

蔬菜作物需水规律研究进展

任自力¹,张 显²

(1. 乐山职业技术学院 财经管理系,四川 乐山 614000;2. 西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:探求蔬菜作物需水规律指导蔬菜生产灌溉,对于减少农业用水浪费,提高农业用水效率,改善蔬菜产量品质等问题意义深远。通过分析近些年来蔬菜作物需水规律以及水分生理方面的相关研究,阐述了蔬菜作物需水规律、影响因素、灌溉效应等方面的研究现状,并讨论了存在的问题以及研究方向。

关键词:蔬菜;作物;灌溉;需水规律

中图分类号:S651 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2015)06-0136-05 **DOI:**10.11942/j.issn1002-2767.2015.06.0136

长久以来,水资源匮乏以及农业用水短缺的状况一直限制着农业生产的发展,尤其在我国西北地区,农业用水短缺是蔬菜产业发展的最大障碍^[1]。另外,生产中缺乏科学的灌溉理论和技术指导,没有量化的灌溉指标,经验灌溉导致了农业用水的严重浪费,农业用水的有效性很低^[1]。设施蔬菜生产中水分、肥料管理沿袭“经验模式”,为获取高产量和高收益,盲目灌大水施大肥导致了棚室内病虫害严重发生^[2]。

水分对蔬菜的生长发育以及产量、品质的形成具有很大的影响;不同蔬菜作物生长发育的不同阶段对水分的需求特性也存在较大的差异^[3-4]。探求蔬菜作物全生育期以及各个生长发育期的需水规律和最适宜的灌水方案,研究其在生长发育、生理活动以及产量品质等方面对于灌溉的响应机制,确

定科学量化的灌溉指标进而指导农业生产,解决当前农业用水短缺,减少农业用水浪费,提高农业用水效率,有效提高蔬菜产量品质等问题具有重要深远的意义^[5]。设施栽培蔬菜的需水规律和灌溉效应机制研究是当前农业灌溉与生态节水领域的研究热点和重点^[6]。

目前,作物需水规律的研究主要集中在一些大宗粮食作物^[7],如小麦、玉米、水稻等;很多学者深入研究了这些作物的需水规律、灌溉制度、灌溉模式和需水模型。蔬菜作物的需水规律的研究起步较晚,本文通过分析近些年来蔬菜作物需水规律以及水分生理方面的相关研究,以期为相关研究工作提供参考。

1 蔬菜作物需水量及其测定方法

作物需水量有广义和狭义之分,广义的作物需水量包括三部分,即作物经蒸腾散失的水量、棵间表层土壤或栽培基质蒸发的水量以及作物体内的自由水和束缚水含量。狭义的作物需水量只包含了作物经蒸腾散失的水量以及棵间土壤或栽培基质蒸发的水量两个部分。实际上,大部分研究中所指的作物需水量都是狭义的作物需水量,甚至有些

收稿日期:2015-01-10
基金项目:国家西甜瓜产业技术体系岗位科学家资助项目(CARS-26-18);乐山职业技术学院自然科学科研资助项目(KY2014021)
第一作者简介:任自力(1986-),男,甘肃省平凉市人,硕士,助教,从事园艺植物生理生态与生物技术方面的研究。E-mail:renzl@nwsuaf.edu.cn。

Abstract: The climate in Chengde region is favorable for the sorghum growing, therefore the wine industry here is booming and many liquor enterprises are thriving. However, with the current sharp decrease of sorghum-planting area in this region, the liquor enterprises had to transport most of the sorghum they need as a major raw material from other areas, which not only results in the increasing cost of production, but also unfavorable for the increasing in the income of the local farmers. If new high-quality sorghum varieties fit for Chengde region were introduced, and key supporting integrated technologies for production were provided, the local farmers could easily produce high-quality sorghum and sell it at a good price. Thus the shortage of the raw material for the industry could be settled and the great increasing income of the local farmers could also be achieved.

