

附件 2

中国计量测试学会团体标准

**《北方粮食作物数字水肥决策技术规范》**

团体标准

（制订）

**编制说明**

# 一、工作简况

## 1. 任务来源

(1) 淄博数字农业农村研究院《精准水肥施用装备与数字农田托管服务系统创制》

(2) 中国农业科学院北方农牧业技术创新中心《中国农业科学院北方农牧业技术创新中心》

## 2. 编制背景

水资源危机和低碳减排是当今全球环境治理中面临的巨大挑战。当前，全球近 30 亿人口面临水资源严重紧缺，人均淡水资源占有量在过去 20 年间已下降 20%。农业生产作为最大的用水领域，消耗了全球 92% 的淡水资源，因此，农业节水成为应对全球水资源危机的关键途径。我国是世界上 13 个贫水国之一，23 个省份中度缺水，6 个省份重极度缺水，多个省份因大量灌溉用水导致出现地下水位超采和地面下沉，多省已制定并采取地下水禁（限）采政策。与此同时，当前全球温室气体排放量约为 556 亿吨二氧化碳当量，增速为 2%，我国的温室气体排放量占到全球总排放的 26%，作为负责任的发展中大国，我国已明确提出于 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的“双碳”目标。在农业产业中，化肥生产和施用环节引发的直接和间接温室气体排放是最大的排放源，因此，减少化肥施用量是农业行业实现“双碳”目标的重中之重。

水肥一体化技术是当前农业生产中节水节肥效果最好的技术之一，其自 1975 年引进我国以来，在农业农村部旱作节水农业项目、国务院《国家农业节水纲要》《水肥一体化技术指导意见》《全国农田节水示范活动工作方案》等一系列科技攻关和政策文件驱动下，应用面积已达到超 1.7 亿亩。数字水肥一体化是水肥一体化技术发展的重要趋势，面对当前农村人口流失、老龄化加剧以及农业经营规模持续扩大的现状，发展数字水肥一体化技术能有效缓解规模化农业发展与农村劳动力短缺的矛盾，实现少量人员即可管理大面积作业的目标。同时，该技术还能实现从经验管理向‘少量多次’精准灌溉和施肥的转变，减少肥料在土壤中的滞留时间，避免水分和养分因过量灌溉而流失到根系分布区外侧。规避粗放管理引起的水资源浪费和环境污染，并通过根际养分、水分条件改善，进一步

提高作物产量。继水肥一体化硬件装备相关性能提升和成本降低后，智能化水肥一体化技术已成为各节水先进国家纷纷布局发展的重点。

数字水肥决策是驱动数字水肥一体化管理的"中枢大脑"，其通过对地面传感、气象数据、土壤数据等多源信息进行处理形成灌溉时间、灌溉量、施肥时间、施肥量、水肥混合比例等决策结果。在我国当前已制定发布标准中，水肥一体化相关标准不仅包括了各种作物的经验施肥一体化实施规程，还涉及了数字水肥一体化的硬件配置方法。例如，四川省地方标准《叶用桑水肥一体化技术标准》(DB51/T 2725-2020)规定了叶用桑水肥一体化技术的术语和定义、基本要求等。此外，国家标准《水肥一体化设备》(GB/T 43908-2024)也即将实施，它规定了水肥一体化设备的产品型号、技术要求等，填补了我国在该领域的标准空白。尽管如此，目前在数字水肥决策方法上，我国仍缺少切实可行的标准。当前国外数字水肥决策多依据复杂的作物模型进行，其通常需要较多的输入参数，决策系统的驱动对感知设备要求较高，因实施成本问题难以大规模应用。

鉴于当前我国水肥一体化的广泛应用以及未来农业发展对数字水肥管理技术的巨大需求，本项目组以降低数字水肥管理决策参数和感知设备布设成本，提高数字水肥管理在实际生产中的可推广性、可复制性为目标，以北方粮食作物为应用对象，提出低参高频从动式数字水肥管理决策。

