

ICS 65.020.01  
CCS B 90/99



团 体 标 准

T/JSGS 025—2025

# 冬小麦-夏玉米轮作水肥一体化智能 喷灌技术规程

Technical code of practice for smart sprinkler fertigation in winter  
wheat-summer maize rotation system

2025-11-04 发布

2026-01-01 实施

中国农业节水和农村供水技术协会 发布  
中国标准出版社 出版

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	2
4.1 冬小麦播前整地 .....	2
4.2 夏玉米播前整地 .....	2
4.3 品种选择与播种 .....	2
4.4 收获 .....	2
5 智能喷灌系统组成 .....	3
5.1 喷灌系统 .....	3
5.2 施肥系统 .....	3
5.3 智能系统 .....	3
6 智能灌溉与施肥决策 .....	4
6.1 冬小麦灌溉制度 .....	4
6.2 夏玉米灌溉制度 .....	4
6.3 智能灌溉决策 .....	4
6.4 冬小麦施肥制度 .....	5
6.5 夏玉米施肥制度 .....	5
6.6 智能施肥决策 .....	5
7 田间运行管理与维护 .....	5
7.1 管理区划分 .....	5
7.2 检查与维护 .....	6
附录 A(资料性) 冬小麦和夏玉米生育阶段时间参照表 .....	7
附录 B(资料性) 冬小麦苗情判断和返青~拔节期灌水施肥时间参照表 .....	8
附录 C(资料性) 冬小麦和夏玉米计划湿润层深度和灌水上限参照表 .....	9
附录 D(资料性) 智能灌溉施肥决策参考流程图 .....	10
附录 E(资料性) 变量灌溉处方图生成方法参照流程 .....	11
附录 F(资料性) 冬小麦和夏玉米推荐施肥制度表 .....	13
附录 G(资料性) 基于无人机多光谱系统的变量施肥处方图生成方法 .....	14
附录 H(资料性) 最小管理区示意图 .....	15

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业节水和农村供水技术协会提出并归口。

本文件起草单位：中国水利水电科学研究院、河北省农业技术推广总站、邢台市农业综合服务中心、农业技术推广站、河北大曹庄农场农业发展有限公司、中国农业科学院农田灌溉研究所、河南瑞通水利工程建设集团有限公司、华雨灌溉设备制造有限公司。

本文件主要起草人：赵伟霞、李久生、吴文勇、张泽伟、李艳、张文杰、栗岩峰、陈震、杨庆亚、梁伟宏、康振宇、张忠义、杨永森、王俊野、黄晨、徐灵丽、杨世丽。

# 冬小麦-夏玉米轮作水肥一体化智能 喷灌技术规程

## 1 范围

本文件规定了冬小麦-夏玉米轮作水肥一体化智能喷灌技术的总体要求、智能喷灌系统组成、智能灌溉与施肥决策、田间运行管理与维护等。

本文件适用于我国冬小麦-夏玉米轮作水肥一体化智能喷灌工程的规划、设计和运行管理。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 4404.1 粮食作物种子 第1部分:禾谷类
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB/T 18690.1 农业灌溉设备 过滤器 第1部分:通用要求
- GB/T 28181 公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求
- GB/T 28418 土壤水分(墒情)监测仪器基本技术条件
- GB/T 43908 水肥一体化设备
- GB/T 45631 无人机遥感测绘飞行管理信息要求
- GB/T 50085 喷灌工程技术规范
- HG/T 4365 水溶性肥料
- NY/T 500 秸秆粉碎还田机作业质量
- NY/T 525 有机肥料
- SL 56 灌溉用沉砂池设计规范
- SL/T 364 土壤墒情监测规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **智能喷灌 smart sprinkler fertigation**