Keywords: Chengde region; sorghum; wine-making; technology integration; supporting
(本文的作者还有杨青林,梁秋华,郭玉炜,单位同第一作者)

研究中通过一些栽培措施有效消除了棵间蒸发(比如通过全膜覆盖),因而这些研究中的作物需水量实际上只是包含了植株经蒸腾散失的水量。

研究蔬菜作物需水规律的基础是需水量的测定。蔬菜作物需水量测定是针对不同环境条件、灌溉制度和灌水方式、农艺栽培措施等,测算蔬菜作物各生长期以及全生长期的需水量,探求各因素与作物需水量的关系以及作物需水量在全生长期中的变化规律^[8]。可见,作物需水量的测定对于研究作物需水规律起到关键的作用。因此,选择合适的方法测定蔬菜作物需水量十分关键。目前,需水量的测定方法按其种类大体可以分为水文学方法(包括水量平衡法和蒸渗仪法等)、微气象学法(包括波文比—能量平衡法、涡度相关法和空气动力学法等)、植物生理学方法(包括茎流法、气孔计法等)、红外遥感法 4 种方法。水量平衡法、蒸散仪法以及基于水量平衡的称重法是作物需水量测定经常采用的方法^[6]。

2 蔬菜作物灌溉效应研究

灌溉效应是指作物以及所处环境对于灌溉的响应机制。蔬菜作物的生长发育与水分息息相关,通过灌溉供给作物生长所需的水分,作物会在生长发育、生理生化活动、产量形成、品质表现等诸多方面表现出对于灌水的响应,这种响应反映了灌水量、灌水频次、灌水方式、灌溉模式以及灌溉制度的优劣性和适宜度。同时,灌溉会对作物的生长环境产生影响,灌溉直接影响土壤的水分和养分状况、土壤有机质含量以及有机离子的运转和分布、土壤微生物和土壤酶活性等方面。在蔬菜设施栽培中,灌水会对设施小环境产生很大影响,尤其在大棚和温室内,灌水对于棚内空气湿度和病虫害相对数量、分布影响显著。灌溉对于作物以及作物生长环境的影响不是孤立的,环境对于灌溉的响应也是通过作物来表现的。因而,灌溉效应是作物和环境相互响应、共同作用的结果。可见,灌溉效应是评价灌溉模式和灌溉制度优劣性和适宜度的最基础标准,也是制定灌水制度的根本依据。

3 影响蔬菜作物需水的主要因素

3.1 环境气象因子的影响

作物所处环境条件以及气象因子是影响作物

需水特性的最主要和最关键因素。可以说,气象环境条件是作物需水量的基础限制因素,其它影响作物需水的因子在环境气象因子影响的基础上对作物需水特性产生影响。光照条件、空气湿度、空气温度、土壤湿度、风速等是影响作物需水的主要环境气象因子。诸多研究表明蔬菜作物需水规律与环境气象因子关系密切。

目前,不同蔬菜作物不同环境气象条件下的需水特性研究涉及较多。设施栽培条件下西瓜需水强度与全天平均气温、平均光强、平均蒸发量呈极显著正相关,相关系数分别达 0.935、0.894、0.878;与平均湿度呈极显著负相关,相关系数 $-0.848^{[9]}$ 。设施栽培番茄蒸发蒸腾量与气温因子和地温因子有着较为密切的联系,与相对湿度因子呈现负相关关系^[10]。番茄需水量随温室内太阳辐射、气温和空气饱和差的增大而增大,呈线性递增规律,随相对湿度的增大而减小,呈线性递减规律,累计需水量与有效积温呈现良好的 3 次多项式关系,有效积温达到 1 600℃ 左右可满足番茄的正常生长发育^[1]。

环境气象因子对于蔬菜作物需水特性的影响因作物所处环境条件而异,露地蔬菜栽培和设施蔬菜栽培在环境气象因子上差别明显,因而,露地栽培和设施栽培作物在需水特性方面也存在着较大差异,同一品种的作物因栽培环境不同需水表现也不同,这种差异在一定程度上显示了环境气象因子对于作物需水的基础影响作用。