### 3. 国内外相关标准研究

我国历来高度重视生态文明建设，随着人口增长和工业化、城镇化进程的加速，耕地减少、水资源匮乏等资源约束问题日益严峻。为应对这些挑战，农业农村部于2013年发布了《水肥一体化技术指导意见》，旨在通过灌溉与施肥的有机结合，实现水肥同步管理和高效利用，以推进技术本土化、轻型化和产业化。该指导意见的目标是到2015年，推广水肥一体化技术总面积达到8000万亩以上，新增推广面积5000万亩以上，实现节水50%以上，节肥30%，粮食作物增产20%，经济作物节本增收600元以上。在党和国家高度重视、农业农村部细致指导下，2014年，我国农业农村部颁布了农业行业标准《水肥一体化技术规范 总则》(NY/T 2624-2014)；2018年，又发布了《棉花膜下滴灌水肥一体化技术规程》(NY/T 3243-2018)；至2020年，相继推出了《设施蔬菜水肥一体化技术规范》(NY/T 3696-2020)、《华北平原冬小麦微喷带水肥一体化技术规程》(NY/T

3553-2020)以及行业标准《春玉米滴灌水肥一体化技术规程》(NY/T 3554-2020)、2023年,我国进一步发布了《设施种植园区水肥一体化灌溉系统设计规范》(NY/T 4368-2023)及《水肥一体机性能测试方法》(NY/T 4369-2023)两项标准,2024年国家市场监督管理总局和国家标准化委员会发布首个水肥一体化国家标准《水肥一体化设备》(GB/T 43908-2024)。各地方标准主要聚焦于当地栽培条件下细分作物的水肥一体化技术应用规范,有效填补了国家标准与行业标准的空白,如黑龙江省于2023年发布了《粒用高粱滴灌水肥一体化生产技术规程》(DB23/T 3443-2023)、宁夏回族自治区于2023年发布了《辣椒水肥一体化栽培技术规程》(DB64/T1885-2023)、江苏省于2022年发布《苹果水肥一体化管理技术规程》(DB32/T 4415-2022)、广西壮族自治区于2022年发布《澳洲坚果水肥一体化滴灌技术规程》(DB45/T 2447-2022)、山西省于2022年发布《食用向日葵滴灌水肥一体化栽培技术规程》(DB14/T 2427-2022)、新疆维吾尔自治区于2021年发布《机采棉水肥一体化化肥减量增效技术规程》(DB65/T 4414-2021)、内蒙古自治区于2021年发布《河套灌区盐碱地向日葵微咸水滴灌水肥一体化技术规程》(DB15/T 2253-2021)、天津市于2021年发布《基于发育阶段的设施番茄水肥一体化技术规程》(DB12/T 1044-2021)、北京市于2020年发布《果树水肥一体化技术规程》(DB11/T 1802-2020)。上述水肥一体化相关标准为水肥一体化技术在不同地区、不同作物下的实施推广提供了重要参考和指导。

当前我国尚未有数字水肥一体管理的国家标准和行业标准,在地方标准和团体标准制定方面,相关已发布标准主要可归纳为两类:一类是与数字化水肥一体硬件设备与系统配置、运行、维护相关技术规程,主要包括浙江省宁波市于2024年发布《水肥一体化智能灌溉系统运行维护规范》(DB3302/T 209-2024)、石河子市质量标准化协会于2024年发布《智慧农场水肥一体化系统运行技术规程》(T/SHZSAQS 00278-2024)、《智慧农场水肥一体化系统配置技术规程》(TSHZSAQS 00277-2024)、河北省特色产业协会于2022年发布《基地智能水肥一体化施肥系统技术操作规程》(T/HBCIA 004-2022),上述标准主要以明确数字水肥一体化设备设施安装、管网维护、平台维护、故障处理等方面进行了规范和指导,未对具体的水肥管理决策方法进行明确;另一类是面向特定作物的数