利用物联网、传感器、自动化控制及农业大模型等技术,通过实时感知大气、土壤、作物水肥信息,运用智能算法动态调整灌溉时间和灌水量,实现精准灌溉、施肥的喷灌方式。

### 3.2

#### **变量灌溉 variable rate irrigation**

基于作物需水空间差异,通过精准调控喷灌设备行走速度、分区电磁阀脉冲占空比或阀门启闭时间,满足管理区内按需动态调整灌水量的灌溉管理技术。

### 3.3

#### 管理区 management zone

根据农田内部土壤、作物、地形、坡度等区域异质性划分出的具有相似灌溉、施肥需求的区域单元。由设备性能确定的能够独立调控灌水量的最小农田区域单元称为最小管理区。

### 3.4

#### 灌溉处方图 irrigation prescription map

以田间实测水分数据为基础,结合农田水分亏缺分布特征,通过水分平衡模型计算生成的指导变量灌溉的地图文件。

### 3.5

#### 变量施肥 variable rate fertilization

在整个田块内进行分区管理,根据土壤养分状况和作物需求,实现大量元素肥在整个灌溉田块全面均衡施用的施肥方法。

### 3.6

#### 施肥处方图 fertilization prescription map

基于农田土壤养分状况、作物需肥规律及目标产量计算需肥量,结合农田养分亏缺分布特征生成的指导变量施肥的地图文件。

## 4 总体要求

### 4.1 冬小麦播前整地

4.1.1 前茬作物夏玉米秸秆可离田利用或粉碎还田,秸秆粉碎还田的作业质量应按 NY/T 500 的规定执行。

4.1.2 冬小麦播前整地宜结合土壤条件实施,当土壤相对含水量高于 85% 时,应适时晾垡散墒,待土壤相对含水量降至 70%~80% 时再进行播种作业。

4.1.3 土壤出现肥力下降或退化时,宜根据土壤肥力和目标产量撒施有机肥,有机肥质量应符合 NY/T 525 规定。

4.1.4 配套运用耕旋耙压整地技术使有机肥与耕层土壤混匀,每 2 年~3 年深耕一次。

### 4.2 夏玉米播前整地

4.2.1 前茬作物冬小麦秸秆宜粉碎处理,秸秆粉碎还田的作业质量应按 NY/T 500 的规定执行。

4.2.2 整地方式可采用免耕直播。

4.2.3 免耕直播的粉碎秸秆宜均匀覆盖地表。

### 4.3 品种选择与播种

4.3.1 品种应选择适宜当地条件通过国家或省级审定的品种或当地主栽品种,宜选择节水性、抗病性、抗倒性强的品种。

4.3.2 种子质量应符合 GB 4404.1 的规定。

4.3.3 冬小麦播种量应综合考虑品种特性、土壤肥力、气候条件等因素,播期见附录 A 中表 A.1。

4.3.4 夏玉米种植密度应综合考虑品种特性、土壤肥力、气候条件等因素,播期见表 A.2。

### 4.4 收获

4.4.1 冬小麦收获时间应综合考虑成熟程度和天气条件,宜选择完熟期、晴朗干燥的天气收获。

4.4.2 夏玉米收获时间应综合考虑成熟程度和天气条件,遇连续阴雨天气可适当提前或推后收获。

## 5 智能喷灌系统组成

### 5.1 喷灌系统

5.1.1 喷灌系统应由水源工程、首部枢纽、输配水管网、喷灌设备组成。

5.1.2 喷灌水水质应符合 GB 5084 的规定。当地表水水源含沙量较大时,宜在系统首部设置沉砂池,沉砂池设计应按 SL 56 的规定执行。

5.1.3 首部枢纽可包括水泵、施肥系统、过滤器、量测控制设备、安全防护装置等。

5.1.4 过滤器选型应结合水源类型与杂质特征选配,过滤器性能与安装应按 GB/T 18690.1 的规定执行。

5.1.5 量测控制设备可包括流量计和压力表,流量计允许误差 $\pm 5\%$ ,应支持数据远传。

5.1.6 安全防护装置可包括压力调节阀、缓闭止回阀、空气阀、雷电保护器、电机保护器等。

5.1.7 喷灌系统选型宜选择管道式喷灌、微喷带灌溉、中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机和卷盘式喷灌机,喷灌系统施工和安装应按 GB/T 50085 的规定执行。

### 5.2 施肥系统

5.2.1 施肥系统应由施肥装置、混肥设备、控制阀等组成。

5.2.2 施肥装置宜选用具备变频调速或肥量调节功能的施肥泵或智能施肥机,装置性能应符合 GB/T 43908 的规定。

5.2.3 混肥设备宜选用具有搅拌功能的混肥罐。

5.2.4 中心支轴式喷灌机施肥系统宜安装在中心支座旁边;渠道供水的平移式喷灌机施肥系统应安装在驱动台车上;拖移管道供水的平移式喷灌机施肥系统可安装在驱动台车上或泵房内;卷盘式喷灌机、管道式喷灌及微喷带的施肥系统宜安装在泵房内、给水栓或轮灌小区进口处。

5.2.5 水肥一体化中的肥料选型宜选择水溶性肥或液体肥,肥料质量应符合 HG/T 4365 的规定。

### 5.3 智能系统

5.3.1 智能系统应由定位系统、监测系统、控制系统和决策系统组成。

5.3.2 定位系统宜采用北斗或全球定位系统。

5.3.3 全球导航卫星系统宜安装在中心支轴式喷灌机的末端悬臂上、平移式喷灌机的主机跨上、卷盘式喷灌机的喷头车上。

5.3.4 监测系统宜由土壤墒情监测仪器、无人机遥感系统和视频监控监控系统组成,土壤墒情监测仪器和视频监控监控系统应具备数据无线传输功能。

5.3.5 土壤墒情监测仪器的技术条件应符合 GB/T 28418 的规定。

5.3.6 同一喷灌系统内宜选择典型地块布设 1 个~2 个土壤墒情监测仪器安装点位。

5.3.7 垂直方向土壤墒情监测仪器的安装应按 SL/T 364 的规定执行。

5.3.8 无人机遥感系统的技术条件应符合 GB/T 45631 的规定。

5.3.9 无人机遥感系统可选用无人机热成像系统、无人机多光谱系统或无人机高光谱系统。

5.3.10 搭载有遥感系统的无人机飞行时,风速不宜超过 5.4 m/s,云量覆盖率不宜超过 30%。

5.3.11 视频监控监控系统应具备夜视功能,系统联网技术应符合 GB/T 28181 的规定。

5.3.12 决策系统应由灌水时间判断、灌水量计算、施肥量计算、管理分区、变量灌溉处方图生成、变量施肥处方图生成等模块组成。

5.3.13 控制系统应由变频供水控制设备、流量计、电磁阀、电动阀、阀控器、APP 等组成。

5.3.14 控制系统宜与决策系统融合。

## 6 智能灌溉与施肥决策

### 6.1 冬小麦灌溉制度

6.1.1 冬小麦生育期宜划分为 7 个生育阶段,苗期、越冬期、返青期、拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期,每个生育阶段的开始和结束时间见表 A.1。

