

仿形喷洒变量施水精确灌溉技术研究进展

韩文霆^{1,2}, 吴普特¹, 冯浩¹, 杨青², 陈香维², 鞠建伟²

(1. 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 杨凌 712100; 2 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 杨凌 712100)

摘 要: 仿形喷洒变量施水技术的概念是作者提出用来表示根据被灌溉地块或区域形状变化的要求实现变量施水的一种精确灌溉技术, 具有提高灌溉质量和效率, 降低灌溉系统成本的潜在优点。该文分类介绍了这种技术的实现原理、优缺点和适用范围, 给出了仿形喷洒变量施水喷头流量射程调节器的一般组成和实现方式。指出了今后这种技术的研究重点应集中在以下 3 个方面: 加强仿形喷洒变量施水喷头关键部件结构尺寸对其性能参数影响的理论和试验研究, 为喷头优化设计提供依据; 尽快开发应用于园林景观喷灌的埋地式仿形喷洒变量施水喷头产品; 积极开展应用于大田喷灌的高均匀度仿形喷洒变量施水喷头组合喷灌技术的研究, 以降低现有喷灌工程中喷头和管道的布置密度。

关键词: 仿形喷洒; 变量施水; 精确灌溉; 喷灌

中图分类号: S275.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0016-04

0 引言

喷灌技术作为一种先进的节水灌溉技术, 对世界农业的发展起到了巨大的推动作用。世界喷灌技术正在向精确灌溉技术的方向发展。精确灌溉的核心是能够开发出根据作物或地块形状的需要, 在不同位置灌溉不同水量的技术和设备。目前国内外研究的低能耗精确灌溉 (Low Energy Precision Application) 和变量施水精确灌溉 (Variable Rate Precision Irrigation), 都是根据作物需水量的要求实现精确灌溉的技术^[1-10]。

精确灌溉技术的另一方面就是根据地块形状或喷洒区域形状变化的要求实现变量施水, 就是喷灌系统可以模仿灌溉地块形状或喷洒区域形状的变化, 对其喷洒湿润区域和灌溉水量进行自动调节, 以实现对整个灌溉地块的均匀喷灌^[11-16]。目前这方面的研究相对较少, 且比较分散, 为表述方便, 作者这里提出用“仿形喷洒变量施水技术”的概念来统一表示这种精确灌溉技术, 并根据目前的研究现状, 将其分为单喷头仿形喷洒变量施水实现技术、喷灌系统仿形喷洒变量施水实现技术以及仿形喷洒变量施水喷头组合喷灌技术 3 个主要方面。

1 单喷头仿形喷洒变量施水实现技术

该技术指采用一定的实现方式, 使单个喷头可以根据地块形状或喷洒区域形状的要求, 自动调整其射程和喷水量。这种喷头称之为仿形喷洒变量施水喷头 (以下简称仿形喷头), 根据喷头的类型分为旋转式和固定式两种, 下面对这两种仿形喷头的实现技术、主要结构、工作原理以及优缺点作简要分析, 结构等如文献^[17-41]。

1.1 旋转式仿形喷头

国外旋转式仿形喷头主要应用于花园喷灌, 最早的

研究可以追溯到 20 世纪 20 年代^[17-29]。

新西兰的 Donald (1920) 研究出一种仰角流量自动调节的叶轮驱动仿形喷头, 喷头喷嘴通过铰链与喷管连接, 并在铰链处设有流量调节器, 由叶轮驱动的凸轮控制喷嘴和流量调节器运动, 使喷头在转动时, 其仰角和流量同时发生变化, 实现仿形喷洒和变量施水^[17]。由于喷头采用了叶轮驱动和蜗轮蜗杆传动, 结构复杂, 成本高, 难以推广。

