验在中国农科院农田灌溉研究所的试验田中进行, 以春玉米为研究对象。设计了 3 个不同喷灌均匀度和 3 个不同的种植密度, 为了观测试验的需要, 春玉米的种植采用分批播种的形式, 即在 4 月 16 日、5 月 16 日、6 月 16 日进行 3 次播种。播种总面积为 52 m × 24 m (1 248 m²)。南北方向为行向, 共分 3 个密度区, 同时在东西方向上布置 3 个不同的喷灌均匀度区。全部试验中共设有 9 个试验小区。在每个小区内均布置 6 个观测喷灌水量在近地表分布的观测基本点(面积很小的区域), 6 个观测土壤含水量情况的取土基本点及 3 个观测冠层上部喷灌水量分布的观测点。

3 冠层上部水量分布

为了更好地反映出近地表喷灌水量分布的均匀程度, 在选定喷头类型的情况下, 特别选取 3 个不同喷灌均匀度区域内几个有代表性的地表喷灌水量分布基本点进行该点上空 250 cm 处的点喷灌均匀度的理论计算。

表 1 为各观测基本点所代表的区域的喷灌均匀度。在均匀度 1 区内, 各观测点的水量分布均匀度均为 72%。均匀度 2 区和均匀度 3 区内观测点上水量分布均匀度并不完全一致, 经计算, 这两组数的绝对偏差平均值和标准偏差(对于同一组数据, 这两个偏差是相等的)分别为 0.03 和 0.02。

表 1 观测点水量分布均匀度计算值

Table 1 Theoretic values of the uniformity coefficient distributions of the volume of water at different observed points

点位	1 区				2 区				3 区			
	A1	B1	C1	D1	A6	B5	C5	D6	A10	B9	C9	D10
CU/%	72	72	72	72	82	85	89	86	96	98	93	95

3.1 冠层上部设计水量分布均匀度

对于三个不同均匀度区域内的均匀度, 可根据黄修桥^[1]等提出的有风条件下喷灌系统组合均匀度的计算理论与方法进行计算, 其公式为

$$CU(L_p, L_z) = \frac{1}{100} \times \left[1 - \frac{\sum_{i=0}^{L_p-1} \sum_{j=0}^{L_z-1} |K - H_z(I, J)|}{(K \times L_p \times L_z)} \right] \quad (1)$$

式中 L_p ——喷头布置间距, m; L_z ——支管布置间距, m; $CU(L_p, L_z)$ ——与 L_p, L_z 相应的均匀度, %; $H_z(I, J)$ ——典型面积内网格点的合成水深, mm; K ——典型面积内的平均水深, mm。

该方法解决了有风条件下组合均匀度的计算问题, 并在实践中得到了广泛的应用。

在不考虑风影响的情况下, 可根据克里斯琴森(Christiansen)均匀系数 CU ^[12] 的计算方法进行计算

收稿日期: 2002-09-20 修订日期: 2002-12-10

作者简介: 李王成(1974-), 男(汉族), 陕西勉县人, 硕士, 主要从事灌水技术方面的研究。河南新乡建设路 173 号 水利部 中国农科院农田灌溉研究所, 453003。Email: LLWWCCHH@yahoo.com.cn

$$CU = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}|}{nP} = 1 - \frac{|\overline{\Delta P}|}{P} \quad (2)$$

式中 \bar{P} ——观测计算面积上的平均喷灌强度;
 $|\overline{\Delta P}|$ ——喷灌强度的平均偏差绝对值, 这里

$$|\overline{\Delta P}| = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}|}{n}; n——\text{观测计算喷灌强度的点数。}$$

本文采用上述两种方法计算各区域的喷灌均匀度, 计算结果分别为 72%、83%、96% 和 75%、84%、96%。这与设计喷灌均匀度(75%、85% 和 95%)相差不大, 可以认为符合试验设计要求。

3.2 冠层上部实测水量分布均匀度

观测水量每 40 min 测量一次。量水器皿为 20 mm 的量筒。在观测中, 风速很小, 可忽略不计。根据这些数据可以求出观测当天各区域的喷灌均匀度。从图 1 中可以看出, 各喷灌均匀度区(每个均匀度区包括 3 个密度区)的喷灌均匀度在 3 个观测时期(即 7 月 22 日、7 月 29 日、8 月 12 日)中没有发生大的变化。