6.1.2 每个生育阶段的灌水时间和灌水量应根据智能灌溉决策系统进行确定。

6.1.3 返青期、拔节期的灌水时间应先根据苗情和土壤墒情综合判断,冬小麦苗情的判断方法见附录 B 中表 B.1,灌水时段的确定见表 B.2,灌水时间根据智能灌溉决策系统进行确定。

6.1.4 当天气预报有干热风时,干热风发生当天可每亩喷水  $3\text{ m}^3\sim 5\text{ m}^3$ 。

注:1亩 $\approx 667\text{ m}^2$ 。

6.1.5 灌水量应由灌水上限值与土壤墒情实测值的差值计算,按照 GB/T 50085 的规定执行,计划湿润层深度和灌水上限指标见附录 C 中表 C.1。

6.1.6 计算灌水量不超过 5 mm 的生育阶段,可延后灌溉。

### 6.2 夏玉米灌溉制度

6.2.1 夏玉米生育期宜划分为 6 个生育阶段,播种~出苗期、苗期、拔节期、喇叭口期、抽雄吐丝期、灌浆期,每个生育阶段的开始和结束时间见表 A.2。

6.2.2 播种后宜灌水,每亩灌水  $20\text{ m}^3\sim 30\text{ m}^3$ 。

6.2.3 生育阶段的灌水时间和灌水量应根据智能灌溉决策系统进行确定。

6.2.4 灌水量应由灌水上限值与土壤墒情实测值的差值计算,按照 GB/T 50085 的规定执行,计划湿润层深度和灌水上限指标见表 C.2。

6.2.5 计算灌水量不超过 5 mm 的生育阶段,可延后灌溉。

### 6.3 智能灌溉决策

6.3.1 智能灌溉决策流程图可见附录 D 中图 D.1。

6.3.2 灌水前宜利用无人机遥感系统获取农田水分亏缺分布图。

6.3.3 搭载热成像系统的无人机飞行时间,冬小麦宜选择在当地正午前 1 h~正午后 3 h,夏玉米宜选择在当地正午前 1 h~正午后 4 h。

6.3.4 搭载多光谱系统的无人机飞行时间,宜选择在当地正午前 1 h~正午后 2 h。

6.3.5 基于无人机热成像系统的作物水分亏缺分布图、管理分区和变量灌溉处方图生成方法的具体流程可见附录 E 中 E.1。

6.3.6 基于无人机多光谱系统的作物水分亏缺分布图、管理分区和变量灌溉处方图生成方法的具体流程可见 E.2。

6.3.7 基于无人机热成像和多光谱系统信息融合的作物水分亏缺分布图、管理分区和变量灌溉处方图生成方法可见 E.3。

6.3.8 变量灌溉处方图的生成应由变量灌溉决策系统完成。

6.3.9 变量灌溉处方图的执行应由变量灌溉控制系统完成。

6.3.10 中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机的控制系统可通过调节喷灌机行走速度和电磁阀脉冲占空比实现变量灌溉;卷盘式喷灌机的控制系统可通过调节喷灌机行走速度实现变量灌溉;管道式喷灌和

微喷带灌溉的控制系统可通过调节电磁阀或电动阀启闭时间实现变量灌溉。

#### 6.4 冬小麦施肥制度

- 6.4.1 冬小麦氮肥施用量宜按照目标产量和百千克籽粒吸氮量的乘积计算。
- 6.4.2 氮磷钾肥的施用比例宜为  $N:P_2O_5:K_2O=1:0.3\sim 0.8:0.3\sim 0.5$ 。
- 6.4.3 氮肥基施比例宜为 40%~50%，基肥可选用复合肥或掺混肥。
- 6.4.4 磷钾肥基施比例可由复合肥或掺混肥中的氮磷钾配比确定。
- 6.4.5 基肥宜采用播种时同步施入土壤。
- 6.4.6 返青~拔节期、抽穗~灌浆初期可分别按照 75% 和 25% 的比例将基施后剩余氮肥采用喷灌水肥一体化追施。
- 6.4.7 返青~拔节期宜将基施后剩余磷肥和钾肥采用喷灌水肥一体化追施。
- 6.4.8 返青~拔节期的水肥一体化追施时间可见表 B.2。
- 6.4.9 冬小麦的氮肥推荐施肥制度可见附录 F 中表 F.1。

