ICS \*\*.\*\*\*.\*\*

CCS B \*\*

**团体标准**

T/JSGS \*\*\*—2025

**小麦玉米复种连作水肥一体化智能喷灌技术规程**

**（征求意见稿）**

**Technical Specification for Smart Sprinkler Fertigation in Multiple Continuous Cropping System of Wheat and Maize**

**202\*-\*\*-\*\*发布 202\*-\*\*-\*\*实施**

**中国农业节水和农村供水技术协会 发布**

目 次

[前言 II](#_Toc29642)

[1 范围 1](#_Toc12229)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc29523)

[3 术语和定义 1](#_Toc6234)

[4 总体要求 3](#_Toc6049)

[4.1 小麦播前整地 3](#_Toc22114)

[4.2 玉米播前整地 3](#_Toc3407)

[4.3 品种选择与播期 3](#_Toc21547)

[4.4 水肥 3](#_Toc11554)

[4.5 收获 3](#_Toc2121)

[5 智能喷灌系统组成 4](#_Toc14496)

[5.1 喷灌系统 4](#_Toc18023)

[5.2 施肥系统 4](#_Toc21528)

[5.3 智能系统 4](#_Toc2980)

[6 智能灌溉与施肥决策 5](#_Toc29205)

[6.1 冬小麦灌溉制度 5](#_Toc19128)

[6.2 夏玉米灌溉制度 5](#_Toc17244)

[6.3 智能灌溉决策 5](#_Toc7805)

[6.4 冬小麦施肥制度 6](#_Toc6111)

[6.5 夏玉米施肥制度 6](#_Toc15764)

[6.6 智能施肥决策 6](#_Toc16466)

[7 田间运行管理与维护 6](#_Toc8241)

[7.1 最小管理区 6](#_Toc15675)

[7.2 检查与维护 7](#_Toc4443)

[附录A 8](#_Toc12214)

[附录B 9](#_Toc20141)

[附录C 11](#_Toc2726)

[附录D 12](#_Toc7111)

[附录E 14](#_Toc15396)

# 前 言

本文件按照 GB/T1.1—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。

本文件为首次发布。

小麦玉米复种连作水肥一体化智能喷灌技术规程

# 范围

本文件规定了复种连作小麦玉米水肥一体化采用智能喷灌技术的总体要求，同时规定了智能喷灌系统组成、智能灌溉与施肥决策、田间运行管理与维护等技术要求。

本文件适用于我国黄淮海平原、关中平原、晋南盆地等地的小麦玉米复种连作区水肥一体化智能喷灌工程的规划、设计和运行管理。

# 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 50085 喷灌工程技术规范

GB/T 34816-2017 农业气象灾害术语

GB/T 23348-2021 缓释肥料 养分释放率及施用方法

GB/T 28418土壤水分（墒情）监测仪器基本技术条件

GB/T 37065-2018农业生态系统碳氮循环评估技术规范

GB/T 37725 无人机遥感系统通用技术要求

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

SL 56 灌溉用沉沙池设计规范

SL 364 土壤墒情监测规范

SL 470 灌溉用过滤器基本参数及技术条件

[NY/T 525 有机肥料](https://www.so.com/link?m=uVUoVwWW8A5nFboRqXEM4YhRQXOtnbYTRhMsn3PkmZPJWXGmiuLlXTiZTBd2RotfB/L3o91Gu24FVCZ2fxMkEPJCS2t/QpqfwZXguxTOU8AqG1aDwlNFQGt8T1jVbHNhhZ/4VFD8+CXP4KMEM" \t "https://www.so.com/_blank)

NY/T 500 秸秆粉碎还田机作业质量

NY/T 1362 水肥一体化技术装备 通用要求

HG/T 4365 水溶性肥料

# 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 irrigation

利用物联网、传感器、自动化控制及农业科学等技术，通过实时感知环境数据（如土壤含水量、冠层温度等），结合作物实时需水、降雨预报、智能算法动态调整灌溉水量、时间和方式，实现精准、高效、可持续的农业用水管理的喷灌灌溉系统。

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开启时间，实现速度调节和分区调控，满足水量在管理区内按需动态调整的管理技术，是实现智能喷灌的重要技术方式。