3.2 作物因子的影响

作物需水量的构成因子主要是蒸发蒸腾量。蒸腾作用是植物在外界环境条件的作用下,为维持自身正常生理代谢活动而产生的水分由植株体散失到外界环境的过程。由此可见,蒸腾过程与作物自身条件因子有着不可分割的紧密联系。蒸发过程虽然主要在作物棵间进行,但其水分散失量受作物生长状况的影响也很大。

不同种类的蔬菜作物,其需水模式和绝对数量不同。同一品种的蔬菜作物在不同生育阶段和时期需水量也表现出较大的不同^[12]。由于种间差异作物对水分的需求量和敏感程度都存在一定的差异,不同作物所要求的灌溉定额、灌水次数以及需水强度也不同。黄瓜的需水规律表现:需水强度在开花期和初瓜期均较小,于盛瓜期需水量陡然增加,后期又逐渐减小。盛瓜期出现需水强

度高峰段,日均需水量达到 $3.977 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[13]。8601 甜瓜各生育阶段的蒸散量(需水量)为:苗期 $0.75 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,膨瓜期 $4.56 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,成熟期 $1.73 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;新密 19 甜瓜各生育阶段的蒸散量(需水量)为:苗期 $0.39 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,膨瓜期 $2.29 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,成熟期 $0.69 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[14]。在新疆石河子地区,探求的滴灌大豆适宜的灌溉模式,得出了大豆滴灌的关键技术指标:灌溉总量适宜范围 $395 \sim 445 \text{ mm}$,灌水总量适宜范围为 $35 \sim 45 \text{ mm}$,苗期和成熟期灌溉标准参考值为下限值,频率为每 7 d 1 次;灌溉标准参考值在花荚期和鼓粒期为上限值,周期 5 d 1 次,全生育期灌水总次数为 13 次^[15]。

3.3 土壤水分状况的影响

棵间蒸发消耗的水分直接来自于土壤,作物蒸腾散失的水分也来源于土壤之中,是由作物经蒸腾拉力从土壤中吸收而来。土壤水分经由灌溉进入土壤,继而对作物需水量产生直接作用。由此可见,土壤水分状况不仅影响着作物的生长发育,进而直接影响到作物需水的绝对数量。灌溉的作用在于调节土壤水分状况,进而对作物需水特性起关键作用。

近年来,许多研究表明土壤水分状况对蔬菜作物需水量影响较大。土壤水分、耗水量及产量三者的关系较为密切,总体上呈正相关趋势,但在不同生育阶段其相关程度差异悬殊。黄瓜灌溉试验研究表明,不同生育期土壤水分状况的适宜范围为:开花期 $80\% \sim 90\%$,初瓜期 $80\% \sim 90\%$,盛瓜期和生长后期分别为: $90\% \sim 100\%$, $70\% \sim 80\%$ 。依此规律灌溉调节土壤水分状况,可以达到节水高效和优质高产^[13]。温室番茄滴灌栽培条件下,土壤水分状况与番茄的耗水量显著相关,总耗水量、阶段耗水量与土壤水分呈正相关^[11]。

土壤水分状况是灌溉效应的直接体现,研究土壤水分状况对于蔬菜作物需水特性的影响也就是研究灌溉对于作物需水的影响。这些研究深入到了灌溉、土壤水分状况和作物需水特性的各个方面以及它们之间的相互关系,为后人的研究提供了很多值得借鉴的经验。

3.4 栽培措施和灌溉方式的影响

一些栽培耕作措施会使土壤表面状况发生变化,影响作物水分利用与散失过程,从而影响作物需水量。随着现代农业技术的发展和进步,新型

栽培措施的应用,极大地推动了栽培措施和需水规律关系的研究。采用中耕松土等保墒以及地膜和秸秆覆盖等措施,可以明显减少棵间蒸发量,从而使作物需水量有所降低^[16]。设施栽培条件下的蔬菜较常规种植下需水量少 50% 左右;温室内蔬菜瓜果的需水量仅为露天需水量的 30% 左右^[6]。不同种植制度对产量方面影响显著。两年三熟制降雨量能够满足作物耗水量 80.4% 。一年一熟制降雨量能够满足作物耗水量的 89.2% ^[17]。