#### 6.5 夏玉米施肥制度

- 6.5.1 夏玉米氮肥施用量宜按照目标产量和百千克籽粒吸氮量的乘积计算。
- 6.5.2 氮磷钾肥的施用比例宜为  $N:P_2O_5:K_2O=1:0.3\sim 0.5:0.3\sim 0.5$ 。
- 6.5.3 氮肥基施比例宜为 30%~40%，基肥可选用复合肥或掺混肥。
- 6.5.4 磷钾肥基施比例可由复合肥或掺混肥中的氮磷钾配比确定。
- 6.5.5 基肥宜采用播种时同步施入土壤。
- 6.5.6 拔节~喇叭口期、抽雄~灌浆初期可分别按照 80% 和 20% 的比例将基施后剩余氮肥采用喷灌水肥一体化追施，追施时间宜结合降雨预报，中雨停止 2 d 后追肥，大雨及以上宜停止 3 d~4 d 后追肥。
- 6.5.7 拔节~喇叭口期宜将基施后剩余磷肥和钾肥采用喷灌水肥一体化追施。
- 6.5.8 氮肥喷施浓度上限应不超过 0.4%。
- 6.5.9 夏玉米的氮肥推荐施肥制度可见附录 F 表 F.2。

#### 6.6 智能施肥决策

- 6.6.1 基肥宜采用均一施肥，追肥宜采用变量施肥，智能施肥决策流程图见图 D.2。
- 6.6.2 追肥前宜利用无人机遥感系统获取农田作物养分亏缺分布图。
- 6.6.3 基于无人机多光谱系统的作物养分亏缺分布图、管理分区和变量施肥处方图生成方法可见附录 G。
- 6.6.4 变量施肥处方图的生成应由变量灌溉决策系统完成。
- 6.6.5 变量施肥处方图的执行应由变量灌溉控制系统和施肥装置完成。

### 7 田间运行管理与维护

#### 7.1 管理区划分

- 7.1.1 管道式喷灌和微喷带灌溉的最小管理区宜为单个轮灌小区控制面积，最小管理区见附录 H 中图 H.1。
- 7.1.2 中心支轴式喷灌机的最小管理区宜为扇形网格，最小管理区见图 H.2。
- 7.1.3 平移式喷灌机和桁架卷盘式喷灌机的最小管理区宜为正方形网格，最小管理区见图 H.3 和图 H.4。

7.1.4 单喷头卷盘式喷灌机的最小管理区宜为长方形网格,最小管理区见图 H.5。

## 7.2 检查与维护

7.2.1 灌溉前应检查无人机、传感器、电磁阀、电动阀、阀控器、水泵、喷灌系统、施肥系统、软件系统等工作是否有异常,如有异常应及时检修或更换损坏部件。

7.2.2 运行中应实时监测系统压力和流量、肥液浓度和注肥量,根据压力、流量变化及时调整水泵压力或检查管道是否存在堵塞、漏水等问题。

7.2.3 非灌溉季,将管道式喷灌喷头、竖管及支架、移动管道、微喷带、卷盘式喷灌机、施肥系统收回室内储存。

7.2.4 冬季及时排空管道和水泵内存留水量。

## 附录 A

(资料性)

## 冬小麦和夏玉米生育阶段时间参照表

表 A.1 和表 A.2 给出了冬小麦-夏玉米轮作区冬小麦、夏玉米生育阶段的参照时间。

表 A.1 冬小麦生育阶段时间参照表

生育阶段	时间
播种~苗期	10月11日—11月30日
越冬期	12月1日—2月10日
返青期	2月11日—3月20日
拔节期	3月21日—4月10日
孕穗期	4月11日—4月20日
抽穗期	4月21日—4月30日
灌浆期	5月1日—5月25日

注：表中时间为多年平均参考值，实际应用中根据当年气象条件和作物实际生育进程进行调整。

表 A.2 夏玉米生育阶段时间参照表

生育阶段	时间
播种~出苗期	6月5日—6月18日
苗期	6月19日—7月10日
拔节期	7月11日—7月15日
喇叭口期	7月16日—7月29日
抽雄吐丝期	7月30日—8月10日
灌浆期	8月11日—9月15日

注：表中时间为多年平均参考值，实际应用中根据当年气象条件和作物实际生育进程进行调整。

## 附 录 B

(资料性)

