

云南高原气候环境下冬季娃娃菜的耗水规律研究

倪匡迪¹, 张刘东¹, 陈晨¹, 吴欧侯²

(1. 云南农业大学水利学院 昆明 650051; 2. 云南水利水电职业技术学院 昆明 650000)

摘要:为探究云南高原特色气候环境下冬季露地种植娃娃菜的耗水规律和最优节水灌溉制度,分析了不同水分处理对冬季娃娃菜耗水量、生长的影响以及充分灌溉(T0)处理下娃娃菜各生育周期的耗水规律。结果表明,不同处理下娃娃菜移栽后全生育周期的总灌水次数、总灌水量、总耗水量均表现为T0>T1>T2>T3, T0处理耗水量最大,为154.52 mm,与T0相比, T1耗水量降低12.42%;充分灌溉处理下娃娃菜耗水强度在结球期达到最大值,为2.74 mm·d⁻¹; T0、T1处理单株产量无显著差异, T2、T3处理产量均显著低于T0、T1处理, 相较T0处理下降了60.95%~86.96%。相对湿度与充分灌溉条件下冬季娃娃菜耗水量呈极显著负相关,是冬季娃娃菜耗水量的主要影响因素。试验表明娃娃菜的耗水量及生长发育情况受土壤含水率影响明显,控制在田间持水量的80%~90%进行调亏灌溉可作为冬季娃娃菜生产的推荐节水灌溉方案,试验结果可为云南地区作物种植提供参考。

关键词:娃娃菜;耗水规律;耗水强度;调亏灌溉

中图分类号:S634

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)03-098-06

Water consumption of the mini Chinese cabbage in winter under Yunnan plateau climate

NI Kuangdi¹, ZHANG Liudong¹, CHEN Chen¹, WU Ouyu²

(1. School of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650051, Yunnan, China; 2. Yunnan Water Resources and Hydropower Vocational College, Kunming 650000, Yunnan, China)

Abstract: In order to explore the water consumption and optimal water-saving irrigation system of mini Chinese cabbage open field production in winter in Yunnan Plateau, the experiment was conducted to evaluate the influence of different water treatments on water consumption and growth of the mini Chinese cabbage under full irrigation (T0) treatment. The results showed that, irrigation times, irrigation water volume and water consumption of the mini Chinese cabbage in the whole growth cycle after transplanting was T0>T1>T2>T3 under different treatments. The water consumption of T0 treatment was the largest, which was 154.52 mm. Compared with T0, the water consumption of T1 decreased by 12.42%. Under the full irrigation treatment, the water consumption intensity of the mini Chinese cabbage reached the maximum value at the heading stage, which was 2.74 mm·d⁻¹. There was no significant difference in yield of T0 and T1 treatments, and the yield of T2 and T3 treatments was significantly reduced, which was 60.95%~86.96% lower than that of T0 treatment. There was a significant negative correlation between relative humidity and water consumption under full irrigation, which was the main influencing factor of water consumption. The water consumption and growth of the mini Chinese cabbage is significantly affected by soil moisture content. Controlling 80%~90% of field water capacity for regulated sewage irrigation can be used as the recommended water-saving irrigation scheme for the mini Chinese cabbage production.

Key words: The mini Chinese cabbage; Water consumption law; Water consumption intensity; Sewage irrigation

近年来,云南蔬菜种植产业发展迅速,云南蔬菜已经进入北京、上海、广州、深圳等全国150多个大中城市及港澳台地区,形成冬早蔬菜供北方、夏秋蔬菜供南方的基本格局^[1]。云南省具有特殊的低纬度高原气候特征,水资源干湿季分布特征明显,

冬季(12—2月)降雨量很少,约占全年降雨量的4.9%^[2]。根据国家气象信息中心-中国气象数据网昆明站1980—2017年的公开数据,研究地区冬季(12—2月)多年平均气温9.6℃,冬季多年平均日最高气温16.5℃,在补充灌溉条件下仍能够进行露