不同的灌水方式下,水分进入土壤的方式和机理不同,地面的湿润程度及频度也不同,因而棵间蒸发所占的比重也有明显的差异,进而引起作物需水量的变化。以膜下滴灌(MDI)、地表滴灌(DI)和地下滴灌(SDI)模式与 4 种不同灌水下限组合,在我国西北地区进行滴灌模式和灌水下限对甜瓜耗水量和产量影响的试验研究,发现同一灌水下限下,DI 耗水量最大(平均 239.3 mm),SDI 次之(平均 217.3 mm),MDI 最小(平均 193.0 mm)^[18]。与沟灌相比局部控水灌溉条件下,番茄耗水需水规律相同,但番茄耗水量、需水量明显降低,能够节约灌溉水量 33.4% ^[19]。

4 蔬菜作物灌溉效应研究

4.1 蔬菜作物生长发育和生理活动的灌溉效应

灌溉直接对土壤水分状况产生作用,土壤水分状况能直接或间接地对蔬菜作物的生长发育产生显著影响,它是影响蔬菜作物株高、茎粗、叶面积、叶片数以及根系生长的最重要因素^[20-21]。株高、茎粗、叶面积等信息是反映植株生长状况的重要指标,这些指标会对灌溉作出响应。不同生育期植株的株高、茎粗和叶面积既取决于作物自身的遗传特性,也受到气象状况、土壤水分、养分等环境条件的影响^[22]。由于植株生理和生长指标是响应灌溉效应的关键指标,近年来,有关该方面的研究取得了较多的结果。甜瓜随着灌水上限的降低,株高、茎粗和节间长逐渐降低^[24]。中度水分亏缺处理甜瓜品种银帝、玉金香,在播种至开花阶段、开花至膨大阶段的主蔓长、茎粗和叶面积等生长指标显著低于对照,由此可以说明甜瓜主蔓长、茎粗和叶面积的生长受到了中度水分亏缺的显著限制^[24]。适度水分亏缺能够促进西瓜的主蔓长和根长的生长,增加叶片数、花数、根数和坐瓜数,同时增大了叶面积和根冠比^[14]。

灌溉直接影响土壤水分状况,进而影响植物的水分状况。叶片水分状况和细胞液浓度是蔬菜作物合理灌溉的重要指标^[25]。作物的蒸腾速率(Tr)、光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)等光合指标也会因为灌水的不同而表现出很大的差异度,基于此,灌溉成为进一步影响光合产物的合成与累积、有机物的转运及分配的关键因子,从而表现在不同灌溉条件下产量品质的差异^[19]。蔬菜作物的许多生理活动指标会对灌溉效应作出反应,这些指标主要包括:作物组织相对含水量(RWC)、自然饱和亏(WSD)、脯氨酸含量(Pro)、丙二醛含量(MDA)、叶绿素含量以及各种光合指标(Pn, Tr, Gs, Ci)等。甜瓜净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)在土壤含水量 90% 的处理最高。叶片中丙二醛(MDA)含量随灌溉上限的降低先增大后减小,脯氨酸(Pro)含量随灌水上限的降低而逐渐升高^[23]。甜瓜品种银帝、玉金香的气孔导度(Gs)、光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)会因为开花坐果期至果实膨大期的不同程度水分亏缺而显著降低,但水分利用效率(WUE)却因为水分亏缺处理而得到显著提高,光合速率由于在果实膨大期至成熟后期不同程度的水分亏缺而显著降低,同时 WUE 得到提高^[24]。这些研究结果都表明蔬菜作物的生理活动对于灌溉和土壤水分状况的响应机制十分显著,蔬菜作物生理活动指标的灌溉效应研究对于研究作物需水特性意义突出。