冬小麦苗情判断和返青~拔节期灌水施肥时间参照表

表 B.1 和表 B.2 给出了冬小麦苗情判断方法、冬小麦返青~拔节期灌水施肥时间确定方法。

表 B.1 冬小麦苗情分类标准参照表

生育时期	项目	旺苗	壮苗		弱苗(三类苗)
			一类苗	二类苗	
越冬期	主茎叶龄	≥6.5叶	5叶~6.5叶	4叶~5叶	<4叶
	单株次生根	—	>4条	2条~4条	<2条
	单株分蘖数	—	3个~5个	2个~3个	<2个
	亩总茎蘖数	>100万	70万~100万	50万~70万	<50万
	长势长相	叶色浓绿	叶色绿,蘖壮	叶色绿	叶色浅绿,蘖弱
返青期	单株次生根	—	>4.5条	2.5条~4.5条	<2.5条
	单株分蘖数	—	3.2个~5.2个	2.2个~3.2个	<2.2个
	亩总茎蘖数	>105万	75万~105万	55万~75万	<55万
	长势长相		冻害轻于2级	或冬前壮、旺苗发生3级冻害时	或冬前壮、旺苗发生4级冻害时
返青后期	单株次生根	—	>8条	5条~8条	<5条
	单株分蘖数	—	4.2个~6.2个	3.2个~4.2个	<3.2个
	亩总茎蘖数	>120万	90万~120万	60万~90万	<60万
	长势长相	叶片披长,叶色浓绿,蘖弱	叶色绿,蘖壮	叶色绿	叶片短小,叶色浅绿,蘖弱
拔节期	单株次生根	—	>10条	7条~10条	<7条
	单株分蘖数	—	4个~6个	3个~4个	<3个
	亩总茎蘖数	—	85万~115万	55万~85万	<55万
	长势长相	叶片披长,叶色浓绿,蘖弱	叶色绿,蘖壮	叶色绿	叶片短小,叶色浅绿,蘖弱
穗期	亩穗数	—	>45万	38万~45万	<38万

表 B.2 冬小麦返青~拔节期灌水施肥时间参照表

苗情	土壤相对含水量/%			
	不缺水	轻度缺水	中度缺水	重度缺水
	>70	60~70	50~60	<50
旺苗	拔节后后期	拔节后后期	拔节后后期	拔节中期
壮苗(一类苗)	拔节中期	拔节中期	拔节初期	返青期
壮苗(二类苗)	返青后期	返青后期	返青期	
弱苗(三类苗)	返青后期	返青期		

注：表中的土壤相对含水量为土壤含水量占田间持水量的百分数。

## 附录 C

(资料性)

冬小麦和夏玉米计划湿润层深度和灌水上限参照表

表 C.1 和表 C.2 给出了冬小麦和夏玉米不同生育阶段的计划湿润层深度和适宜灌水上限,其中,土壤相对含水量为土壤含水量占田间持水量的百分数。

表 C.1 冬小麦不同生育阶段计划湿润层深度和适宜灌水上限

生育阶段	计划湿润层深度/cm	灌水上限/%
播种~出苗期	20~30	75~85
越冬期	30~40	90~95
返青期	50~60	90~95
拔节期	50~60	90~95
孕穗期	50~60	90~95
抽穗期	50~60	90~95
灌浆期	40~50	70~85

注：表中的灌水上限为土壤相对含水量,即土壤含水量占田间持水量的百分数。

表 C.2 夏玉米不同生育阶段计划湿润层深度和适宜灌水上限

生育阶段	计划湿润层深度/cm	灌水上限/%
播种~出苗期	20~30	70~85
苗期	30~40	75~85
拔节期	40~50	80~90
喇叭口期	50~60	80~90
抽雄吐丝期	50~60	75~85
灌浆期	50~60	75~85

注：表中的灌水上限为土壤相对含水量,即土壤含水量占田间持水量的百分数。

附录 D

(资料性)

智能灌溉施肥决策参考流程图

图 D.1 和图 D.2 给出了智能灌溉和智能施肥决策的流程图。

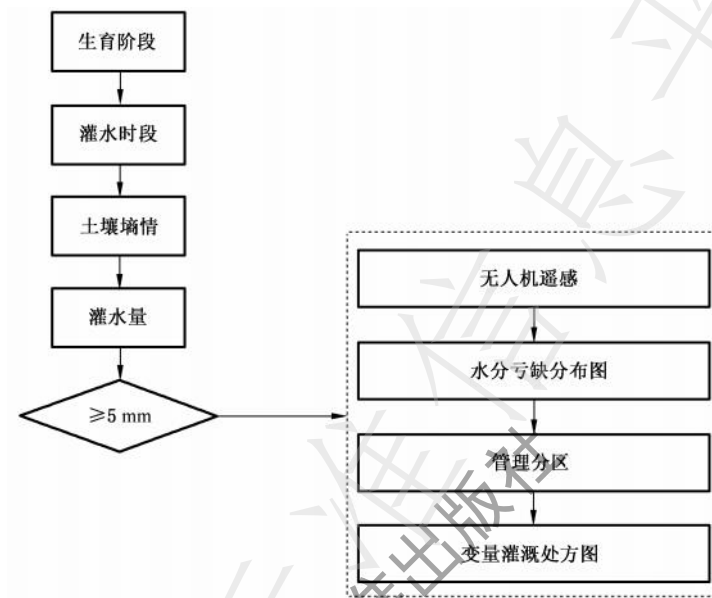


图 D.1 智能灌溉决策流程图

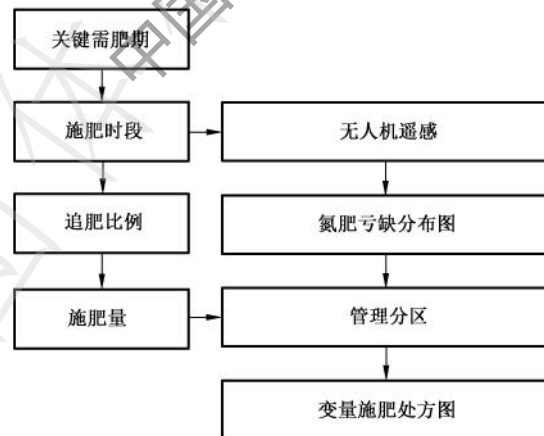


图 D.2 智能施肥决策流程图

## 附录 E

(资料性)