收稿日期:2022-07-21;修回日期:2022-11-03

基金项目:国家自然科学基金(51669035, 51979134);云南省高层次人才支持计划(YNWR-QNBJ-2020-168)

作者简介:倪匡迪,男,在读硕士研究生,主要从事水资源高效利用与管理研究。E-mail: 1296967206@qq.com

通信作者:张刘东,男,副教授,主要从事水资源高效利用与管理研究。E-mail: zld8066@163.com

地经济作物种植,冬早蔬菜生产具有区位优势,研究地区冬季露地种植经济作物耗水规律对地区农业节水灌溉至关重要。目前,国内外关于作物耗水规律的研究主要集中在玉米^[3]、水稻^[4]、小麦^[5-6]、马铃薯^[7]等主粮作物上,在叶类蔬菜方面的研究则主要集中在菠菜^[8-9]、白菜^[10]等方面。娃娃菜作为云南省主要蔬菜产品之一,目前关于娃娃菜耗水规律试验的相关文献在云南乃至全国都较为少见,特别是关于冬季种植条件下耗水规律的研究尚未见报道。为此,笔者以娃娃菜作为试验材料,基于云南独特的自然气候条件,进行盆栽娃娃菜的耗水规律研究。通过设置不同灌溉处理组研究水分亏缺对娃娃菜耗水量以及生长的影响,结合昆明气象站气象数据分析充分灌溉条件下娃娃菜的耗水规律与参考作物需水规律,以期探讨特定气候和生产条件下

的娃娃菜的耗水特征,提高农田生产效率。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2021年11月至2022年2月在云南农业大学省级农业节水工程中心开展。试验区采用地面嵌入式盆栽系统,安装移动式遮雨棚以隔绝降水,试验区海拔1943 m,属于北纬低纬度亚热带-高原山地季风气候。娃娃菜于2021年11月27日移栽,生育期72 d。试验土壤采用滇中地区常见的红壤,环刀法测定盆内土壤田间持水量为36.40%(质量含水率),容重为1.1 g·cm⁻³。试验中使用的气象数据来源于国家气象信息中心-中国气象数据网昆明站的公开数据,气象因子统计如表1所示,表中生育期以T0组生长情况进行划分。

表1 娃娃菜生育期内气象因子统计

生育期	时间/d	平均风速/(m·s ⁻¹)	平均气温/°C	日照时数/h	最低气温/°C	最高气温/°C	平均水汽压/hPa	平均相对湿度/%
幼苗期	19	1.8	11.2	107.7	4.9	20.4	9.7	72.9
莲座期	19	2.1	10.1	143.0	3.7	18.1	9.1	73.7
结球期	27	2.5	10.2	186.7	2.1	19.5	8.1	65.2
成熟期	7	2.5	8.7	58.2	3.1	17.4	7.7	68.3
全生育期	72	2.2	10.3	495.6	2.1	20.4	8.7	69.8

1.2 试验设计

试验以金秋福娃为试材,采用4叶1心商品苗,在移栽后10 d进行水分处理。试验盆上径、下径、高分别为30.0、27.0、32.4 cm,空盆平均质量0.845 kg,每盆移栽量为1株。为确保娃娃菜幼苗成活及试验处理的一致性,试验处理前保持盆内土壤含水率在90%左右的田间持水量,并设置4个备用盆,用于补充娃娃菜移栽过程中可能发生死亡的盆栽。试验以娃娃菜水分亏缺程度为试验因素,设置4个处理,每个处理选取3盆采用相同灌水方式的娃娃菜进行测量。其中,处理1(T0)全生育期进行充分灌溉、处理2(T1)采用相对含水率80%~90%进行灌溉、处理3(T2)采用相对含水率70%~80%进行灌溉、处理4(T3)采用相对含水率60%~70%进行灌溉。每日测量盆内土壤含水率,当相对含水率达到设定下限时开始灌水,每个处理的灌水下限均为设定含水率的最低值,一次性灌水至设定上限,每个处理的灌水上限均为设定含水率的最高值,并运用称质量法测定耗水量。每2 d运用钢卷尺(精度0.1 cm)测定娃娃菜的株高和株幅作为生长生理指标,待娃娃菜成熟采摘后,使用电子天平测量产量