4.2 蔬菜作物产量和品质的灌溉效应

蔬菜作物组织细嫩且具较多汁液,蔬菜作物的生长发育过程和生化生理活动中水分的作用尤为显著,水分对蔬菜作物产量和品质的影响也显得更为突出和直观^[26]。蔬菜作物产量品质的灌溉效应研究是作物需水特性的重要方面,对于优化合理灌溉指标体系意义突出。

研究表明,灌水过多或过少、土壤水分过高或过低均会对蔬菜作物的产量和品质产生不利影响。灌水不足土壤水分含量较少致使作物吸收水分不足,作物体自身会增加的纤维素等物质的合成,对于蔬菜作物的产品器官来说,会使产品器官组织硬化,苦味物质合成增多,严重降低了蔬菜作物的品质;灌水过多土壤水分含水率过高同样不利于作物产量和品质的形成,对于一些以作物生殖器官作为产品的蔬菜,水分过多导致营养生长

过剩,生殖生长受到抑制,从而影响产量的提高。同时,水分过多也会使植物组织内的糖、有机离子、盐等影响风味的物质的含量减少、存在形态发生变化。水分过多也会使作物徒长,耐病性、耐贮性降低。甜瓜果实中的可溶性固形物、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 以及游离氨基酸含量均在土壤含水量 90% 时达到最高。甜瓜的单果重和果径均随灌水上限的降低而减小^[23]。灌水量增加对产量的提高起到了促进作用,但同时对品质的形成产生负面影响,随着灌水量的增加果实内糖、有机酸含量表现出降低的趋势^[25]。不同生育阶段土壤水分调控对番茄果实糖酸比、可溶性蛋白含量、VC 含量、硬度等产生不同程度的影响,是反映果实储运品质和营养品质的重要指标,就影响程度而言,苗期的水分调控影响程度较小,开花坐果期和成熟期水分调控影响程度较大^[11]。在新疆的气候条件下,田间持水量 70%~80% 的处理甜瓜品质表现较好,8601 和新密 19 可溶性固形物含量达到了 13.69% 和 16.75%,维生素 C 含量分别达到 8.05 和 12.55 mg·kg⁻¹,小区产量也分别高于其它处理^[27]。蔬菜作物产量品质的灌溉效应研究为制定合理的灌溉指标和灌水制度,实现科学水分调控以及精确管理提供了参考。

5 问题与展望

目前,蔬菜作物需水规律的研究非常深入和广泛,已形成了系统的理论基础,但是研究作物需水规律的核心是为指导科学灌溉,大多数研究成果未能应用于生产实践,理论研究大于实践应用。因而,今后应该加强研究的关键问题:一是各个蔬菜作物不同栽培区域和不同栽培模式下的科学灌溉具体实施方法;二是与之相配套的灌溉设施设备的研究和开发;三是科学灌溉理论的实际推广和生产应用研究。

参考文献:

- [1] 孙景生,康绍忠.我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策[J].农业工程学报,2000,16(2):5.
- [2] 郑健,蔡焕杰,陈新明.调亏灌溉对温室小型西瓜水分利用效率及品质的影响[J].核农学报,2009,23(1):132-138.
- [3] De Melo Alberto Soares, Janivan Fernandes Suassuna, Pedro Dantas Fernandes, et al. Vegetative growth, stomatal resistance, photosynthetic efficiency and yield of watermelon plants under different water levels[J]. Acta Scientiarum-Agronomy, 2010, 32(1): 73-79.
- [4] Erdem Y, Yuksel A N. Yield response of watermelon to irri-