## 变量灌溉处方图生成方法参照流程

## E.1 基于无人机热成像系统的变量灌溉处方图生成方法

基于无人机热成像系统的变量灌溉处方图生成方法可按以下步骤执行。

- 将无人机热成像系统获取图像采用专业图像处理软件进行校正与拼接,生成喷灌系统控制单元的正射影像图。
- 将颜色值转化为温度,得到冠层温度的空间分布图。
- 按公式(E.1)计算归一化冠层温度  $NRCT$ ,得到  $NRCT$  的空间分布图。

$$NRCT = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

$T$  ——喷灌系统控制单元内每个采样点冠层温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{\min}$  ——喷灌系统控制单元内冠层温度最小值,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{\max}$  ——喷灌系统控制单元内冠层温度最大值,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )。

- 将  $NRCT$  空间分布图与最小管理区图进行叠加,计算每个最小管理区内的  $NRCT$  平均值。
- 利用“K 均值聚类法”将每个最小管理区的  $NRCT$  平均值进行聚类分析,分为 3 类~5 类管理区。将计算的作物不同生育阶段灌水量乘以每类管理区的聚类中心,得到每类管理区的灌水量。
- 由每类管理区灌水量得到喷灌机行走速度、电磁阀脉冲占空比或阀门启闭时间的调控实施方案。

## E.2 基于无人机多光谱系统的变量灌溉处方图生成方法

基于无人机多光谱系统的变量灌溉处方图生成方法可按以下步骤执行。

- 将无人机多光谱系统获取图像采用专业图像处理软件进行校正与拼接,生成喷灌系统控制单元的正射影像图。
- 按公式(E.2)计算优化土壤调节植被指数  $OSAVI$ 。

$$OSAVI = \frac{(1 + 0.16) \times (NIR - R)}{NIR + R + 0.16} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

$NIR$  ——近红外波段地物反射率;

$R$  ——红色波段地物反射率。

- 按公式(E.3)计算归一化植被指数  $NOSAVI$ ,并按公式(E.4)计算每个最小管理区内的  $NOSAVI_i$ ,得到  $NOSAVI_i$  的空间分布图。

$$NOSAVI = \frac{OSAVI - OSAVI_{\min}}{OSAVI_{\max} - OSAVI_{\min}} \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

$$NOSAVI_i = 1 - NOSAVI \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

式中:

$OSAVI_{\min}$  ——喷灌系统控制单元内  $OSAVI$  最小值;

$OSAVI_{\max}$  ——喷灌系统控制单元内  $OSAVI$  最大值。

- d) 将  $NOSAVI_i$  空间分布图与最小管理区图进行叠加,计算每个最小管理区内的  $NOSAVI_i$  平均值。
- e) 利用“K 均值聚类法”将每个最小管理区的  $NOSAVI_i$  平均值进行聚类分析,分为 3 类~5 类管理区。将计算的作物不同生育阶段灌水量乘以每类管理区的聚类中心,得到每类管理区的灌水量。
- f) 由每类管理区灌水量得到喷灌机行走速度、电磁阀脉冲占空比或阀门启闭时间的调控实施方案。

### E.3 基于无人机热成像和多光谱系统信息融合的变量灌溉处方图生成方法

基于无人机热成像和多光谱系统信息融合的变量灌溉处方图生成方法可按以下步骤执行:

- a) 将无人机热成像系统获取图像采用专业图像处理软件进行校正与拼接,对无人机多光谱系统获取的图像进行校正拼接,生成喷灌系统控制单元的正射影像图。
- b) 将颜色值转化为温度,得到冠层温度的空间分布图。
- c) 按公式(E.1)计算  $NRCT$ ,得到  $NRCT$  的空间分布图。
- d) 按公式(E.2)~公式(E.4)计算  $NOSAVI_i$ ,得到  $NOSAVI_i$  的空间分布图。
- e) 将  $NRCT$  空间分布图与最小管理区图进行叠加,计算每个最小管理区内的  $NRCT$  平均值。
- f) 将  $NOSAVI_i$  空间分布图与最小管理区图进行叠加,计算每个最小管理区内的  $NOSAVI_i$  平均值。
- g) 利用“K 均值聚类法”将每个最小管理区的  $NRCT$  平均值和  $NOSAVI_i$  平均值进行聚类分析,分为 3 类~5 类管理区。将计算的作物不同生育阶段灌水量乘以每类管理区的  $NRCT$  聚类中心,得到每类管理区的灌水量。
- h) 由每个管理区灌水量得到喷灌机行走速度、电磁阀脉冲占空比或阀门启闭时间的调控实施方案。

## 附录 F

(资料性)

## 冬小麦和夏玉米推荐施肥制度表

表 F.1 和表 F.2 给出了冬小麦和夏玉米氮肥施用的推荐施肥制度表。

表 F.1 冬小麦氮肥推荐施肥制度

单位为千克每公顷

目标产量	6 000	6 750	7 500	8 250	9 000	9 750	10 500
播种期	55	62	69	76	83	90	97
返青—拔节期	62	70	78	85	93	101	109
抽穗—灌浆初期	21	23	26	29	31	33	36
总计	138	155	173	190	207	224	242