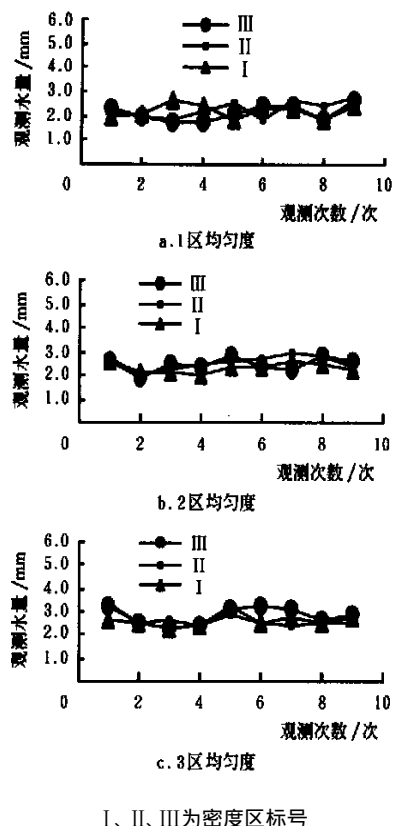


图 1 冠层上部水量观测值在各均匀度区内的分布

Fig. 1 Distribution of the observation value under canopy in different regions of the uniformity coefficient

3.3 冠层上部水量分布均匀度的比较

本文中, 玉米冠层上部设计水量分布均匀度分别是: 均匀度 1 区为 75%、均匀度 2 区为 85%、均匀度 3 区为 95%。在试验过程中, 根据所观测到的玉米冠层上部水量分布的实测资料及计算结果(见表 2)与设计均

匀度相比较, 两者没有太大的出入, 可以认为, 该结果能够准确地体现这次试验设计在这方面原有的设计思想。

表 2 冠层上部喷灌均匀度 CU 计算值

Table 2 Calculated value of the uniformity coefficients (CU) of sprinkle water over maize canopy

区 域	时间/月-日		
	07-22	07-29	08-12
均匀度 1 区	77	75	76
均匀度 2 区	82	85	86
均匀度 3 区	94	96	95

4 冠层下部水量分布

4.1 冠层下部水量分布

冠层下部水量分布的观测由 4 部分组成, 即秆径流水量的分布、叶尖水量的分布、叶下水量的分布、行间水量的分布。在对这 4 部分水量进行分析时涉及到一个有效集水面积的问题。当喷洒水到达玉米冠层时, 玉米冠层对其进行拦截, 一部分水量洒落叶下和行间, 一部分则沿玉米的秆到达地表, 在试验中, 利用集水和导水装置将沿秆到达地表的这部分水量收集起来。为了反映出玉米冠层下部水量分布的情况, 作者采用比值法来处理这一问题。这些比值主要有: 秆径流量与叶尖水量的比值, 秆径流与叶下水量的比值, 秆径流与行间水量的比值等。

4.1.1 秆径流量分布

从图 2 可以明显地看出, 7 月 23 日所观测到的数据的平均值比 7 月 29 日与 8 月 12 日所测数据的平均值要小得多, 而后两者之间的差值很小, 其原因是: 在 7 月 23 日前后, 玉米冠层还没有完全发育成熟, 仍然处于生长阶段, 玉米冠层没有封垄, 此时的玉米冠层所产生的集水效果并不明显。而到了 7 月 29 日以后, 玉米冠层基本成形, 不会再有太大的变化, 此时, 玉米冠层几乎将地面完全覆盖, 因而, 其冠层产生了强烈的集水效果。根据观测数据可以计算出观测区中水量分布均匀度, 计算结果见表 3。

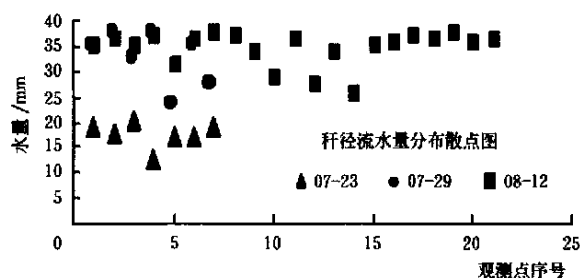


图 2 各观测时期秆径流量分布

Fig. 2 Distribution of stem-runoff water volume in different periods

从表 3 可以看出, 尽管处于玉米的不同生长阶段, 在玉米冠层对水量分布的影响过程中, 处于同一密度区的秆径流分布的均匀度仍比较高。这反映了以下几个问

题: 第一、玉米的生长是同步的, 植株生长的形态具有同一性, 出现秆高不齐的情况较少, 表明了玉米群体生长的一个特性。第二、同一品种玉米群体对喷灌水量分布(具体表现在冠层对水量的调节方面)的影响与单株玉米对水量分布的影响存在某种联系, 这为研究单株玉米冠层与喷灌水量分布之间的关系来反映玉米群体对喷灌水量分布的影响的研究提供了一个可行的基础。

