工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

玉米水肥一体化精准调控的标准化作业规程与产量效应评估

吕魁
内蒙古自治区通辽市科尔沁区木里图镇人民政府　内蒙古自治区通辽市　028024
DOI：10.32629/ems.v8i10.22562

［摘　要］水肥投入方式直接影响玉米群体构建、干物质积累和籽粒产量形成。传统灌水与施肥分离的管理方式容易出现灌溉时间与作物需水时期错位、肥料集中施入、根层养分迁移以及水肥利用效率偏低等问题。水肥一体化通过滴灌系统将灌溉与养分供应同步到玉米根系活动层，但其增产效果并不单纯取决于设备配置，而与播前设计、系统压力、灌水定额、施肥浓度、生育时期及田间监测等环节密切相关。本文研究认为，玉米水肥一体化的关键不在于单纯增加灌水或施肥次数，而在于根据土壤墒情、群体生长和目标产量将水肥投入由一次性、经验型管理转化为分阶段、定量化和可校核管理，为玉米节水、减肥和稳产增产提供标准化技术路径。

［关键词］玉米；水肥一体化；精准调控；滴灌；产量效应

引言

玉米需水、需肥过程具有明显阶段性。苗期群体较小，根系尚未充分下扎，水肥需求量相对有限。近年来，玉米滴灌水肥一体化已逐步形成较完善的标准体系。现行技术文件包括《春玉米滴灌水肥一体化技术规程》NY/T 3554—2020，甘肃发布的 DB62/T 4760—2023《灌区玉米膜下滴灌水肥一体化生产技术规程》，内蒙古发布的 DB15/T 3587—2024《黄河水直滤滴灌玉米水肥一体化技术规程》和 DB15/T 1335—2025《玉米无膜浅埋滴灌水肥一体化技术规范》等。2026 年辽宁又发布 DB21/T 4475—2026《保护性耕作玉米滴灌水肥一体化技术规程》，说明玉米水肥管理正由单一节水灌溉逐渐向标准化、区域化和精准控制发展。

一、玉米水肥一体化精准调控的基础条件

（一）播前土壤诊断与目标产量确定

水肥一体化并非只是把传统施肥单纯改成“肥料随水进入滴灌管”，而是要在播种之前完成地块基础条件的诊断工作。首先要对耕层厚度、土壤质地、前茬、秸秆还田量、地下水条件、地块高差展开调查，同时还要检测 0 至 20 厘米、20 至 40 厘米土层的含水量、主要养分状况。砂质土入渗速度快，保水保肥能力弱，所以应采用较短的灌水周期、较小的单次灌水量，黏壤土持水能力较强，可以适当延长灌水间隔，不过要防止一次灌水过大而形成深层渗漏。

其次要依据当地的热量条件、品种耐密性、地力水平来确定目标产量和合理密度。在水肥一体化的条件下，根区供水供肥保持稳定，这就为合理增加种植密度创造了相应条件，不过增密必须要与水肥供应能力相匹配才行。要是单纯增加株数却不调整拔节期至灌浆期的水氮供应，就会加剧群体竞争，容易出现茎秆细弱、穗位升高、倒伏率增加等问题。所以，应将“目标产量—种植密度—水肥总量”当作统一设计单元，而不是分别去确定。

基肥的供应重点在于磷、钾、部分氮素，具体的施用量要依据测土结果来进行调整。对于那些容易通过滴灌系统施入的氮肥、部分钾肥，可以减小一次性基施的比例，把更多的养分转移到拔节、大喇叭口、灌浆前期，以此来降低苗期土壤无机氮浓度过高、后期脱肥的风险。

（二）滴灌系统配置与水肥均匀性控制

水肥精准调控首要的是“水送得到、肥施得匀”。滴灌系统一般是由水源、动力设备、首部过滤装置、施肥装置、主管、支管、滴灌带、控制阀门构成。系统设计的时候，要依据地块长度、高差、水源流量来进行分区，防止一条支管控制面积过大。中国农业科学院关于玉米密植精准调控技术表明，支管间距离控制在大概 50～70 m 的时候，有助于兼顾滴灌运行速度、灌水质量，要是地块面积较大或者地形起伏比较明显，那就应该采用分区轮灌的方式。

过滤属于系统稳定运行的关键部分。当地下水含砂量比较大时要采用离心过滤和叠片或者网式过滤相结合，要是河水、渠水等地表水悬浮物较多，那么要强化沉淀、过滤。每次灌溉之前都要检查压力表、过滤器、主管连接处，要是发

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

现过滤器前后压差出现异常，就要及时清洗。季节性滴灌带在铺设之后还要进行试水，查看是否存在堵塞、破损、接口漏水情况。施肥装置要安装在过滤系统之后，借助文丘里施肥器、压差式施肥罐或者水肥一体化施肥机向主管注入肥液。肥料得挑选水溶性好、杂质少、不容易形成沉淀的品种，不适合直接把普通颗粒肥没有经过充分溶解和过滤就投入系统。水肥进入管网之前要充分搅拌，避免高浓度肥液在短时间内进入局部滴灌带从而造成烧根。