3.3

管理区management zone

根据农田内部的土壤、作物、地形、坡度等空间异质性，划分出的具有相似灌溉需求的区域单元。

3.4

最小管理区minimum management zone

在变量灌溉系统中，由设备精度确定的能够独立调控水量的最小农田空间单元。

3.5

土壤墒情 soil moisture content

影响作物生长发育的土壤水分含量指标，是以土壤中实际贮存的、可供作物利用的水量多少为依据判别土壤的水分状况，一般采用土壤含水量占田间持水量的百分数，即土壤相对含水量表示。

3.6

灌溉处方图 irrigation prescription map

以田间实地测得的水分数据为基础，结合农田水分亏缺空间分布特征，通过水分平衡模型计算并生成的指导变量灌溉的地图文件。

3.7

变量施肥 variable rate fertilization

运用变量灌溉技术，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，实现各种营养元素全面均衡施用的施肥方法。

3.8

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要求计算需肥量，结合农田养分亏缺空间分布特征生成的指导变量施肥的地图文件。

3.9

地表平整度 surface flatness

实际地表相对于理想平面的偏差程度，其误差通常以高程差（单位：mm 或 cm）或 坡度变化（单位：%）表示。

3.10

干热风 hot dry wind

小麦等作物生长季出现的高温、低湿并伴随一定风速的灾害性天气现象，可导致作物蒸腾失衡、灌浆受阻，核心特征是日最高气温 ≥ 30°C、相对湿度 ≤ 30%、风速 ≥ 3 m/s。

[来源：GB/T 34816-2017]

3.11

理论施氮量 theoretical nitrogen application rate

基于作物目标产量的需氮量（Nfert），等于目标产量（Y，kg·hm-2）和百千克籽粒吸氮量（N100，kg）的乘积，即理论施氮量≈Y/100×N100。目标产量为地块前3年的历史平均产量乘以10%~15%的增长率。

[来源：GB/T 23348-2021，有修改]

3.12

决策系统 decision system

基于多源数据输入，通过预设算法或人工智能技术生成农事操作建议的智能化平台，其核心功能包括数据融合、模型计算和指令输出。

[来源：GB/T 37065-2018]

# 总体要求

## 小麦播前整地

* + 1. 前茬作物玉米秸秆可粉碎处理，秸秆粉碎还田机的作业质量应符合NY/T 500的规定。
    2. 小麦播前整地需结合土壤条件实施，墒情过湿时宜晾晒至60%-70%土壤相对含水量。
    3. 土壤出现肥力下降或退化时，宜施用粪肥类有机肥，根据土壤肥力高低和目标产量，撒施商品有机肥100~200 kg/亩作为基肥，或腐熟的农家肥2.5~4.0 m3/亩，商品有机肥质量应满足NY/T 525规定。
    4. 应翻耕土地使粪肥类有机肥与耕层土壤混匀，每2-3年深耕一次，深度25-30 cm，耕地后旋耕12-15 cm。
    5. 秸秆还田地块播前宜先镇压后耙磨，常规耕作地块宜先耙磨后镇压，墒情差的地块宜先镇压保墒，黏重地块宜先耙磨疏松再镇压，耙地深度8-10 cm，耙后土块直径应不大于3 cm，地表平整度误差应不超过5 cm。
    6. 不同土壤质地的整地重点见表1。

表1 不同土壤质地的整地重点

|  |  |
| --- | --- |
| 土壤质地 | 整地重点 |
| 黏土 | 深耕深松，播前晾墒，避免播种后土壤黏连 |
| 沙土 | 增施有机肥改良结构；浅耕少动土，减少水分蒸发 |
| 盐碱地 | 深翻压盐，结合灌溉洗盐；播前耙平，播种后镇压，防止盐分上移 |
| 旱薄地 | 深耕增施有机肥，提高保水保肥能力；浅旋保墒，减少土壤扰动 |