数字化水肥管理技术规程，主要包括天津市于 2020 年发布了《玉米物联网水肥一体化技术规范》（DB12/T 985-2020）、辽宁省于 2023 年发布了《花生物联网水肥一体化技术规程》（DB21/T 3765-2023）、黑龙江巴彦淖尔市于 2024 年发布了《春玉米水肥一体化滴灌智慧管理技术规程》（DB1508/T 165-2024），中国花卉协会于 2023 年发布《木本花卉水肥一体化智能滴灌栽培指南》（T/ZHHX 001-2023）。当前国外水肥一体化数字决策方面大多依据机理模型和决策支持系统对农业经营人员进行指导，如联合国粮农组织作物需水量计算指南《Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper No. 56》该指南建立了参考作物蒸散量和作物需水量的计算模型，旨在为农业经营者提供作物需水量的计算依据。西班牙研发的 Vegsys-DSS 系统，能够用于温室蔬菜的每日灌溉量、氮肥需求量以及营养液浓度的决策制定。德国的 N-Expert 系统，则能够基于养分周转模型，为不同作物推荐适宜的肥料用量。美国开发的 CropManage 可以基于作物氮素吸收、土壤硝酸盐状况和土壤氮素矿化估计值提出氮肥使用建议。尽管国外数字水肥管理决策方法在预测结果的可解释性方面表现出色，但在中国的应用面临挑战，主要由于需要获取的参数数量众多、成本较高以及操作难度较大。例如，智能灌溉施肥水肥决策系统能够基于土壤湿度和施肥浓度智能决策灌溉施肥量，有效降低施水量和施肥量，但其在我国的推广受到结构复杂、操作不便和智能化程度低等因素的限制。国外的水肥一体化模式，如韩国和日本，已经实现了水肥耦合、定时定量的精准管理，但在我国，尽管水肥一体化技术的应用面积在增长，仍需解决农户用肥“最后一公里”的问题，以及提升化肥企业的科技创新和可持续发展能力。

综上所述，当前国内数字水肥管理相关标准包含了水肥一体管理决策方法，但未针对特定作物和特定区域的经验性参数，在其他区域进行推广时适用性受限，此外上述标准中以全生育期或某一生育阶段的总灌溉量和施肥量决策为主，关于高频率管理时单次灌溉时灌溉和施肥量配比仍有相关决策方法，限制标准使用人员根据气象条件调整管理频率时缺乏操作依据。国外相关指导和决策系统由于参数需求多、获取成本高和掌握难度大，目前在我国应用有限。因此，编制组以提高数字水肥决策技术普适性、实用性与经济性为目标，提出本标准编制。

#### **4. 编制原则和依据**

## 4.1 编制原则

本标准的制定工作遵循先进性、科学性、合理性和可操作性的原则，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》的要求编写。

制定本标准主要遵循了以下基本原则：

(1) 从行业和管理者角度出发，实现智慧、高效、稳定、精准地决策，保证水肥管理决策的统一和准确传递。

(2) 综合分析标准实现的算法、土壤、环境、作物的可行性，使标准具有可操作性。

(3) 借鉴国际水肥一体化经验，结合我国国情及行业特点，制定北方粮食作物数字水肥管理决策。

(4) 基于充分的科学依据，运用系统科学分析方法，明确数字水肥决策的基本流程，包括养分施用方式与比例、灌溉决策、水肥一体施肥决策及信息获取，以增强标准的科学性、系统性和整体性。

## 4.2 编制依据

本标准的编制以国家有关农业法律法规、政策为主要依据，参考现有与水肥一体化、测土配方、测墒情施肥标准等相关的国家及行业标准，并结合国内外标准和相关文献资料，确定本标准的技术要求，总结编制了本标准。