表 F.2 夏玉米氮肥推荐施肥制度

单位为千克每公顷

目标产量	7 500	9 000	10 500	12 000	13 500	15 000	16 500
播种期	48	57	66	76	85	95	104
拔节—大喇叭口期	88	106	124	141	159	176	194
抽穗—灌浆初期	22	26	31	35	40	44	49
总计	158	189	221	252	284	315	347

## 附 录 G

(资料性)

## 基于无人机多光谱系统的变量施肥处方图生成方法

基于无人机多光谱系统的变量施肥处方图生成方法可按以下步骤执行。

- a) 将无人机多光谱系统获取图像利用专业图像处理软件进行图像校正拼接,生成喷灌系统控制单元的正射影像图。
- b) 对于冬小麦,按公式(G.1)计算红边土壤调节植被指数  $RESAVI$ ,得到  $RESAVI$  的空间分布图。

$$RESAVI = \frac{1.5 \times (NIR - RE)}{NIR + RE + 0.5} \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

$NIR$  —— 近红外波段地物反射率;

$RE$  —— 红边波段地物反射率。

- c) 对于夏玉米,按公式(G.2)计算绿色归一化差异植被指数  $GNDVI$ ,得到  $GNDVI$  的空间分布图。

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G} \dots\dots\dots (G.2)$$

式中:

$G$  —— 绿色波段地物反射率。

- d) 将  $RESAVI$ 、 $GNDVI$  空间分布图与最小管理区图进行叠加,计算每个最小管理区内的  $RESAVI$ 、 $GNDVI$  平均值。
- e) 利用“K 均值聚类法”将每个最小管理区的  $RESAVI$ 、 $GNDVI$  平均值进行聚类分析,分为 3 类~5 类管理区。
- f) 按公式(G.3)和公式(G.4)分别计算冬小麦、夏玉米关键需肥期每类管理区的追施氮肥量  $N_i$ 。

$$N_i = N_{ST} \times \sqrt{\frac{RESAVI_{max} - RESAVI_i}{RESAVI_{max} - RESAVI_{min}}} \dots\dots\dots (G.3)$$

$$N_i = N_{ST} \times \sqrt{\frac{GNDVI_{max} - GNDVI_i}{GNDVI_{max} - GNDVI_{min}}} \dots\dots\dots (G.4)$$

式中:

$N_{ST}$  —— 冬小麦、夏玉米关键需肥期的计算施氮量,可见表 F.1、表 F.2;

$RESAVI_{min}$ 、 $GNDVI_{min}$  —— 最小管理区内  $RESAVI$ 、 $GNDVI$  平均值的最小值;

$RESAVI_{max}$ 、 $GNDVI_{max}$  —— 最小管理区内  $RESAVI$ 、 $GNDVI$  平均值的最大值;