## 玉米播前整地

* + 1. 前茬作物小麦秸秆需粉碎处理，秸秆粉碎还田机的作业质量应符合NY/T 500的规定，留茬高度不大于15 cm。
    2. 整地方式可采用免耕直播或旋耕还田。
    3. 免耕直播的秸秆宜均匀覆盖地表，覆盖率不超过30%，需配合防堵播种机。
    4. 旋耕还田秸秆掩埋深度不小于15 cm，掩埋率不低于80%。
    5. 旋耕整地深度12-15 cm，≤5 cm土块占比不低于80%。
    6. 板结地块宜每隔2-3年深松一次，深度25-30 cm。

## 品种选择、播期与密度

* + 1. 品种应通过国家或省级审定，根据当地气候条件和播种时间选择适宜品种类型，优先选择节水性、抗病性、抗倒性强的品种。
    2. 种子质量应符合GB 4404.1的规定。
    3. 整地后应尽早播种，播种深度3-5 cm。
    4. 冬小麦每亩播种量应综合考虑品种特性、地力水平、气候条件和播种期等因素，可控制在12-20公斤。
    5. 夏玉米种植密度应综合考虑品种特性、土壤肥力、气候条件和机械化水平等因素，可控制在4000-5500株/亩。

## 水肥

* + 1. 喷灌水水质应满足GB 5084的规定。
    2. 水中杂质过多，或者泥沙粒径超过0.3 mm时，首部需加装过滤器，过滤器选型应符合SL 470的规定。
    3. 肥料宜选择水溶性肥或液体肥，肥料质量应满足HG/T 4365的规定。

## 收获

* + 1. 小麦收获时间应综合考虑成熟度和天气条件，完熟期是机械收割的最佳时期，宜选择晴朗干燥的天气收获。
    2. 玉米收获时间应综合考虑生育期、天气情况和市场需求，完熟期是玉米收获的最佳时期，遇连续阴雨天气应适当提前收获，并可根据市场价格适时收获。

# 智能喷灌系统组成

## 喷灌系统

* + 1. 喷灌系统由水源工程、首部枢纽、输配水管网、喷灌设备组成。
    2. 地表水水源工程需设置取水口和沉砂池，沉砂池设计应符合SL 56的规定。
    3. 首部枢纽包括水泵、过滤器、施肥系统、计量仪表、安全防护装置等。
    4. 过滤器选型需结合水源类型与杂质特征，地表水水源宜选用砂石过滤器+叠片式过滤器，地下水水源宜选用离心过滤器+网式过滤器，过滤器性能应符合GB/T 18690.1的规定。
    5. 安全防护装置包括压力调节阀、缓闭止回阀、空气阀、雷电保护器、电机保护器等。
    6. 计量仪表包括流量计和压力表，流量计误差不超过2%，宜支持数据远传。
    7. 喷灌设备宜选择固定管道式喷灌、中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机和绞盘式喷灌机。
    8. 喷灌系统选型应根据因地制宜原则，符合GB/T 50085的规定。
    9. 喷灌系统施工和安装应按GB/T 50085规定进行。

## 施肥系统

* + 1. 施肥系统由施肥装置、混肥设备、控制阀组成。
    2. 施肥装置宜选用具备变频调速功能的柱塞泵或智能施肥机，装置性能应符合NY/T 1362的规定。
    3. 混肥设备可选用带有搅拌器的混肥罐。
    4. 中心支轴式喷灌机施肥系统宜安装在喷灌机输水主管处，平移式喷灌机施肥系统宜安装在喷灌机出水管处，绞盘式喷灌机施肥系统宜安装在给水栓与喷灌机进水口连接部分，固定管道式喷灌施肥系统宜安装在水源出水口与干管连接部分。

## 智能系统

* + 1. 智能系统由定位系统、监测系统、控制系统和决策系统组成。
    2. 定位系统宜采用全球导航卫星系统GNSS（北斗/GPS）。
    3. GNSS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、绞盘式喷灌机的喷头车上。
    4. 监测系统由土壤墒情监测仪器、无人机遥感系统和视频监控系统组成。
    5. 土壤墒情监测仪器的技术条件应符合GB/T 28418的规定。
    6. 农田内土壤墒情监测仪器的安装点位应不少于3个，可选择在0~60 cm土层1.0~1.2倍的平均黏粒含量处，或者最易发生干旱缺水的地块。
    7. 垂直方向土壤墒情监测仪器的安装应符合SL 364的规定，在每个点位监测10 cm、30 cm、50 cm土层深度的土壤含水量数据。
    8. 无人机遥感系统的技术条件应符合GB/T 37725的规定。
    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。
    10. 视频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。
    11. 控制系统由变频供水控制器、流量计、电磁阀、电磁阀控制器、APP等组成。
    12. 决策系统由灌水时间判断、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。
    13. 控制系统可与决策系统融合，作为决策系统的功能模块之一。
    14. 决策系统可安装在手机或电脑端。