指标及根系鲜质量指标。试验选取气温、相对湿度、风速、日照时数、水汽压5个影响作物需水量的主要气象因子与充分灌溉处理下的耗水量(ET)进行相关性分析,得到2个变量间的Pearson相关系数,并使用SPSS软件运用路径分析^[11]研究各个气象因子对充分灌溉处理下冬季种植娃娃菜耗水量的影响并得到直接途径系数与间接途径系数。

1.3 研究方法

1.3.1 耗水量(ET) 盆栽试验采用称质量法结合水量平衡方程计算耗水量(ET),公式如下:

$$ET = \frac{G_1 + G_M + G_P - G_2 - G_C}{S}; \quad (1)$$

式中:ET为阶段作物耗水量(mm);G₁为时段开始时的盆栽总质量(kg);G_M为时段内向盆内的灌水量(kg);G_P为时段内落入盆栽中的降雨量(kg);G₂为时段结束时的盆栽总质量(kg);G_C时段内盆栽向外排出的水量(kg);S为盆栽内的水平截面积(m²)。由于盆栽试验设置了遮雨棚,盆栽底部密封,不发生渗漏现象,因此,G_P=0,G_C=0。

1.3.2 参考作物蒸发蒸腾量(ET₀) 参考作物需水量是指参考作物在供水充足条件下的作物需水量,

主要受气象因素影响,可以普遍应用于不同地区^[12]。试验所用气象数据来源于国家气象信息中心-中国气象数据网昆明站的公开数据,使用FAO-56推荐的Penman-Monteith公式^[12]计算,该公式的可靠性经过国内外多年研究与实践检验,已经成为计算 ET_0 所采用的公认方法,见式(2)。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

式中: ET_0 为参考作物需水量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 为到达作物表面的净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$);在逐日估算时, $G=0$; T 为日平均气温($^{\circ}\text{C}$),按日最高气温和日最低气温的算术平均值计算; u_2 为2 m高处的平均风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); $e_s - e_a$ 为饱和水汽压差(kPa); Δ 为饱和水汽压曲线的倾率($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ 为湿度计常数($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

1.4 数据分析

采用SPSS 22.0和Excel 2010软件对试验数据进行统计处理、作图分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理下单株娃娃菜的耗水情况

由表2可知,不同处理下娃娃菜移栽后全生育周期的总灌水次数、总灌水量、总耗水量均表现为 $T_0 > T_1 > T_2 > T_3$,各处理之间总耗水量差异显著,其中 T_0 处理总耗水量最高,为154.52 mm, T_1 处理

次之,为135.33 mm,较 T_0 低12.42%。

表2 不同处理下娃娃菜全生育期的灌水和耗水情况

处理	总灌水次数	总灌水量/kg	总耗水量/mm
T0	16	11.59	154.52±2.52 a
T1	12	9.34	135.33±8.47 b
T2	10	6.09	105.39±6.22 c
T3	7	3.69	86.01±11.15 d

注:不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

将娃娃菜全生育周期划分为6个生长阶段进行耗水强度研究,每个生长阶段12 d,图1为各生长阶段不同水分处理下娃娃菜单株阶段耗水强度的差异比较。不同处理下各生长阶段对应的生育期和生长状态见表3。全生育期内, T_0 、 T_1 、 T_2 单株耗水强度均表现为先上升后下降的趋势, T_3 处理全生育周期耗水量波动幅度较小。在1~12 d, T_0 处理耗水强度为 $1.44 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,显著高于其他处理, T_1 、 T_2 、 T_3 之间差异并不显著;在13~60 d, T_0 和 T_1 处理的耗水强度均显著高于 T_2 和 T_3 处理;在37~48 d, T_0 处理耗水强度达到最高值,为 $3.31 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;在13~60 d, T_0 和 T_1 之间的耗水强度没有显著差异,从第49天开始至生育期结束, T_2 的耗水强度显著高于 T_3 ;从第61天开始至生育期结束, T_0 处理耗水强度再次显著高于 T_1 , T_1 和 T_2 处理则表现为差异不显著。由表3所示, T_0 、 T_1 组的娃娃菜生育进程基本吻合,而 T_2 、 T_3 组在莲座期之后无法正常进入结球期,表明水分亏缺会影响娃娃菜的生育进程。