$RESAVI_i$ 、 $GNDVI_i$  —— 第  $i$  类管理区的聚类中心。

- g) 由施肥量得到喷灌机行走速度、电磁阀脉冲占空比或阀门启闭时间、施肥泵注肥浓度的调控实施方案。

附录 H  
(资料性)  
最小管理区示意图

图 H.1~图 H.5 给出了不同喷灌设备类型的最小管理区示意图。

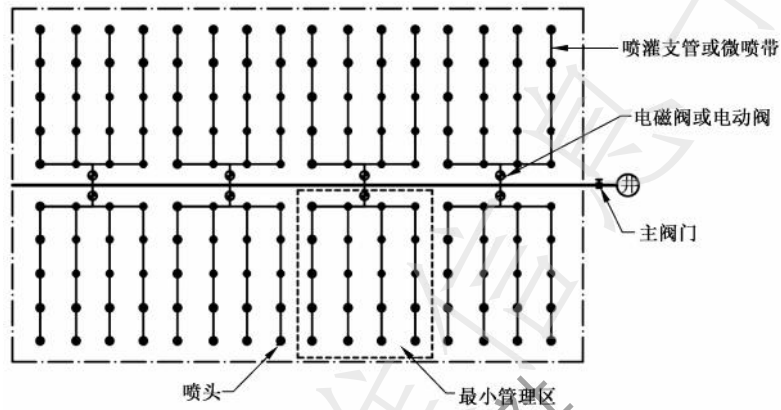


图 H.1 管道式喷灌和微喷带灌溉最小管理区

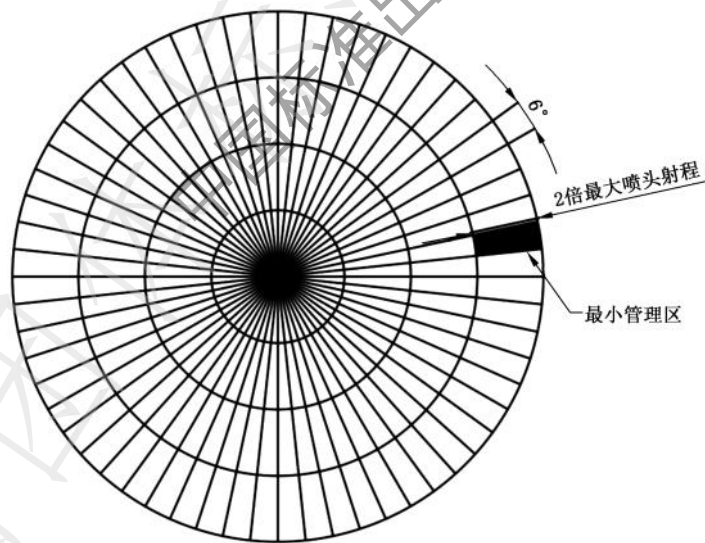


图 H.2 中心支轴式喷灌机最小管理区

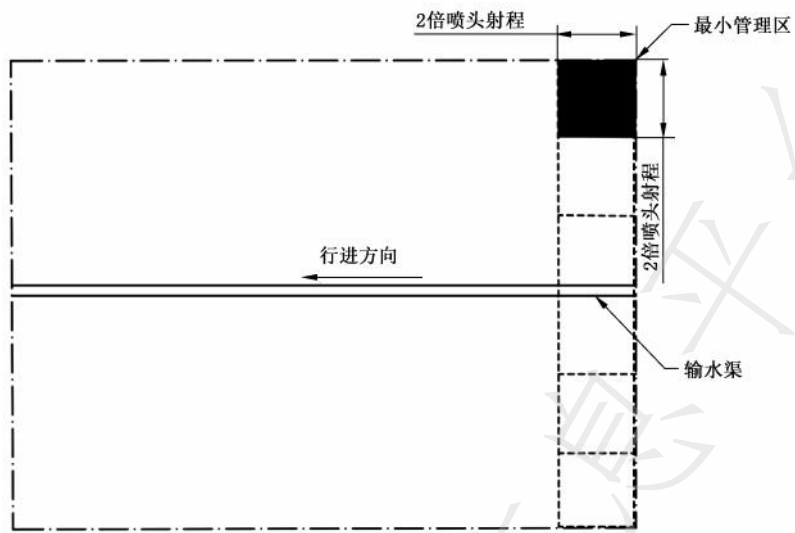


图 H.3 平移式喷灌机最小管理区

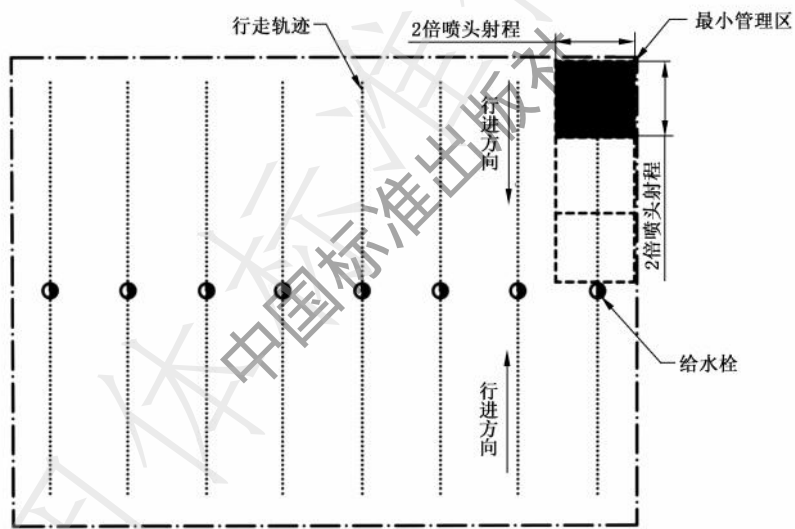


图 H.4 桁架式卷盘喷灌机最小管理区

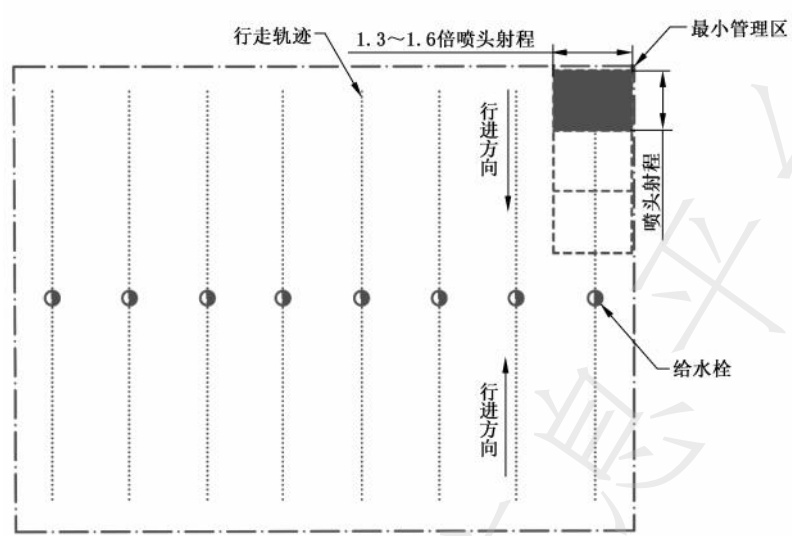


图 H.5 单喷头卷盘式喷灌机最小管理区