# 智能灌溉与施肥决策

## 冬小麦灌溉制度

* + 1. 冬小麦生育期宜划分为6个关键需水期，苗期、越冬期、返青-拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期，每个关键需水期的开始和结束时间可参考附录A.1。
    2. 苗期的灌水时间为播种后5-7 d。
    3. 越冬期、孕穗期、抽穗期的灌水时间为冬小麦进入每个关键需水期的日期。
    4. 冬小麦进入越冬期的气象学判定标准为日平均气温≤3℃ 持续 5天以上，且土壤表层（0~5 cm）温度≤5℃，或出现 ≤-5℃ 的寒潮。
    5. 返青~拔节期的灌水时间应根据苗情和土壤墒情综合判断，小麦苗情的判断方法可参考附录B.1，灌水时间的确定可参考附录B.2。
    6. 灌浆期的灌水时间宜结合干热风综合确定。当天气预报有干热风时，应在干热风开始前完成灌水。
    7. 灌水量由规定上限值与灌水当天土壤墒情仪实测土壤含水量的差值计算，应符合GB/T 50085中最大灌水定额计算方法的规定，其中的计划湿润层深度和灌水上限指标可参考附录C.1，土壤持水能力较高地块，灌水上限取低值。
    8. 计算灌水量不超过5 mm，该关键需水期不需要进行灌溉。
    9. 干热风发生当天可每亩喷水2~5 m3。

## 夏玉米灌溉制度

* + 1. 夏玉米生育期宜划分为6个关键需水期，播种-出苗期、苗期、拔节期、大喇叭口期、抽穗期、灌浆期，每个关键需水期的开始和结束时间可参考附录A.2。
    2. 播种-出苗期的灌水时间为播种后立刻灌水。
    3. 苗期的灌水时间为夏玉米出现第3片完全展开真叶的日期。
    4. 拔节期、大喇叭口期、抽穗期、灌浆期的灌水时间为夏玉米进入每个关键需水期的日期。
    5. 灌水量由规定上限值与灌水当天土壤墒情仪实测土壤含水量的差值计算，应符合GB/T 50085中最大灌水定额计算方法的规定，其中的计划湿润层深度和灌水上限指标可参考附录C.2，土壤持水能力较高地块，灌水上限取低值。
    6. 计算灌水量不超过5 mm，该关键需水期不需要进行灌溉。

## 智能灌溉决策

* + 1. 冬小麦播种~返青期、夏玉米播种~苗期的灌水宜采用均一灌溉，拔节~灌浆期的灌水可采用变量灌溉。
    2. 拔节期后灌水前，飞行无人机遥感系统，获取农田内作物水分亏缺空间分布图。
    3. 无人机遥感系统可选择无人机热成像系统、无人机多光谱系统。
    4. 无人机遥感系统飞行时，风速宜不超过4级，云量宜不超过3成。
    5. 冬小麦生育期内无人机热成像系统飞行时间段宜选择在11:00~15:00，夏玉米生育期内宜选择在 11:00~16:00。
    6. 无人机多光谱系统飞行时间段宜选择在11:00~14:00。
    7. 基于无人机热成像系统的作物水分亏缺空间分布图、管理分区和变量灌溉处方图生成方法的具体流程可参考附录D.1。
    8. 基于无人机多光谱系统的作物水分亏缺空间分布图、管理分区和变量灌溉处方图生成方法的具体流程可参考附录D.2。
    9. 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空间分布图、管理分区和变量灌溉处方图生成方法可参考附录D.3。
    10. 变量灌溉处方图的生成应依托变量灌溉决策系统完成。
    11. 变量灌溉处方图的执行应依托变量灌溉控制系统完成。
    12. 中心支轴式喷灌机、平移式喷灌机和绞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。固定管道式喷灌的控制系统可通过调节电磁阀打开时间实现变量灌溉。