二、玉米水肥一体化标准化作业规程

（一）苗期至拔节期的控水促根作业

播种完成之后需要依据土壤墒情来实施出苗水。在春播区当中要是表层干旱的状况比较明显，那么能够采用小水量的滴灌方式来湿润播种层，进而让种子周围形成连续的湿润带，以此提高出苗的整齐程度。出苗之后不适合长时间维持高土壤含水量，不然根系主要会集中在浅层，这对于形成抗倒、抗旱的根系是不利的。

苗期需遵循“保证成苗、适度控水、控制氮肥”的准则。要是底墒状况良好，那么能够减少灌水的频次，当土壤显著干旱的时候，采取小定额的补水措施。在这个阶段，随着水分供应的增加，施氮比例不适宜过高，关键是要维持苗齐、苗匀、根系向下扎根。对于苗比较弱小、土壤肥力偏低的地块，在拔节前能够给予少量速效氮，不过要防止肥液浓度过大。在拔节期之后，地上部分和根系会同步快速生长，开始步入水肥需求上升的阶段。这时要进行首次关键性的追肥，把部分氮肥和钾肥通过滴灌的方式施入。操作时要依照“清水—肥液—清水”的次序，也就是先滴清水湿润根区并稳定管网压力，接着注入肥液，施肥结束后继续滴清水，把管道内残余的肥液推送至根区，同时清洗滴头，减少结晶堵塞的情况。

（二）大喇叭口至抽雄期的水肥协同调控

从大喇叭口到抽雄吐丝期，是玉米水肥调控的关键阶段。这个时候叶面积快要达到最大值，茎秆快速伸长，雌雄穗分化、花粉形成同时进行，一旦出现水分亏缺的情况，就容易致使吐丝延迟、花粉活力降低、授粉不良。所以这一时期调控目标并非“尽量少灌水”，而是在控制深层渗漏的条件下确保根区供水稳定。

氮肥管理需要从前期控制转变为集中保障，不过仍然不适合一次大量施加。应该依据目标产量把拔节到抽雄阶段当作氮肥追施的重点，采用多次、小量随着水来施肥。对于高密度群体而言，可以适度提高这一阶段氮肥的占比，从而让供氮高峰与群体快速生长期相匹配。磷肥移动性比较弱，应该以基施作为主要方式，钾肥则可以依据土壤速效钾水平采取基施与滴灌追施相结合的方式。当碰到高温干旱天气的时候，应该缩短滴灌的间隔时间，确保吐丝期土壤水分稳定，而不是等到植株出现卷叶之后再大水补灌。高温条件下适度补水还能够改善田间小气候，降低根区、冠层的热胁迫。要是同期出现连续降雨，应该立刻暂停滴灌，并且依据降雨量和土壤含水量顺延下次灌水时间。

（三）灌浆至成熟期的稳水控肥与系统维护

授粉工作完成之后，玉米便进入到籽粒形成、灌浆的阶段。在这个时候，水肥管理的重点从促进营养生长转变为延缓叶片早衰、保障籽粒灌浆。在灌浆前期，仍然需要维持适宜的根区水分，针对沙质土、高产密植田而言，可以依据土壤墒情进行小水量的补灌操作。要是过早停止灌溉，就容易致使叶片提前衰老，进而缩短灌浆持续的时间，要是成熟后期灌水过多，那么有可能延缓籽粒脱水，并且增加机械收获的难度。

追肥在灌浆中后期应当逐渐停止，特别是不能因为叶片颜色变浅就盲目地补施大量氮肥。后期氮肥过量容易致使贪青晚熟，还会降低氮肥利用效率。对于前期水肥供应合理的地块，要把维持根系活性和正常灌浆当作主要目标。

末次施肥完成之后，要运用清水对主管、支管、滴灌带展开充分冲洗，以此来清除残留的肥液。在收获之前，需完成流量、灌水量、施肥量的记录并进行归档，从而为下一年度的调整方案给予依据。滴灌系统应当建立起“安装—试压—灌水—施肥—冲洗—检查—记录”这样的标准作业闭环。

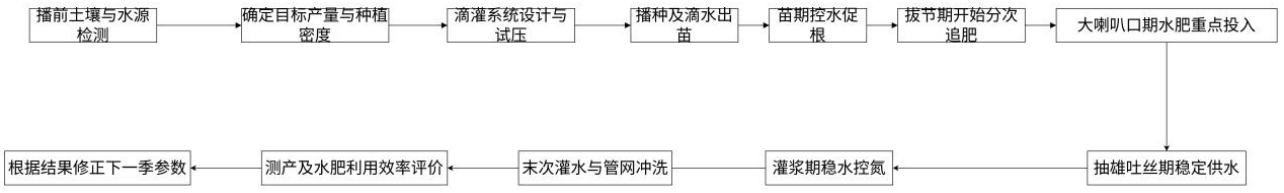


图 1　玉米水肥一体化精准调控标准化作业流程

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

三、精准调控的产量效应及评价方法

（一）对玉米产量构成的影响机制

玉米产量主要是由单位面积的有效穗数、穗粒数、粒重共同来决定的。水肥一体化能够让苗期的水分环境得到改善，进而提高出苗的整齐程度，减少缺苗断垄这类情况的发生，为获得稳定的穗数奠定基础。当进入拔节期之后，分次供应氮肥能够减轻因一次性施肥所导致的苗期氮素富余问题，让养分供应曲线更加契合植株的吸收规律。