James (1952) 研制出了一种出射水流仰角和转速可调的反作用式仿形喷头, 固定在喷头进水管上的仿形盘控制喷嘴前方的圆盘式自动挡水器上下活动, 改变喷头射流仰角, 实现仿形喷洒。同时挡水器与喷嘴不在同一铅垂面上, 水流对挡水器的反作用力驱动喷头转动, 而且当挡水面积发生变化时, 作用力的变化使喷头的转速也发生变化, 实现变量施水^[18]。该喷头的巧妙之处是具有多种功能的挡水器的设计, 但由于采用了简单的反作用力驱动结构, 使喷头转动均匀性受到影响, 可靠性较差。Aldo (1953) 在摇臂式喷头上实现了出射水流仰角的自动调节, 与 James 喷头类似, 也在喷嘴前方安装了一种相对于喷嘴可以上下移动的挡水器, 但该挡水器结构简单, 只起改变出射水流仰角的作用。挡水器的运动由固定在喷头进水管上的仿形盘控制, 当喷头转动时, 其出射水流的仰角发生变化, 实现仿形喷洒^[19]。该喷头结构简单, 但不能实现变量施水。

Robert (1976) 年研制出一种仰角转速自动调节的反作用式仿形喷头, 喷头喷嘴偏离喷头转轴, 喷水时依靠出射水流的反作用力驱动喷头转动。喷嘴与喷管之间由活动铰链连接, 喷嘴仰角由固定在喷头入水口处弯曲高度不一的一圈径向仿形拨指控制, 从而实现仿形喷洒^[22]。该喷头独特之处是采用了转子式油泵作为转速调节装置, 实现变量施水。但该喷头对油泵室密封性要求特别高, 喷头结构也因此较复杂。

Benjamin (1981) 研制出一种出射水流仰角和转速自动调节的叶轮驱动式仿形喷头, 喷头转动动力来自水力驱动叶轮, 通过蜗轮蜗杆的传动, 驱动喷嘴上方挡水器上下活动, 实现仿形喷洒。通过一仿形齿圈和小齿轮

收稿日期: 2003-01-08 修订日期: 2003-10-05

基金项目: 教育部重点基金项目 (01166); 陕西省科技攻关项目 (2001K02-G3-01); 西北农林科技大学青年专项基金 (0205)

作者简介: 韩文霆 (1972-), 男, 内蒙古五原人, 讲师, 博士, 主要从事节水灌溉技术与装备方面的研究。杨凌 西北农林科技大学机电学院, 712100

的变速传动,使喷头转速可调,实现变量施水^[24]。该喷头的优点是采用了齿轮传动,比其它几种仿形喷头精确程度要高,缺点是结构复杂,成本高。

Edwin (1982) 研制出一种流量射程自动调节的埋式仿形喷头,通过一仿形凸轮来控制喷嘴附近流量调节阀的开闭程度,实现流量和射程的调节^[25]。在埋式喷头上实现了仿形喷洒和变量施水的技术,还是很少见。Ohayon (2000) 研制出一种流量压力自动调节的摇臂式仿形喷头,喷头的柱塞式流量调节阀安装在喷头入水口处。在入水口处固定一圆盘,圆盘表面开一环形槽,环形槽距离圆盘中心的半径可变。用一连杆将环形槽和柱塞连接,通过环形槽半径的变化控制柱塞运动,调节喷头流量和压力变化,实现仿形喷洒和变量施水^[28]。