本标准依据的法律法规、政策主要有：

《中华人民共和国标准化法》（主席令第七十八号）

《中共中央、国务院关于进一步深化农村改革 扎实推进乡村全面振兴的意见》（国务院公报 2025 年第 7 号）

《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》（农市发〔2024〕3 号）

《全国智慧农业行动计划（2024—2028 年）》（农市发〔2024〕4 号）

《小麦水肥一体化单产提升技术方案》（农技土肥水〔2024〕45 号）

《玉米水肥一体化单产提升技术方案》（农技土肥水〔2024〕54 号）

《大豆水肥一体化单产提升技术方案》（农技土肥水〔2024〕61 号）

本标准参考的标准主要有：

NY/T 1121.1-2006 土壤检测 第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存

NY/T 1121.2-2006 土壤检测 第 2 部分：土壤 pH 的测定

NY/T 1121.3-2006 土壤检测 第 3 部分：土壤机械组成的测定

NY/T 1121.4-2006 土壤检测 第 4 部分：土壤容重的测定

NY/T 1121.6-2006 土壤检测 第 6 部分：土壤有机质的测定

NY/T 1121.7-2014 土壤检测 第 7 部分：土壤有效磷的测定

NY/T 1121.8-2006 土壤检测 第 8 部分：土壤有效硼的测定

NY/T 1121.9-2023 土壤检测 第 9 部分：土壤有效钼的测定

NY/T 1121.13-2006 土壤检测 第 13 部分：土壤交换性钙和镁的测定

HJ 649-2013 土壤 可交换酸度的测定 氯化钾提取-滴定法

NY/T 889-2004 土壤速效钾和缓效钾含量的测定

NY/T 890-2004 土壤中有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸（DTPA）浸提法

NY/T 3242-2018 土壤水溶性钙和水溶性镁的测定

联合国粮食及农业组织发布的《作物蒸腾作用-计算作物水分需求指南-FAO56》详细阐述了作物需水量的计算方法。

### 4.3 与现行法律法规、标准的关系

本标准制定符合现有标准制定法律法规规定，是对现有数字水肥管理技术规程的有效补充，旨在通过优化决策方法，解决其在普适性、实用性和经济性方面存在的不足。

## 5. 主要工作过程

2025 年 1 月—4 月，编制组深入开展了政策背景、文献资料及国内外标准的调研工作，并据此编写提交了项目申请书。2025 年 5 月召开标准立项会议进行立项。

## 6. 标准主要起草单位及起草人

### 6.1 主要起草单位

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、北方农牧业技术创新中心、淄博数字农业农村研究院、内蒙古中农北方农牧业科技有限公司、淄博乐悠悠农业科技有限公司、中农唯实检测科技（潍坊）有限公司。

## 6.2 主要起草人

主要参与标准制定人员为陈保青、董雯怡、龚道枝、雷添杰、王建东、刘淑艳、王亮方、王海涛、刘海明、刘春艳。

# 二、 主要内容技术指标确立

## 1. 标准适用范围

本文件规定了北方粮食作物数字水肥决策技术涉及的术语和定义、数字水肥决策的基本流程、养分施用方式与比例决策、灌溉决策、水肥一体施肥决策和信息获取。本文件专为北方地区的玉米、小麦、大豆及马铃薯的数字水肥决策提供指导，同时，其他作物亦可参考执行。此外，该文件还适用于各类智慧农业平台的底层算法构建、农田尺度的日常水肥管理以及区域尺度的灌溉与施肥制度设计。

## 2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

NY/T 1121.1-2006 土壤检测 第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存

NY/T 1121.2-2006 土壤检测 第2部分：土壤 pH 的测定

NY/T 1121.3-2006 土壤检测 第3部分：土壤机械组成的测定

NY/T 1121.4-2006 土壤检测 第4部分：土壤容重的测定

NY/T 1121.6-2006 土壤检测 第6部分：土壤有机质的测定

NY/T 1121.7-2014 土壤检测 第7部分：土壤有效磷的测定

NY/T 1121.8-2006 土壤检测 第8部分：土壤有效硼的测定

NY/T 1121.9-2023 土壤检测 第9部分：土壤有效钼的测定

NY/T 1121.13-2006 土壤检测 第13部分：土壤交换性钙和镁的测定

HJ 649-2013 土壤 可交换酸度的测定 氯化钾提取-滴定法

NY/T 889-2004 土壤速效钾和缓效钾含量的测定

NY/T 890-2004 土壤中有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸（DTPA）浸提法