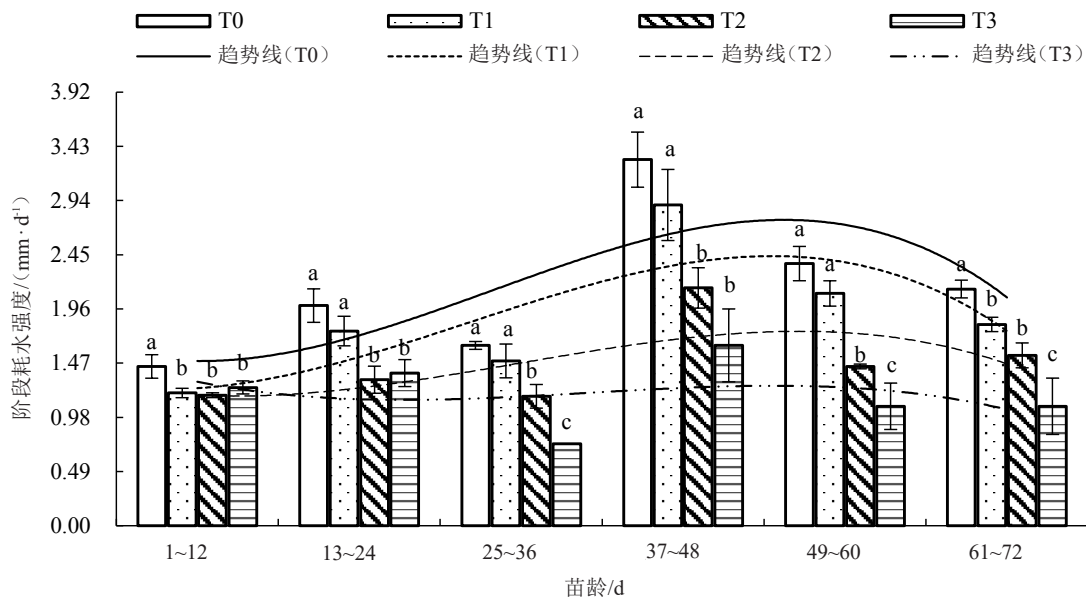


图1 不同水分处理下娃娃菜生长期耗水强度

表3 不同处理下各生长阶段对应的生育期或生长状态

处理	1~12 d	13~24 d	25~36 d	37~48 d	49~60 d	61~72 d
T0	幼苗期	幼苗期、莲座期	莲座期	结球期	结球期	结球期、成熟期
T1	幼苗期	幼苗期、莲座期	莲座期	结球期	结球期	结球期、成熟期
T2	幼苗期	幼苗期、莲座期	莲座期	无法正常结球	无法正常结球	无法正常结球
T3	幼苗期	幼苗期、莲座期	莲座期	无法正常结球	无法正常结球	无法正常结球

2.2 不同水分处理对娃娃菜生长指标的影响

通过对各处理成熟后的生长生产指标进行差异显著性分析,从表4可以看出,株高、株幅、单株产量以及平均根系鲜质量4个指标,T0与T1均无显著差异,各组的差异性表现为T0、T1>T2>T3;T0、T1处理下娃娃菜的单株产量最高,分别为237.20、210.13 g,T2处理次之,为92.63 g;T3组的