表 3 秆径流量分布均匀度计算结果

Table 3 Practical value of the uniformity coefficients (CU) of stem-runoff water volume

时间/月-日	07-23	07-29	08-12
CU / %	93	90	96

4.1.2 叶尖水量分布

叶尖水量是指喷洒水经玉米冠层调节后从玉米叶尖流下的水量。在大田中, 并不是每一个点上都有叶尖水量的分布, 它的分布是不连续的, 它和秆径流量及其他水量(叶下水量、行间水量)的分布一样, 都应属于点源水量分布, 对它们的处理应该以点源的形式进行分析。当然, 在整个大田中, 是这 4 部分水量共同构成了喷灌水量在近地表面上的分布。因而, 将这 4 部分作为一个整体来研究仍然可以采取常用的方法对其进行分析。这里给出了叶尖的观测水量分布散点图(见图 3)。

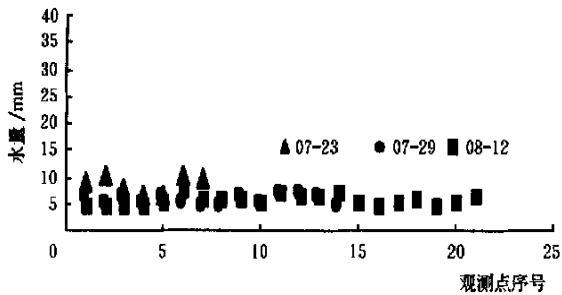


图 3 各观测时期叶尖水量分布
Fig 3 Distribution of the leaf-needle water volume in different periods

对图 3 中的 3 组数据进行比较, 可以看到, 7 月 23 日所测的数据一般比 7 月 29 日及 8 月 12 日所测数据要大一些。也就是说, 对于同一植株, 7 月 23 日所测量的叶尖水量要比其他 2 个时期测得的水量要大。这表明, 水量的分布与玉米冠层的发育阶段有密切的关系。而在玉米冠层与喷灌水量分布的相互关系中, 起决定作用的因素是玉米冠层对地面的覆盖程度。这具体反映在叶面积指数、遮阴率、玉米的种植密度及玉米冠层的空间分布形态等方面。

对所观测的数据进行分析可以得到各区域中各叶尖水量分布的均匀度, 计算结果见表 4。

根据表 4 中的数据, 可以认为叶尖水量的分布均匀程度仍比较高, 这反映了在植株的相同部位, 从叶尖流下的喷灌水量基本相同。

表 4 叶尖水量分布均匀度计算表

Table 4 Calculated value of the uniformity coefficients (CU) of the leaf-needle water volume

时间/月-日	07-23	07-29	08-12
CU / %	85	84	87

4.1.3 叶下水量分布

试验过程中, 一般直接将量杯放在玉米的叶片下方进行叶下水量的测量。观测时, 量杯上方是致密的玉米冠层, 由于它的拦截, 从这儿下落的水量很少。尽管如此, 这些点所涉及到的面积总和在总面积中占有很大的比重。在 4 个水量分布中, 叶下水量分布点是连接其他各水量分布点的纽带, 由于它的存在才使这 4 部分水量分布点连成一片, 从而可以认为近地表水量的变化是连续的, 这为采用常规方法处理近地表喷灌均匀度提供了可行性基础。根据观测数据, 可以计算这些叶下水量观测点水量分布均匀度, 其计算结果见表 5。

表 5 叶下观测水量分布均匀度计算表

Table 5 Practical value of the uniformity coefficients (CU) of the under-leaf water volume

时间/月-日	07-23	07-29	08-12
CU / %	87	86	85

表 5 不仅反映了叶下水量分布比较均匀, 其 CU 值可达 86%, 而且也从一个侧面证明了玉米叶片的整体分布情况。

4.1.4 行间水量分布

行间水量的观测主要是针对那些未被玉米叶片遮盖而地表裸露的点。这些点水量分布的均匀程度反映了在有玉米存在但没有叶片影响的情况。

根据观测数据, 可以计算出这些行间水量分布观测点的水量分布均匀度, 其结果见表 6。

表 6 行间水量分布均匀度计算表

Table 6 Calculated value of the uniformity coefficients (CU) of the row middle water volume

时间/月-日	07-23	07-29	08-12
CU / %	90	90	92

从表 6 中可以看出, 行间水量分布均匀程度很高。和叶下水量分布及叶尖水量分布相比, 行间水量分布均匀度要比前两者高一些。可见, 在近地表附近, 喷灌水量分布均匀程度与玉米冠层的关系尤为密切。