## 冬小麦施肥制度

* + 1. 氮肥施用量等于理论施氮量。
    2. 氮磷钾的施用比例宜为N:P2O5:K2O=1:0.3~0.8:0.3~0.8，磷、钾高肥力地块取低值。
    3. 磷肥和钾肥可全部基施。
    4. 氮肥基施比例宜为40%~50%，土壤偏黏地块取大值。返青~拔节期、抽穗期可分别按照75%和25%的比例将剩余氮肥采用喷灌水肥一体化追施。
    5. 返青~拔节期、抽穗期的氮肥追施时间和灌溉相同，可参考附录B.2。

## 夏玉米施肥制度

* + 1. 氮肥施用量等于理论施氮量。
    2. 氮磷钾的施用比例宜为N:P2O5:K2O=1:0.3~0.8:0.3~0.8，磷、钾高肥力地块取低值。
    3. 磷肥和钾肥可全部基施。
    4. 氮肥基施比例宜为30%~40%，土壤偏黏地块取大值。拔节~大喇叭口期、抽穗~灌浆初期可分别按照80%和20%的比例将剩余氮肥采用喷灌水肥一体化追施，追施时间需结合降雨预报综合判断，如有中雨以上等级降雨，在降水后2 d追肥。
    5. 玉米小喇叭口期、大喇叭口期、抽穗期和灌浆期适宜的氮肥喷施浓度分别为0.1%~0.8%、0.4%、0.25%~0.4%和0.25%~0.4%。

## 智能施肥决策

* + 1. 基肥宜采用均一施肥，追肥宜采用变量施肥。
    2. 追肥前飞行无人机遥感系统，获取农田内作物养分亏缺空间分布图。
    3. 无人机遥感系统可选择无人机多光谱系统。
    4. 无人机遥感系统飞行时，风速宜不超过4级，云量宜不超过3成。
    5. 无人机多光谱系统飞行时间段宜选择在11:00~14:00。
    6. 基于无人机多光谱系统的作物养分亏缺空间分布图、管理分区和变量施肥处方图生成方法可参考附录E.1。
    7. 变量施肥处方图的生成应依托变量灌溉决策系统完成。
    8. 变量灌溉施肥处方图的执行应依托变量灌溉控制系统和施肥系统完成，通过调节不同管理区施肥装置注肥速率实现变量施肥。

# 田间运行管理与维护

## 最小管理区

* + 1. 固定管道式喷灌的最小管理区可为一个轮灌组控制面积，通过调节电磁阀开启时间实现变量灌溉管理。
    2. 中心支轴式喷灌机的最小管理区可为一个大于2º的扇形角，通过调节喷灌机行走速度实现变量灌溉管理。
    3. 平移式喷灌机、绞盘式喷灌机的最小管理区长度和宽度可为沿喷灌机行走方向的喷头射程，通过改变喷灌机行走速度实现变量灌溉管理。

## 检查与维护

* + 1. 运行前检查喷灌系统、施肥系统、智能系统部件是否有异常，并检查水泵和喷灌机运行参数、喷头的工作状态和布局、搅拌装置是否正常运行，及时检修或更换损坏件。
    2. 运行中实时监测系统压力，根据压力变化及时调整水泵的运行参数或检查管道是否存在堵塞等问题。
    3. 运行中实时监测系统流量，根据流量变化及时发现管道漏水、喷头堵塞或水泵故障等问题。
    4. 运行后定期检查喷头磨损状态、管道防锈层，为水泵、施肥泵等转动部分及时加油防锈，定期清理过滤设备和施肥罐内残留肥料，定期检查电磁阀密封性和动作灵活性。
    5. 非灌溉季，将固定式喷灌立杆、绞盘式喷灌机、施肥系统收回后室内储存。
    6. 冬季及时排空管道和水泵中存留水量。