国内在旋转式仿形喷头技术方面的研究较晚,于 20 世纪 90 年代才开始的。蔡江碧和孟秦倩 (1999) 研制出一种摇臂式仿形喷头。在喷头和竖管之间加装一水平转杆(管),喷头工作时,一边在摇臂的作用下自转,一边随着水平转杆(管)绕喷头竖管公转,通过喷嘴射流的复合圆周运动来实现仿形喷洒。他们对这种喷头的均匀度进行了试验研究,发现这种喷头的主要问题是存在重复喷洒面积,影响喷灌均匀性。另外,较长的水平转杆(管)使喷头的工作可靠性大大降低^[12]。王正中等人 (2000) 研究出一种流量射程自动调节的摇臂式仿形喷头,在喷头和竖管之间增设具有一定开孔形状的上下过水节,通过上下过水节的相对运动,周期性改变入水口处的过水断面,实现喷头流量和射程的自动调节^[30]。这种喷头突出的优点是可以同时实现仿形喷洒和变量施水,喷灌均匀度高,结构简单,是目前较为理想的一种旋转式仿形喷头。但该喷头存在的主要问题是两过水节之间的距离受喷头安装时螺纹拧紧程度的影响,当拧得过紧时,影响喷头的转动灵活性,过松时又会影响到流量和射程的变化规律,因此,喷头在每次重新安装后,工作性能都有可能发生变化。王飞、冯浩等人 (2001) 研制出了一种仰角自动调节器的摇臂式仿形喷头^[31]。在摇臂式喷头和给水竖管之间增设一中空万向节结构的螺纹管接头,使喷头在转动过程中其空心轴的中心线相对于竖管中心线的夹角发生周期性变化,从而实现仰角自动调节和仿形喷洒,但不能实现变量施水。冯浩等人 (2002) 研究提出了一种动静片形式的摇臂式仿形喷头,工作原理与王正中仿形喷头类似,只是采用了两个独立的阻水片来改变喷头入水口处过水断面面积,实现仿形喷洒和变量施水,该喷头部分解决了王正中仿形喷头存在的不能实现变量施水的问题^[32]。郝培业和邓鲁华等人 (2001) 研制出了蝶阀式、挡板式和遮孔式 3 种流量射程自动调节的摇臂式仿形喷头,工作原理与王正中仿形喷头类似,只是分别通过蝶阀式、挡板式和遮孔式 3 种流量射程调节器来改变喷头进水口处过水断面面积,实现仿形喷洒和变量施水。另外,郝培业等人对方形(包括正方形和六方形)喷头的结构参数和性能参数进行了一定的理论分析和大量的试验研究,首次提出了用方形系数对喷头仿形性能进行评价,并给出其计算公式^[33~36]。

本文作者 (2003) 开发出静片式流量射程调节器、内槽凸轮式射程调节器和齿轮转盘式射程调节器的 3 种摇臂式仿形喷头。其中静片式流量射程调节器从理论上克服了王正中仿形喷头和冯浩仿形喷头性能不太可靠的缺点。内槽凸轮式射程调节器的主要工作原理是由固定在喷头入水口处的内槽式仿形凸轮,通过连杆传动控制喷头喷嘴前方的碎水螺钉上下活动,自动调节喷头的雾化程度和射程,实现仿形喷洒。齿轮转盘式射程调节器主要由固定在喷头入水口处的齿轮通过齿轮传动控制安装在喷头喷嘴前方的散水叶轮转动,实现喷头射程可调,该叶轮还有驱动喷头转动的作用^[37~39]。

1.2 固定式仿形喷头

这种喷头一般为低射程喷头,结构简单。国外已有相关产品,采用的技术是根据喷洒区域的要求,在喷头四周开出不同大小的出射孔(或折射孔),这样在不同的方向上喷头射程和流量不同,从而实现对各种边界形状的地块进行仿形喷洒。国内也有这方面的研究,王振海 (1997) 开发出了一种仿形喷洒喷头,通过安装在喷头前方的限水片,迫使水流改变方向,使喷头喷洒在设计要求的范围内,实现仿形喷洒^[40]。王云中 (1998) 也发明了一种这样的喷头,采用的原理是在喷头喷嘴前方安装有方形的挡水板,使喷洒出来的水流呈方形造型^[41]。

2 喷灌系统仿形喷洒变量施水实现技术

除了利用单喷头实现仿形喷洒变量施水外,也有利用喷灌机和固定式喷灌系统的实现^[42~46]。

2.1 喷灌机仿形喷洒变量施水实现技术

Charles (1977) 等人发明了一种可以灌溉方形区域的仿形喷洒变量施水中心支轴式喷灌机,实现方法是在中心支轴式喷灌机的末端塔架车通过一个柔性接头再增设一跨桁架,该桁架可以绕其柔性接头在作业时作 180° 的旋转,当中心支轴式喷灌机旋转到方形地块的拐角区域时,启动该跨桁架进行拐角区域的喷灌,实现仿形喷洒和变量施水。这种喷灌机已被广泛应用^[42,43]。

2.2 固定式喷灌系统仿形喷洒变量施水实现技术

Bonetti (1981) 发明了一种可以实现仿形喷洒和变量施水的固定式喷灌系统,将若干不同流量和射程的喷头围成一圈布置在喷洒地块的中央,每个喷头控制不同方向和大小的扇形地块面积的喷洒,用一个时间控制器依次控制各个喷头的开启和关闭,各个喷头的工作时间由时间控制器根据地块形状决定^[45]。我国的 Hong Tiansheng 等人 (2002) 研究开发了另一种可实现仿形喷洒和变量施水的固定式喷灌系统。一个由单片机控制的步进电机驱动单喷头转动,单片机同时控制驱动喷灌泵转动的电机的转速,可以根据地块形状自动调节喷头出射水流的速度和射程,实现仿形喷洒和变量施水^[46]。