单株产量最低,为30.93 g,T2、T3处理产量相比T0处理下降了60.95%~86.96%。

由图2可知,单个处理娃娃菜的株高(图2-A)和株幅(图2-B)生长趋势基本一致,T0、T1处理在幼苗期(2021年11月27日至2021年12月15日,即移栽后19 d内)生长较慢,在莲座期与结球期(2021年12月16日至2022年1月30日,即移栽后20~65 d)生长明显加快,在成熟期(2021年1月31日至2022年2月6日,即移栽后66~72 d)生长再次放缓。T2与T3在移栽后40 d(2021年11月27日至2022年1月6日)内均表现出生长发育迟缓,在移栽40 d(2022年1月7日至2022年2月6日)后,T2组生长速度有所提高,但是依然滞后于T0、T1处理,T3处理全生育期的生长受到抑制,生长缓慢。

表4 不同处理下娃娃菜生长生产指标

处理	株高/cm	株幅/cm	单株产量/g	根系鲜质量/g
T0	22.10±1.01 a	38.70±2.19 a	237.20±34.25 a	2.94±0.65 a
T1	20.87±0.87 a	34.20±2.40 a	210.13±5.99 a	3.17±0.79 a
T2	17.10±1.15 b	26.33±1.53 b	92.63±6.60 b	1.67±0.22 b
T3	10.33±1.88 c	18.50±2.80 c	30.93±6.52 c	0.51±0.10 c