- gation shortage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2003, 98(4): 365-383.
- [5] Xie Zhongkui, Wang Yajun, Cheng Guodong, et al. Particle-size effects on soil temperature, evaporation, water use efficiency and watermelon yield in fields mulched with gravel and sand in semi-arid Loess Plateau of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(6): 917-923.
- [6] 叶澜涛. 设施栽培蔬菜瓜果需水规律及其模拟研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [7] 汤广民. 水稻旱作的需水规律与土壤水分调控[J]. *中国农村水利水电*, 2001(9): 4.
- [8] 王仰仁, 李明思, 康绍忠. 立体种植条件下作物需水规律研究[J]. *水利学报*, 2003(7): 6.
- [9] 任自力, 张显, 朱盼盼, 等. 大棚西瓜需水强度与环境因子的关系[J]. *北方园艺*, 2013(9): 42-46.
- [10] 张瑞美, 彭世彰, 叶澜涛. 设施栽培番茄需水规律分析及其气象因子响应模型[J]. *灌溉排水学报*, 2007, 26(2): 25-28.
- [11] 刘浩, 段爱旺, 孙景生, 等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 6.
- [12] 康绍忠, 胡笑涛, 蔡焕杰, 等. 现代农业与生态节水的理论创新及研究重点[J]. *水利学报*, 2004(12): 1-7.
- [13] 何华, 杜社妮, 梁银丽, 等. 土壤水分条件对温室黄瓜需水规律和水分利用的影响[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(8): 5.
- [14] 庞秀明. 干旱荒漠绿洲区西瓜耗水规律与调亏灌溉模式的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005.
- [15] 毛洪霞. 滴灌大豆需水规律及灌溉制度研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(5): 6.
- [16] Jia Z, W Luo. Modeling net water requirements for wetlands in semi-arid regions[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 81(3): 13.
- [17] 刘明, 陶洪斌, 王璞, 等. 华北平原水氮优化条件下不同种植制度的水分效应研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2): 6.
- [18] 王洪源, 李光永. 滴灌模式和灌水下限对甜瓜耗水量、产量和品质的影响[C]// 王洪源. 第八届全国微灌大会论文集. 酒泉: 中国水利学会, 2009: 38-42.
- [19] 陈新明, 蔡焕杰, 单志杰, 等. 局部控水灌溉温室大棚番茄需水耗水信息研究[C]// 陈新明. 2005 年中国农业工程学会学术年会论文集. 广州: 中国农业工程学会, 2005: 24-26.
- [20] 孔德杰, 郑国宝, 张源沛, 等. 宁夏设施番茄膜下滴灌条件下耗水规律和水分利用效率[J]. *西北农业学报*, 2011(1): 119-123.
- [21] 孔德杰, 郑国宝, 张源沛, 等. 不同灌水量对设施番茄产量和耗水规律的影响[J]. *长江蔬菜*, 2010, 24(17): 1001-3547.
- [22] 田义, 张玉龙, 虞娜, 等. 温室地下滴灌灌水控制下限对番茄生长发育、果实品质和产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5): 5.
- [23] 曾春芝. 不同水分处理对大棚滴灌甜瓜产量与品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [24] 高慧娟. 厚皮甜瓜耗水规律与调亏灌溉效应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [25] Harman to, Salokhe V M, Babel M S, et al. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 71(3): 18.
- [26] Kumar S, Imtiyaz M, Kumar A, et al. Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water[J]. *Water Management*, 2007(89): 161-166.
- [27] 桑艳朋. 膜下滴灌量甜瓜需水规律研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2006.

Research Progress of Vegetable Crops Water Demand Regulation

REN Zi-li¹, ZHANG Xian²

(1. Leshan Vocational and Technical College, Leshan, Sichuan 614000; 2. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: There is a very profound significance in studying the vegetable crops water demand regulation to guide irrigation for decreasing waste of agricultural water use, improving the efficiency of water-using and even the yield and quality of vegetables. The relevant researches on vegetable crops water demand regulation and water physiology in recent years were analyzed, and the present research situation of crops water demand regulation, irrigation, influencing factors and the vegetable crops irrigation were described. And the problems and approaches of vegetable crops water demand regulation were discussed.

Keywords: vegetable; crops; irrigation; water demand regulation