**附录A**

（资料性）

黄淮海平原、关中平原、晋南盆地冬小麦和夏玉米关键需水期时间段参照表

表A.1-2根据长期定位实验总结并归纳了黄淮海平原、关中平原、晋南盆地地区冬小麦、夏玉米关键需水期参照时间。

黄淮海平原：河南省、山东省、河北省、安徽省、江苏省。

关中平原：陕西西安、咸阳、宝鸡、渭南等渭河沿岸。

晋南盆地：山西运城、临汾。

表A.1 冬小麦关键需水期时间段参照表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 关键需水期 | 黄淮海平原 | 关中平原 | 晋南盆地 |
| 播种-苗期 | 10月上旬-11月下旬 | 10月中旬-11月下旬 | 10月中旬-11月底 |
| 越冬期 | 11月下旬-12月上旬 | 11月下旬-12月上旬 | 11月下旬-12月上旬 |
| 返青-拔节期 | 2月20日-4月5日 | 2月25日-4月8日 | 2月25日-4月10日 |
| 孕穗期 | 4月5日-4月15日 | 4月8日-4月18日 | 4月10日-4月18日 |
| 抽穗期 | 4月15日-4月30日 | 4月18日-4月28日 | 4月18日-4月28日 |
| 灌浆期 | 5月1日-5月25日 | 4月28日-5月20日 | 4月28日-5月25日 |

表A.2 夏玉米关键需水期时间段参照表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 关键需水期 | 黄淮海平原 | 关中平原 | 晋南盆地 |
| 播种-苗期 | 6月5日-7月10日 | 6月10日-7月10日 | 6月10日-7月10日 |
| 拔节期 | 7月10日-7月25日 | 7月10日-8月1日 | 7月10日-8月1日 |
| 喇叭口期 | 7月25日-8月10日 | 8月1日-8月15日 | 8月1日-8月15日 |
| 抽穗期 | 8月10日-8月20日 | 8月15日-8月25日 | 8月15日-8月25日 |
| 灌浆期 | 8月20日-9月30日 | 8月25日-9月25日 | 8月25日-9月30日 |

**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.1-2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/% |
| 70~85 | 65~70 | 55~65 | <55 |
| 旺苗 | 拔节后期 | 拔节后期 | 拔节后期 | 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 |  |  |

表B.2 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 | 5～6.5叶 | 4～5叶 | ＜4叶 |
| 单株次生根 | — | ＞4条 | 2～4条 | ＜2条 |
| 单株分蘖数 | — | 3～5个 | 2～3个 | ＜2个 |
| 亩总茎蘖数 | ＞100万 | 70～100万 | 50～70万 | ＜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 | 2.5～4.5条 | ＜2.5条 |
| 单株分蘖数 | — | 3.2～5.2个 | 2.2～3.2个 | ＜2.2个 |
| 亩总茎蘖数 | ＞105万 | 75～105万 | 55～75万 | ＜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 | 5～8条 | ＜5条 |
| 单株分蘖数 | — | 4.2～6.2个 | 3.2～4.2个 | ＜3.2个 |
| 亩总茎蘖数 | ＞120万 | 90～120万 | 60～90万 | ＜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 | 7～10条 | ＜7条 |
| 单株分蘖数 | — | 4～6个 | 3～4个 | ＜3个 |
| 亩总茎蘖数 | — | 85～115万 | 55～85万 | ＜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 | 38～45万 | ＜38万 |

**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.1-2给出了冬小麦和夏玉米关键需水期的计划湿润层深度和适宜灌水上限。

表C.1 冬小麦关键需水期计划湿润层深度和适宜灌水上限 单位：土壤相对含水量/%

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 关键需水期 | 计划湿润层深度/cm | | | | | 灌水上限 |
| 砂土 | 砂壤土 | 壤土 | 粘壤土 | 粘土 |
| 播种-出苗期 | 20~30 | 20~30 | 20~30 | 20~30 | 15~25 | 75~85 |
| 越冬期 | 40~50 | 40~60 | 50~70 | 40~50 | 30~40 | 90~95 |
| 返青-拔节期 | 50~60 | 50~70 | 60~80 | 50~60 | 40~50 | 90~95 |
| 孕穗期 | 60~70 | 70~80 | 80~100 | 60~70 | 50~60 | 75~90 |
| 抽穗期 | 60~70 | 70~80 | 80~100 | 60~70 | 50~60 | 75~90 |
| 灌浆期 | 50~60 | 60~70 | 70~80 | 50~60 | 40~50 | 70~85 |