NY/T 3242-2018 土壤水溶性钙和水溶性镁的测定

### **3. 术语和定义**

#### **3.1 数字水肥管理**

参考 Rawlins 等（1975）、Hunsaker 等（1998 和 Segal 等（2006）的研究，数字水肥管理定义为：运用数字化技术，依据作物生长需求、环境参数及土壤实时状况，动态制定最优水肥施用方案的数据驱动智能决策过程。

#### **3.2 水肥一体养分比例决策**

编制组参考 Craine 等（2008）和 Schwalb 等（2024）的研究进行了本条的撰写。水肥一体养分比例决策定义为：在数字水肥决策体系下，依据作物生长需求和土壤检测结果，确定水肥一体化中不同养分的混合比例。

#### **3.3 水肥一体肥料比例决策**

编制组根据中华人民共和国国家标准《掺混肥料(BB 肥)》(GB/T 21633-2020)和山东省地方标准《小麦玉米两熟中高产田缓/控释掺混肥施用技术规程》(DB 37/T 3803-2019)进行了本条的撰写。将水肥一体肥料比例决策定义为：在数字水肥决策体系中，依据养分比例决策结果确定不同肥料的混合配比。

#### **3.4 水肥混合比例决策**

编制组参考陈保青等（2024）以及 Li 等（2024）、Wang 等（2021）的研究，进行了本条的撰写，将水肥混合比例决策定义为：结合气象条件和作物生长特性，确定掺混肥料与灌溉水的最佳混合比例。

#### **3.5 灌溉决策**

编制组根据天津市地方标准《麦田灌溉智能决策技术规程》(DB12/T 757-2018)和河北省地方标准《冬小麦节水品种与测墒节灌配套技术规程》(DB 13/T 5761-2023)、顾哲等（2021）进行了本条的撰写。将灌溉决策定义为依据

实时数据分析及作物实际需求，科学规划农作物的灌溉时间和灌溉量。

### 3.6 灌溉阈值决策

编制组根据李仙岳等（2023）、Kumar 等（2023）的研究，进行了本条的撰写。将灌溉阈值决策定义为：在数字水肥决策中，触发灌溉操作的关键参数临界值。

## 4. 数字水肥决策的基本流程

北方粮食作物数字水肥决策基本流程包括如下：（1）根据土壤检测结果和作物养分需求规律决策不同类型养分施肥方式与比例；（2）对土壤质地进行判断，并对土壤墒情进行监测，根据土壤墒情监测结果决策灌溉时间和灌溉量；（3）基于养分施用比例决策和灌溉决策结果，根据天气和作物生长状况决策水肥混合比例。

## 5. 养分施用方式与比例决策

### 5.1 养分施用方式

随着施肥技术的发展，目前，施肥方式已从传统的单独固体施用，演变为固体基肥施用、水肥一体化施肥及无人机肥料喷洒三种主要模式。依据不同肥料的用量及作物需求，数字水肥管理将养分施用方式细分为固体基肥施用、水肥一体化施肥和无人机肥料喷洒三种。固体基肥主要施用对象为钙肥、镁肥和部分磷肥，水肥一体施肥主要施用对象为氮肥、钾肥、部分磷肥和部分微量元素，无人机肥料喷施主要施用对象为部分微量元素。

### 5.2 土壤检测

根据标准后面决策中所需要的检测内容，将本条描述为：“进行 0-30 厘米土层取样与检测，以获取土壤的容重、机械组成、有机质含量、有效磷、速效钾含量、pH 值以及有效钙、镁、铜、铁、锰、锌、硼等微量元素和交换性酸的检测数据。”