这两种固定式仿形喷洒变量施水喷灌系统与采用仿形喷头的喷灌系统相比,由于采用了自动控制系统,精确灌溉程度高,但成本也高得多。

3 仿形喷洒变量施水喷头组合喷灌技术

传统全圆或扇形旋转喷头在组合时要保证不漏喷,

必有部分喷洒面积重叠。韩文霆(2003)通过理论计算得出,当喷头正方形布置,组合间距系数为 1.2 时,相邻喷头喷洒面积的重叠率为 218%;当正三角形布置,组合间距系数为 1.2 时,相邻喷头喷洒面积的重叠率为 262%。适当的喷洒面积重叠可以提高喷灌均匀系数,但过高的重叠率会导致喷灌强度增加和地表径流的产生,造成水资源浪费和工程投资增加^[12, 16]。

韩文霆(2003)提出了仿形喷洒变量施水喷头组合喷灌技术,即利用高均匀度的仿形喷洒变量施水喷头代替传统的全圆旋转喷头进行组合喷灌,降低相邻喷头喷洒面积重叠率,降低喷头和管道的布置密度。韩文霆对这种技术的实现条件作了理论分析,分别探讨用于组合喷灌的方形喷洒域变量施水喷头和拟星形喷洒域变量施水喷头的射程、流量以及转速等主要性能参数的变化规律,并对这种喷头的组合喷灌技术进行了试验研究^[14-16]。

4 结论和建议

1) 旋转式仿形喷洒变量施水精确灌溉喷头一般都是通过在原有喷头主体结构上增设流量和射程调节器来实现的。一般来说,调节器主要由调节部件、动力部件、传动部件和控制部件 4 大部分组成,每种部件又有多种实现形式,具体概括如图 1 所示。

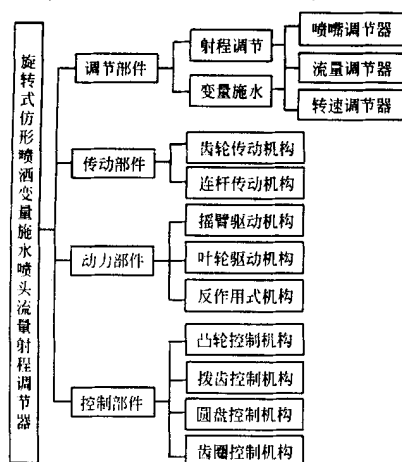


图 1 旋转式仿形喷洒变量施水喷头流量射程调节器组成

Fig 1 Construction of flow rate and spraying range adjustor for irrigated area profile modeling rotating sprinkler

2) 仿形喷洒变量施水喷头由于增加了流量和射程调节器,导致喷头结构较复杂,成本高。如何实现既降低喷头成本,又提高其工作性能,一直是这种喷头技术研究的重点。另外,目前关于喷头流量和射程调节器的研究工作主要集中在结构形式的设计上,对其具体结构参数和性能参数之间关系的理论研究和试验分析较少,仿形喷洒变量施水喷头研究需要加强的重要方面。

3) 旋转式仿形喷洒变量施水喷头要喷洒出特定边界形状的湿润面积,需要安装与这种喷洒区域形状相对应的仿形机构,一种仿形机构一般只能实现一种喷洒区域,故该喷头通用性差,很难批量生产和大面积推广。

4) 我国在旋转式仿形喷洒变量施水喷头方面的研究要比国外晚得多,在喷头类型、实现方法和功能上都

比国外单调。例如国外实现了仿形喷洒的喷头有叶轮式喷头、摇臂式喷头、反作用式喷头以及地埋式喷头等等,而我国目前只有在摇臂式喷头上研究了其实现方法。因此我国应加大投入力度,尽快开发多种多样的仿形喷洒变量施水喷头,特别是应用于园林景观喷灌中的地埋式仿形喷洒变量施水喷头,填补国内空白。