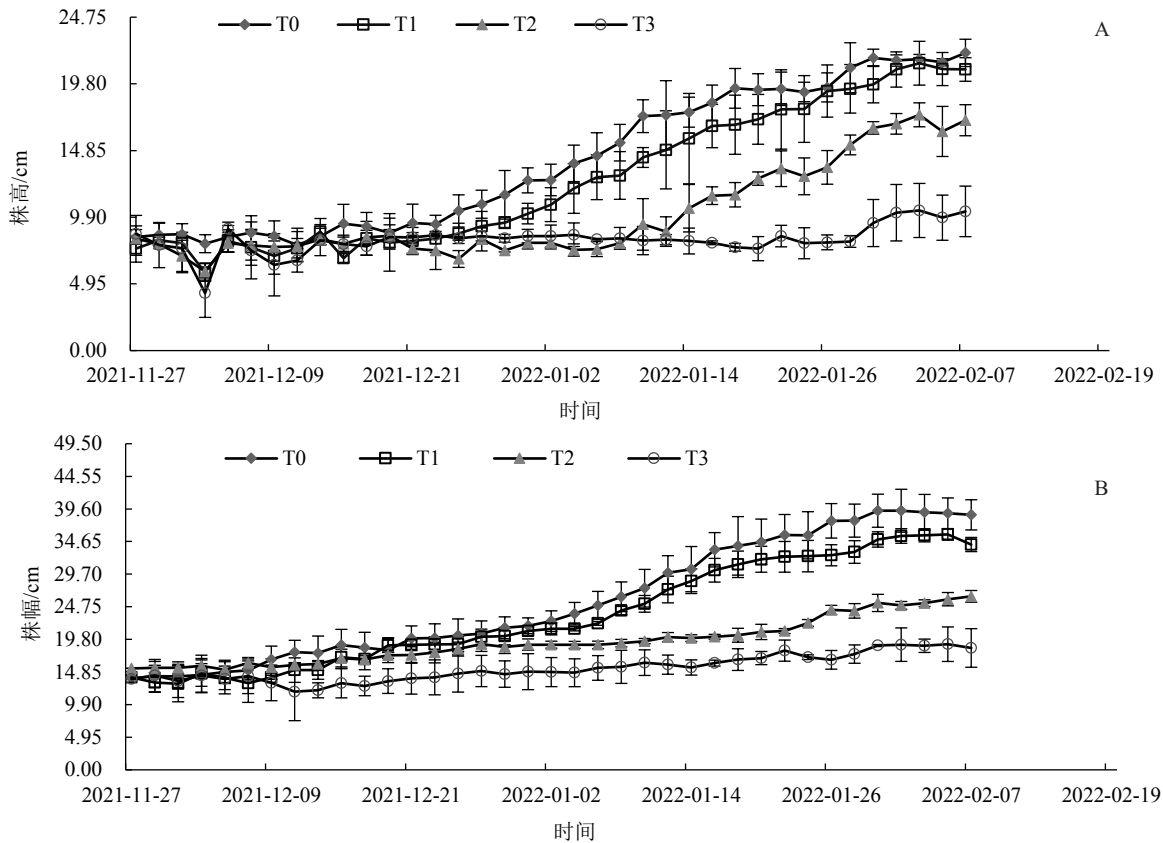


图2 不同水分处理下娃娃菜生长情况

2.3 充分灌溉条件下实际耗水量与参考作物需水量的对比

由表5可知,娃娃菜耗水强度在结球期达到最大值,为 $2.74\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$,参考作物需水强度在成熟期达到最大值,为 $2.47\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$;在结球期的耗水模数

最大,为47.65%,其次是莲座期,为22.57%。在幼苗期和莲座期,娃娃菜的实际耗水量小于参考作物需水量;在结球期,娃娃菜的实际耗水量大于参考作物需水量;在成熟期,娃娃菜的实际耗水量小于参考作物需水量;全生育周期娃娃菜耗水量比参考

表5 充分灌溉处理下冬季娃娃菜各生育阶段耗水量与参考作物需水量的对比

生育期	时间/d	耗水模数/%	耗水量/mm	耗水强度/($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)	参考作物需水量/mm	参考作物需水强度/($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)
幼苗期	19	20.90	32.39	1.70	36.50	1.92
莲座期	19	22.57	34.99	1.84	38.20	2.01
结球期	27	47.65	73.87	2.74	62.20	2.30
成熟期	7	8.88	13.77	1.97	17.30	2.47
全生育期	72	100.00	155.02	2.15	154.20	2.14

作物需水量高0.82 mm。

2.4 冬季娃娃菜耗水量影响因素分析

2.4.1 相关性分析 由表6可知,充分灌溉处理下娃娃菜耗水量(ET)与气温、风速呈极显著正相关,

表6 充分灌溉处理下冬季种植娃娃菜耗水量(ET)与气象因子的相关性分析

因子	气温	相对湿度	风速	日照时数	水汽压
相关系数	0.372**	-0.774**	0.481**	0.205*	-0.441**

注:**表示在0.01水平上差异极显著,*表示在0.05水平上差异显著, $n=72$ 。

与日照时数呈显著正相关,与相对湿度和水汽压呈极显著负相关。其中相对湿度与耗水量相关性较高,相关系数为-0.774,其次为风速与水汽压等。表明相对湿度是影响冬季娃娃菜耗水量的重要气象因子。

2.4.2 通径分析 由表7可知,相对湿度对冬季娃娃菜耗水量的直接通径系数、间接通径系数之和均为最大,分别为-0.586,0.317,相对湿度对冬季娃娃菜耗水量的直接抑制作用较大,此外,相对湿度还主要通过水汽压间接影响冬季娃娃菜耗水量。

表7 充分灌溉处理下冬季种植娃娃菜耗水量影响因素通径分析

自变量	直接通径系数	间接通径系数					间接通径系数之和
		气温	相对湿度	风速	日照时数	水汽压	
气温	0.167		-0.072	0.021	0.000	0.073	0.022
相对湿度	-0.586	0.250		0.355	0.076	-0.364	0.317
风速	0.040	0.005	-0.024		0.002	-0.020	-0.037
日照时数	0.162	0.000	-0.021	0.008		-0.016	-0.029
水汽压	-0.115	-0.050	-0.071	0.057	0.011		-0.053