## 5.3 基肥施用决策

### 5.3.1 磷肥基施用量决策

磷肥相比氮钾不易流失，且水肥一体所用的水溶态磷肥施用成本高于基肥施用磷肥。因此将本条描述为：“根据土壤有效磷检测结果参考表 1 确定作物全生育期磷肥施用量。短生育期作物磷肥基施比例可为 100%，长生育期作物磷肥基施比例可为 40%~60%。”

### 5.3.2 钙镁肥基施用量决策

编写参考白由路等（2007），土壤  $\text{pH}>6$  时，交换性酸基本不存在，钙镁肥施用需考虑有效钙镁含量； $\text{pH}\leq 6$  时，则依据有效钙和交换性酸含量决定钙镁肥施用。由此确定钙镁肥施用量。

## 5.4 水肥一体养分比例决策

根据 5.1 水肥一体中，所施用肥料主要为氮肥、钾肥、部分磷肥和部分微量元素，不同作物氮肥、钾肥和磷肥施用量分别因不同土壤有机质、速效钾和有效磷水平而有所差异。参考白由路等（2007）进行了不同有机质、速效钾含量水平下的氮钾养分比计算，得到表 2，进行了不同有机质、有效磷含量水平下的氮磷养分比计算，得到表 3。

## 5.5 水肥一体肥料比例决策

本条主要描述了根据 5.4 中所得到的水肥一体养分比例按肥料养分含量进行肥料用量换算相关计算公式。

## 5.6 微量元素施肥决策

土壤微量元素含量只占干物质质量的千分之几到十万分之几，但对于作物生理功能维持具有重要作用。土壤微量元素亏缺时应及时补充。铁肥因易氧化为高价铁而难吸收，故叶面喷施络合铁更佳；铜肥、硼肥用量少，优先叶面喷施；锰肥、

锌肥则可通过水肥一体化施用。据此进行了本条编写。

## **6.灌溉决策**

### **6.1 土壤墒情监测**

监测土壤体积含水量时，应选校准且含补偿算法的墒情监测设备，确保准确。监测位置需代表地块平均墒情，作物收获前移除设备以防损坏。据此拟定土壤墒情监测要点如下：

6.1.1 选用经过校准并且内置补偿算法的土壤墒情监测设备进行土壤含水量监测。

6.1.2 于作物播种结束后选择可代表地块平均土壤墒情水平的位置进行墒情监测设备安装，并监测 10cm 深度和 30cm 深度土壤含水量监测，作物收获前移除，以防收获机械破坏监测设备。

## **6.2 灌溉阈值获取**

### **6.2.1 土壤质地判断**

编制组调查了现有当前土壤质地分类标准，发现目前主要有国际制、美国制、卡钦斯基制和中国制四种分类标准。美国制土壤质地分类方法在国内科研人员中应用最广，采用该标准有助于总结前期研究成果（吴克宁和赵瑞等，2019）。因此本标准中参考美国制土壤质地分类方法进行了本条的编写，即测定土壤黏粒（ $<0.002\text{ mm}$ ）、粉粒（ $0.002\text{--}0.05\text{ mm}$ ）和砂粒（ $0.05\text{--}2\text{ mm}$ ），并依据附图 1 的土壤质地分类三角坐标图进行定位分类。

### **6.2.2 灌溉决策阈值获取**

编制组基于改进的 Feddes 模型，对于特定作物存在一个特定的土壤水势阈值。当土壤水势低于此阈值时，作物根系吸水会受到胁迫。根据不同土壤质地土壤水力学参数，可以计算得到不同土壤质地土壤在该水势的土壤体积含水量，即得到不同质地和作物灌溉决策阈值。因此本标准中参照 Feddes 根系吸水模型进行了本条的编写，即“根据作物类型和土壤质地类型，根据表 5 获取灌溉决策阈值。”