表C.2 夏玉米关键需水期计划湿润层深度和适宜灌水上限 单位：土壤相对含水量/%

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 关键需水期 | 计划湿润层深度/cm | | | | | 灌水上限 |
| 砂土 | 砂壤土 | 壤土 | 粘壤土 | 粘土 |
| 播种-出苗期 | 20~30 | 25~35 | 30~40 | 25~35 | 20~30 | 70~85 |
| 苗期 | 30~40 | 35~45 | 40~50 | 35~45 | 30~40 | 75~85 |
| 拔节期 | 40~50 | 45~55 | 50~60 | 45~55 | 40~50 | 80~90 |
| 大喇叭口期 | 50~60 | 55~65 | 60~70 | 55~65 | 50~60 | 80~90 |
| 抽雄-吐丝期 | 60~70 | 65~75 | 70~80 | 65~75 | 60~70 | 75~85 |
| 灌浆期 | 50~60 | 55~65 | 60~70 | 55~65 | 50~60 | 75~85 |

附录D

（规范性）

变量灌溉处方图生成方法参照流程

D.1-3给出了基于不同类型无人机遥感系统的变量灌溉处方图生成方法。

D.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：

1.将无人机热成像系统获取图像利用pix4Dmapper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。

2.将颜色值转化为温度，得到冠层温度的空间分布图。

3.按式（D.1）计算归一化冠层温度*NRCT*，得到*NRCT*的空间分布图。

 ………………....................……….（D.1）

式中：

*T*——喷灌系统控制单元内每个采样点冠层温度，℃；

*T*min——喷灌系统控制单元内冠层温度最小值，℃；

*T*max——喷灌系统控制单元内冠层温度最大值，℃。

4.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。

5.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3~5类管理区。将计算的作物关键需水期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。

6.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电磁阀打开时间的调控实施方案。

D.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：

1.将无人机多光谱系统获取图像利用大疆智图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。

2.按式（D.2）计算优化土壤调节植被指数*OSAVI*。

 ……………….…..................…….（D.2）

式中：

*NIR*——近红外波段地物反射率；

*R*—红色波段地物反射率。

1. 按式（D.3）计算归一化植被指数*NOSAVI*，并按式（D.4）计算每个最小管理区内的*NOSAVI*i，得到*NOSAVI*i的空间分布图。

………………...................……….（D.3）

 …………....................…………….（D.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。

4.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。

5.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3~5类管理区。将计算的作物关键需水期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。

6.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电磁阀打开时间的调控实施方案。

D.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：

1.将无人机热成像系统获取图像利用pix4Dmapper软件进行图像校正拼接，将无人机多光谱系统获取图像利用大疆智图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。

2.将颜色值转化为温度，得到冠层温度的空间分布图。

3.按式（D.1）计算*NRCT*，得到*NRCT*的空间分布图。

4.按式（D.2）~式（D.4）计算*NOSAVI*i，得到*NOSAVI*i的空间分布图。

5.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。

6.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。

7.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3~5类管理区。将计算的作物关键需水期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。

8.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电磁阀打开时间的调控实施方案。

附录E

（规范性）

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：

1.将无人机多光谱系统获取图像利用大疆智图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。

2.对于小麦，按式（E.1）计算红边土壤调节植被指数*RESAVI*，得到*RESAVI*的空间分布图。

 ……………...............………….（E.1）

式中：

NIR——近红外波段地物反射率；

RE——红边波段地物反射率；

3.对于玉米，按公式（E.2）计算绿色归一化差异植被指数*GNDVI*，得到*GNDVI*的空间分布图。

…………...............….....…........……….（E.2）

式中：

*G*——绿色波段地物反射率。

4.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。

5.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3~5类管理区。

6.按式（E.3）和式（E.4）分别计算小麦、玉米关键需肥期每类管理区的追施氮肥量*N*i。

………………......................（E.3）

……………...…........……….（E.4）

式中：

*N*ST——小麦、玉米关键需肥期的计算施氮量；

*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。

7.由施肥量得到喷灌机行走速度、电磁阀脉冲占空比或电磁阀打开时间、施肥泵注肥浓度的调控实施方案。