4.2 试验分析

在前面 4 部分水量均匀度分析中所采用的数据都是在同一种植密度下选取的, 从表 3、4、5 和表 6 中, 共同反映了这样一个事实: 这 4 部分水量的各自所属的点的分布是离散的, 根据所测数据计算出的这 4 部分水量分布均匀度都较高。但这只是表明了玉米冠层的影响下, 喷洒水被分解为这 4 部分水量的分布情况。从图中观测数据点的分布来看, 它们之间的水量观测值的差异很大。

实际上,近地表的水量是由上述 4 部分水量共同组成的一个整体,它的分布是连续的。但是近地表水量整体分布差异很大,秆径流量要比对应的其他 3 部分水量的观测值大得多。这充分说明,喷洒水经玉米冠层调节后,大部分水量由于冠层的汇集作用而集中起来沿玉米的秆部流向玉米的根部。

图 4 直观地反映了近地表 4 部分水量在总体水量中的分配情况,显示了它们之间在水量分布上的显著差异。



图 4 近地表 4 部分水量分配比示意图

Fig 4 Comparative map of the four parts of sprinkle water volume near the ground

根据实测资料,可以求出同一种植密度下不同均匀度在玉米生长的不同阶段时的近地表观测水量分布均匀度。计算值是根据近地表水量分布的实测数据结合式(2)计算得到的。在喷灌条件下,由于受玉米冠层的影响,冠层下方近地表附近水量的分布极不均匀。同时也可以看出,在玉米生长初期和成熟期,玉米冠层对喷灌水量分布依然有影响,但和玉米生长的其他时期相比没有那么强烈。

5 结 论

经过上面的分析,可知,尽管到达玉米冠层上部的水量分布均匀度很高(72%、83%、96%),但是,在有玉米存在的情况下,玉米冠层对喷灌水量的分布有很大影响,喷灌水量通过冠层时,冠层改变了水量分布的形式,从玉米影响的角度考虑,喷灌水量到达地表的形式可分为 4 种,即:秆径流量、叶尖水量、叶下水量和行间水量。经分析,这 4 部分水量在各自的点上的水量的分布均匀程度很高。但是,这 4 部分水量作为一个连续的整体,其整体水量分布的均匀度则很差。表明了在近地表附近,由于玉米冠层的影响,水量的整体分布极不均匀。可见冠层对喷灌水量的影响不容忽视,有必要进一步弄清它们之间的机理,这将为喷灌制度的设计提供重要依据。

[参 考 文 献]

- [1] 黄修桥,廖永诚,刘新民 有风条件下喷灌系统组合均匀度的计算理论与方法研究[J]. 灌溉排水, 1995, 14(1): 12~18
- [2] 李久生 喷灌均匀系数对土壤水分空间分布及作物产量影响的研究现状[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 132~136
- [3] Ayars J E, Hutmacher R B, Schoneman R A, et al Influence of cotton canopy on sprinkler irrigation uniformity [J]. ASAE, 1991, 34(3): 890~896
- [4] 李久生 喷灌均匀系数对作物产量影响的模拟研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 102~107
- [5] Jiusheng Li, Hiroshi Kawano The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation [J]. Agricultural Water Management, 1996, 32: 29~36
- [6] 李久生,雷志栋,杨诗秀 喷灌条件下土壤水分空间分布特性研究[J]. 水科学进展, 1998, (1): 7~13

Space distribution of sprinkler water under maize canopies

Li Wangcheng¹, Huang Xiuqiao¹, Gong Shihong², Wu Feng¹, Fan Yongshen¹

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Ministry of Water Resources, Xinxiang 453003, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100083, China)

Abstract: As a result of the remarkable effect of the distribution of sprinkler water by crop canopies, the distribution uniformity of sprinkler water is changed evidently from the space to the ground. By the trials for the spring maize, the phenomenon is discussed that the distribution of the sprinkler water is the upside and the underside of maize canopies in different growth periods. The maize canopy changed distribution of sprinkler water near the ground. When sprinkler water reached the maize canopy, the sprinkler water fell down with four ways, namely, stem-runoff water, leaf-needle water, under-leaf water, row-space water respectively. Their distribution uniformity was very good in the basic points themselves. However, as a whole, the re-distribution uniformity of sprinkler water was bad by the effect of maize canopies. Obviously, it is not ignored for the distribution of the sprinkler water by the canopy. It is important that the mechanism of the effects between them is researched accurately.

Key words: sprinkler irrigation; maize canopy; water distribution; uniformity