## **6.3 灌溉决策**

编制组考虑到苗期作物吸收水分主要集中于0-10cm, 苗期结束后作物进入快速生长阶段, 根系主要分布于0-30cm。同时考虑到如果灌溉量过少, 无法到达根系主体, 灌溉量过多, 易造成根系厌氧。据此进行本条编写, 在苗期以10cm深度土壤墒情监测结果为判断依据, 苗期以后以30cm深度土壤墒情传感器监测结果为判断依据, 当土壤体积含水量低于灌溉阈值时进行灌溉, 黏土单次灌溉总量为 $5-10\text{m}^3/666.7\text{m}^2$ , 壤土为 $10-20\text{m}^3/666.7\text{m}^2$ 、砂土为 $20-30\text{m}^3/666.7\text{m}^2$ 。灌溉时期从苗期持续至成熟期, 进入成熟期后原则上不再供水。

## 7.水肥混合比例决策

灌溉水量与混配肥料质量比例是决定施肥、灌溉与作物水肥需求量匹配度的关键参数, 编制组在进行相关计算时基于的基本假设是施入肥料量应等于作物干物质积累养分需求量。引入 Aquacrop 作物标准化水分生产力参数  $WP^*$  (Vanuytrecht, 2014) 可计算得到作物某一时段的干物质积累量为

$$WP^* \times Tr / ET_0$$

其中  $Tr$  为作物蒸腾量,  $ET_0$  为参考作物蒸散量。

进一步地, 设作物单位干物质积累所需纯氮含量为  $N_c$ , 可得作物对纯氮需求为:

$$WP^* \times Tr / ET_0 \times N_c$$

进一步, 作物纯氮需求可用氮素稀释曲线和自生固氮比例进行描述:

$$N_c = aW^{-b} \times c$$

其中  $a$ 、 $b$  为氮素稀释曲线参数,  $c$  为作物自生固氮比例。

进一步地, 因灌溉水一部分用于蒸腾, 另一部分用于蒸发, 蒸发蒸腾比与地表覆盖率成正比, 由此灌溉量可记为  $Tr/K_T$ ,  $K_T$  为作物蒸腾在总耗水量中占比, 计算公式为:  $K_T = 1 - e^{-kLAI}$ 。其中  $k$  为作物冠层消光系数,  $LAI$  为作物叶面积。

进一步地, 将上面所得施肥量除以灌溉量可得混配肥料质量与灌溉水量与比例为  $FW = (WP^* \times K_T / ET_0 \times N_c / C_N) / [N_z / (N_z + P_z + K_z)]$ , 其中  $ET_0$  为参考作物蒸散量、 $C_N$  为肥料中的氮含量。

在降雨之后由于土壤中养分被水分稀释, 因此在雨后应及时补充肥料, 补充量为降雨量与  $FW$  乘积, 故此得到雨后施肥量为  $F_R = R \times FW$ 。