5) 应用于大田喷灌的高均匀度仿形喷洒变量施水喷头组合喷灌技术可以解决目前圆形或扇形喷头只有通过降低组合间距和加大相邻喷头喷洒重叠面积来提高组合均匀度的问题,具有进一步降低喷灌系统成本,提高喷灌质量和效率的优点。该技术的提出拓宽了仿形喷洒变量施水喷头的研究和应用领域,有可能成为今后喷灌技术和精确灌溉技术研究的一个重点。

[参 考 文 献]

- [1] Charles Skinner Sprinkling device[P], GB: 20103, 1894-09-12
- [2] Terry Howell Drops of life in the history of irrigation[J] Irrigation Journal, 2000, (3): 26- 33
- [3] 美国雨鸟国际公司中国办事处 节水灌溉的发展简史[J] 园林, 2002, (5): 44- 45
- [4] 陈 池 国内外喷灌系统研究简史与发展趋势[J] 排灌机械, 1999, (2): 45- 47.
- [5] 袁先江 国内外节水灌溉发展现状与趋势[J] 治淮, 2001, (4): 11- 13
- [6] 周明耀, 邵孝候 精确灌溉技术体系研究[J] 中国农村水利水电, 2002, (2): 35- 37.
- [7] 曾建军 国外新型喷灌设备的特点和应用[J] 安徽水利科技, 2000, (增刊): 46- 48
- [8] Li Jiusheng Sprinkler Irrigation Hydraulic Performance and Crop Yield[M] Beijing: China Agricultural Sci-tech Press, 2000, 22- 37.
- [9] John S, Robert E Venturing into precision agriculture[J] Irrigation Journal, 2000, (3): 15- 17.
- [10] John S, Robert E Site-specific, variable-rate precision irrigation[J] Irrigation Journal, 2001, (6): 20- 24
- [11] 陈亚丽 园林喷灌特点和发展趋势[J] 河南林业科技, 1999, 19(2): 36- 37.
- [12] 孟秦倩 非圆形喷洒域喷头的实现性研究[D] 杨凌: 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 1999
- [13] 张社奇, 刘淑明, 等 改变喷头喷洒轨迹的力学途径[J] 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(4): 118- 121.
- [14] 韩文霆, 吴普特, 冯 浩, 等 方形喷洒域变量施水精确灌溉喷头实现理论研究[J] 干旱地区农业研究, 2003, 21(2): 105- 107
- [15] 韩文霆, 冯 浩, 吴普特, 等 摇臂式喷头非圆形喷洒域实现方法和途径[J] 节水灌溉, 2003(2): 23- 24
- [16] 韩文霆 仿形喷洒变量施水精确灌溉喷头组合喷灌技术研究[D] 杨凌: 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 2003
- [17] Donald Elder Apparatus for watering areas of land[P], US: 1637413, 1927-08-02
- [18] James T, La M. Sprinkling device [P] US: 2582158, 1952-01-08