大喇叭口至吐丝期稳定水肥供应和穗粒数关系紧密。这个阶段要是土壤干旱，雌雄穗开花间隔就会延长，部分花丝没法及时受精。精准滴灌能让根层保持较稳定的水势，分次施氮可维持叶片较高光合能力，给植株为雌穗发育提供充足同化物。进入灌浆期后，根层适量供水能延缓功能叶早衰，提高灌浆速率和持续时间，最终增加千粒重。所以，水肥一体化增产不是某一次“大水大肥”就能实现的，是通过提高整个生育期供水供肥与玉米需求曲线的匹配程度，减少高水、高肥、缺水、缺肥交替出现，让穗数、穗粒数和粒重形成更稳定的协调关系。

（二）产量和水肥利用效率评价

田间应用效果评价的时候应该设置常规管理对照，不能仅仅去比较实施水肥一体化之后的绝对产量。建议挑选品种、播期、密度、土壤肥力相近的地块，把精准水肥一体化处理跟当地常规灌溉施肥处理做比较，每个处理设置不少于 3 个重复或者选择多个具有代表性的样方。在成熟期的时候按照规定面积连续取样，调查单位面积的株数、有效穗数，随机选取具有代表性的果穗来测定穗粒数，并且在统一含水率的条件下测算籽粒产量。在这一阶段当中，需要记录全生育期的实际灌溉量、纯氮投入量，然后分别去计算灌溉水利用效率与氮肥偏生产力。只有当产量有所提高的时候，灌水量、施氮量没有显著增加，或者是在减水减肥的状况下维持甚至提高产量，才能够说明调控方案具备真正的资源节约价值。中国农业科学院在 2026 年公布的北疆春玉米连续田间试验表明，在研究设定的条件下，当采用 47.25㎜ 的灌水定额、240kg/hm² 的施氮量时，与当地常规管理相比，节水 10.0%、节氮 33.3%，玉米产量提高 18.8%，灌溉水利用效率提高 30.6%，氮肥偏生产力提高 78.2%。这说明水肥精准调控目标不是增加投入，而是提高单位水量、单位养分所形成的籽粒产量。

（三）标准化模式的增产效应与推广边界

从目前典型示范结果看，滴灌水肥一体化与耐密品种、合理增密及精准施肥结合后，可以表现出较稳定的增产潜力。农业农村部有关玉米大面积单产提升技术材料显示，北京滴灌水肥一体化示范田 2021 年采用底肥与拔节期滴灌施肥模式，百亩示范田产量为 823 kg/亩，同期农情监测春玉米产量为 648 kg/亩；2022 年高产攻关田达到 1033 kg/亩，2023 年实收测产达到 1146 kg/亩。由于不同年份气候、地力和密度不同，上述结果不能直接作为其他地区预期产量，但说明在具备灌溉条件的地区，水肥精准管理具有较大的产量提升空间。

结语

玉米水肥一体化精准调控是一项以滴灌设施为载体、以作物需水需肥规律为基础、以定量化作业和全过程记录为保障的综合栽培技术。其技术优势不仅表现为将水和肥同时输送到根区，更重要的是将传统集中式水肥投入改变为分阶段、小剂量和动态调节的管理方式。未来玉米水肥一体化应进一步与土壤墒情感知、气象预测、变量施肥和自动控制技术结合，逐步形成“监测—决策—执行—评价—修正”的闭环管理模式，实现玉米生产由经验管理向精准化、标准化和数字化管理转变。

[参考文献]

[1]张曼丽,张振平,马东梅,等. 水肥一体化技术在玉米种植中的应用分析[J].种子科技,2026,44(17):91-93.DOI:10.19904/j.cnki.cn14-1160/s.2026.17.026.

[2]杨晶,孙鸿,郑永鑫,等. 吉林西部耕地水肥一体化精准灌溉技术应用研究[J].农业与技术,2026,46(9):114-118.DOI:10.19754/j.nyyjs.20260930020.

[3]吉艳芝,孟凡荣,郝晓妍,等. 玉米水肥协同增效研究热点与脉络演进的可视化分析[J/OL].玉米科学,1-19[2026-09-28].https://link.cnki.net/urlid/22.1201.S.20260908.1423.002.

[4]邢慧君. 玉米密植滴灌水肥一体化技术效果研究[J/OL].基层农技推广,1-4[2026-09-28].https://doi.org/10.20257/j.cnki.jcnj.20260902.001.

[5]张华. 水肥一体化模式下不同施肥配方对鲜食玉米产量及经济效益的影响[J].肥料与健康,2026,53(4):16-21.

作者简介：吕魁（1978-），男，内蒙古通辽市，大专，中级经济师，从事绿色种植方面。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.