编写组根据上述推导过程进行了本条编写。

## 参考文献:

- Craine J M, Morrow C, Stock W D. Nutrient Concentration Ratios and Co-Limitation in South African Grasslands[J]. *The New Phytologist*, 2008, 179(3): 829-836.
- Feddes, R.A., P.J. Kowalik, and H. Zaradny. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*. John Wiley & Sons, New York, NY, 1978.
- Hunsaker D.J., Clemmens A.J., Fangmeier D.D. Cotton Response to High Frequency Surface Irrigation[J]. *Agricultural Water Management*, 1998, 37(1): 55-74.
- Kumar H, Srivastava P, Lamba J, et al. 一种针对特定田间持水量和灌溉阈值的优化方法[J]. *Agricultural water management*, 2023,286:108385.
- Li R, Bai J, Li D, et al. 基于综合评价的樱桃番茄产量、品质及效率协同优化的水肥决策模型[J]. *Computers and electronics in agriculture*, 2024,224:109224.
- Rawlins S L, Raats P A C. 高频灌溉前景展望: 均匀且频繁的灌溉优化了根系环境, 同时大幅减少了水资源消耗 [J]. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 1975,188(4188):604-610.
- Schwalb et al. explore the distinct impacts of mineral fertilizers containing nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) on microbial biomass, necromass, and the soil ionome within the Askov long-term field experiment, as detailed in their study published in *Soil Biology & Biochemistry*.
- Segal E, Ben-Gal A, Shani U. Root Water Uptake Efficiency Under Ultra-High Irrigation Frequency[J]. *Plant and soil*, 2006,282(1-2):333-341.
- Vanuytrecht, Eline, et al. "AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model." *Environmental Modelling & Software* 62 (2014): 351-360.
- Wang J, Chen H, Ma R, et al. Novel water- and fertilizer-management strategy: Nutrient-water carrier[J]. *Journal of cleaner production*, 2021,291:125961.
- 自由路, 杨俐苹, 金继运. 测土配方施肥原理与实践——基于高效土壤养分测试技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007
- 陈保青,董雯怡,唐玉倩,等. 数字水肥管理技术前沿与最佳土壤溶液决策模型创建 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2024.

顾哲,袁寿其,齐志明,等. 基于 RZWQM2 和神经网络的精确灌溉决策系统[M]. 南京: 河海大学出版社, 2021.

李仙岳,陈宁,史海滨,等. 北方干旱区间套作系统种间竞争机制及水肥高效利用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2023.

### 三、 采用国际标准的程度及水平的简要说明

本标准制样方法的技术内容, 主要参考了联合国粮农组织的《作物需水量计算指南》(Irrigation and Drainage Paper No. 56)以及我国 NY/T 2624-2014 至 NY/T 3554-2020 等一系列水肥一体化管理行业标准, 同时涵盖了 DB3302/T 209-2024、DB12/T 985-2020 等地方标准及 T/SHZSAQS 00278-2024 等团体标准, 并引用了 NY/T 1121、NY/T 889 等相关土壤检测标准。本标准未直接采纳任何一项单一国外标准, 相比上述标准, 本标准主要采用以下方式提高本标准的先进性与适用性:

1. 相较于联合国粮农组织作物需水量计算指南中依据参考作物蒸散量和作物系数来计算作物水分需求的方法, 本标准则通过土壤墒情监测直接捕捉作物缺水信号, 其特点在于所需参数更少, 判断更为精准;

2. 与当前数字水肥管理标准中依赖田间持水量为主要指标的经验灌溉决策方法相比, 本标准引入了 Feddes 根系吸水模型和 van Genuchten 土壤水分特征曲线模型, 通过计算得出了针对不同土壤质地和作物的更为精确的临界阈值, 从而有效避免了因土壤和作物差异所带来的经验灌溉决策失误问题;

3. 相比当前数字水肥管理标准中以决策各类肥料总施肥量为目标的测土配方施肥技术, 本技术规程进一步地提出了根据土壤监测和作物类型进行高频水肥一体化管理的生育期内不同肥料配比, 以及水肥一体化中肥料质量与灌溉水量比例的计算方法, 极大提高了在实际生产中的实用性。

### 四、 重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧意见。

### 五、 与国内外同类标准水平的对比情况

本标准与相关法律法规、规章及相关标准协调一致, 没有冲突。

本标准有利于促进数字水肥管理技术在北方农田中的运用实施。

### 六、 贯彻标准的要求和措施建议

建议本标准在批准发布 6 个月后实施。本标准发布后，应向农业、智能装备、信息传输等领域的相关企业和单位宣传本标准，并推荐农业生产、农技推广、农资流通等工作人员使用。

本标准为首次制订，建议在本标准实施过程中，应继续广泛听取和收集各方面的意见与建议，并根据实际应用情况，对本标准进行不断的修订与完善，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足环境管理的需要。

## **七、 其他应予以说明的**

无。