- [19] Aldo L, Van N. Controlled contour sprinkler[P]. U S: 2654635, 1953-10-06
- [20] William P. Adjustable pattern irrigation sprinkling device[P]. U S: 2780488, 1957-02-05
- [21] Edw in J. Dual speed sprinkler[P]. U S: 3261552, 1966-07-19
- [22] Robert E. Automatic water sprinkler for irregular areas [P]. U S: 3952954, 1976-04-27.
- [23] Rechar do A, Rodriguez. Controlled thrust rotary adjustable topography sprinkler[P]. U S: 4198001, 1980-04-15
- [24] Benjamin, Rabitsch. Irrigation sprinkler [P]. U S: 4277029, 1981-07-07.
- [25] Edw in J. Rotating sprinkler[P]. GB: 2094181A, 1982-09-15
- [26] Hunter E. Rotary irrigation sprinkler with preset spray pattern-has nozzle apertures adjusted in size during rotation to vary spraying distance[S]. GB: 2094181A, 1982-09-15
- [27] Van Leeuwen, Timothy O. Sprinkler head [P]. EU: 0395230A 1, 1990-10-31.
- [28] Ohayon S. Automatic adjustable sprinkler for precision irrigation[P]. U S: 6079637, 2000-06-27.
- [29] L indemeir. Sprinkler device[P]. WO: 41815, 2000-07-20
- [30] 王正中, 冷畅俭. 喷洒面为多种形状的摇臂式喷头[P]. 中国专利: 00257672 4, 2001-09-19
- [31] 王 飞, 冯 浩, 吴普特, 等. 非圆形喷洒域的喷头辅助装置[P]. 中国专利: 01247020 1, 2002-06-19
- [32] 冯 浩, 汪有科, 吴普特, 等. 非圆形喷洒域喷头[P]. 中国专利: 01265799 9, 2002-12-18
- [33] 郝培业. 六方(四方)型摇臂式喷头试验研究(一)[J]. 节水灌溉, 2003(2): 25- 26
- [34] 郝培业, 邓鲁华. 六方(四方)型摇臂式喷头试验研究(二)[J]. 节水灌溉, 2003(3): 38- 40
- [35] 邓鲁华, 郝培业. 六方(四方)型摇臂式喷头试验研究(三)[J]. 节水灌溉, 2003(4): 11- 15
- [36] 郝培业. 新型摇臂式喷头[P]. 中国专利: 00215392 0, 2001-06-27.
- [37] 韩文霆, 吴普特, 冯 浩, 等. 非圆形喷洒域的摇臂式喷头[P]. 中国专利: 03114528 0, 2003-08-27.
- [38] 冯 浩, 韩文霆, 吴普特, 等. 一种喷头转速测量的传感器[P]. 中国专利: 03218615 0, 2003-08-27.
- [39] 吴普特, 韩文霆, 冯 浩, 等. 自动调节射程的摇臂式喷头[P]. 中国专利: 03218591 x, 2003-08-27.
- [40] 王振海. 喷灌喷头喷水范围限制器[P]. 中国专利: 96212526 1, 1997-08-20
- [41] 王云中. 一种喷灌喷头[P], 中国专利: 98232884 2, 1999-11-03
- [42] Charles H, Genoa. Center pivot irrigation system [P]. U S: 4011990, 1977-03-15
- [43] Ken S, Malcolm K. Center pivot end sprinkler pattern analysis and selection [J]. Transactions of the ASAE, 1978, 21(2): 706- 712
- [44] Harvey V. Agricultural irrigation spray unit-has extendible boom carrying intermittently operated sprinklers to irrigate rectangular area[P]. EP: 7811A, 1980-02-06
- [45] Ralph A, Bonetti. Controlled irrigation system for a predetermined area[P]. U S: 4265403, 1981-05-05
- [46] Hong Tiansheng, Zhang Jie, Lai Rongguang. Study on the microcomputer controlled sprinkling irrigation system [A]. Session 6: Information Technology of Agriculture, ICAS T[C], Beijing, 2001, 367- 373

Review on irrigated area profile modeling and variable-rate precision sprinkle irrigation technique

Han Wenting^{1,2}, Wu Pute¹, Feng Hao¹, Yang Qing², Chen Xiangwei², Ju Jianwei²

(1. National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research-Yangling, Yangling 712100, China; 2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: The term "Profile modeling and variable rate sprinkling" is firstly used by the authors to describe the precision irrigation technique that can conduct variable rate application according to the continuous change of the irrigated area profile. This technique has great potential to improve the irrigation quality and efficiency and reduce the investment costs on sprinkle irrigation. This paper classifies all these techniques available around the world into different systems according to their operation principles, and introduces their main properties and adaptivities. The general construction and principle of the spraying range and flow rate adjustor for the profile modeling and variable rate sprinkler are given. Finally, the paper suggests that three aspects for the future research work on the profile modeling and variable rate sprinkling technique should be stressed. They are: 1) theoretical and experimental analysis of the influence of the size of the key components on the performance of the profile modeling and variable rate sprinkler, which provides basic information for the design of sprinkler of this kind; 2) to develop new products of pop-up profile modeling and variable rate sprinkler that are mainly used for irrigation in the garden and landscape place; and 3) to research the high uniformity profile modeling and variable rate sprinkler spacing irrigation technique, in order to reduce the sprinkler and pipeline density in the sprinkle irrigation system.

Key words: profile modeling of sprinkling; variable-rate water application; precision irrigation; sprinkle irrigation