3 讨论与结论

在笔者试验中,与充分灌溉相比,在田间持水量80%~90%调亏灌溉娃娃菜平均单株产量没有显著差异的情况下,总耗水量可以减少12.42%,而田间持水量80%以下的2个调亏灌溉处理组单株产量均显著下降。由此可见,对冬季娃娃菜适当进行调亏灌溉不会显著降低娃娃菜产量,同时可以一定程度上减少其耗水量,但是如果灌水亏缺量过多,则会导致作物显著减产。在其他叶类蔬菜中也有类似特征,在冬季温室供热滴灌条件下,高土壤水分下限处理下白菜产量更高,但其耗水量较高,控制设施栽培白菜土壤相对含水率下限的70%处理

较控制田间持水量下限的60%、80%2个处理的水分生产率更高^[13];在苗期和莲座期控制灌水量为常规灌水量65%可以提高青花菜的水分利用率和产量^[14]。在笔者的试验中,T2、T3处理娃娃菜生长发育迟缓,尤其是结球进程受到了影响,无法正常结球。从国内外研究来看,同属十字花科芸薹属的甘蓝(卷心菜)也有类似表现,Nyatuame等^[15]在2013年非洲加纳的田间试验中发现,在缺水处理下,甘蓝的结球会出现生长发育不良以及弯曲畸形的情况;2009年,梁玉芹等^[16]在河北的日光温室甘蓝种植试验中也发现灌水量过少会影响甘蓝内径的生长发育。

国内学者关于小型叶类蔬菜的研究显示,生菜

全生育周期的需水量在 95.20~121.40 mm^[17]。冬季大白菜全生育周期的耗水量在 121.75~131.08 mm 之间,各生育周期的耗水强度在 0.92~2.11 mm·d⁻¹^[13]。笔者研究发现,在充分灌溉下,娃娃菜全生育周期的耗水量为 154.52 mm,各生育期的耗水强度在 1.70~2.74 mm·d⁻¹,与国内学者在其他蔬菜上的研究相比较,造成差异的原因除了蔬菜种类不同外,还包括作物耗水量受辐射、相对湿度、温度等气象因素影响导致作物耗水量和耗水强度的不同,除此之外还包括种植环境、土壤理化性质、灌水方式等因素造成的影响^[18]。徐俊增等^[17]认为,夏季湿度的增加,降低了夏季增温对需水量的影响,从而导致冬季生菜的需水量高于夏季,说明相对湿度是影响作物需水量的重要因素,从笔者的相关性分析和通径分析的结果来看,相对湿度较其他气象土壤因素对冬季娃娃菜耗水量的影响更大。

笔者采用盆栽的方式开展试验,相较于田间使用烘干法、TDR(土壤墒情测量仪)等水分测量方法,盆栽环境可以应用称质量法更加及时地测量和更加精准地控制土壤含水率。另外,田间试验在发生强降雨时易产生地表径流进而影响试验结果,笔者采用盆栽试验则可以很好地避免这些因素对试验结果的影响。但是,盆栽试验的环境相对于田间试验也更加的理想化,加之目前国内外比较缺乏针对娃娃菜耗水规律的相关研究。因此,笔者拟深入研究,以更加充分了解和认识娃娃菜的耗水规律,进一步贴近农业生产实际。

综上所述,土壤含水率控制在田间持水量的 80%~90%进行调亏灌溉相比充分灌溉不会显著导致娃娃菜减产,同时可以减少 12.42%的作物耗水量,节水潜力较大。当土壤含水率控制在田间持水量的 70%~80%甚至更低时则会导致作物显著减产,在充分灌溉条件下,相对湿度是影响冬季娃娃菜耗水量的主要因素。笔者的研究结果可为云南地区娃娃菜种植灌水提供参考。

参考文献

[1] 赵家进,刘跃明,李永平,等. 2019年云南省蔬菜产品销售现状

及发展对策[J]. 长江蔬菜, 2021(4): 72-76.

- [2] 王理萍,王树仿,张刘东,等. 1960-2013年云南省降水时空变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2016, 34(12): 20-24.
- [3] 肖俊夫,刘战东,刘祖贵,等. 不同时期干旱和干旱程度对夏玉米生长发育及耗水特性的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(4): 54-58.
- [4] BELDER P, BOUMAN B A M, CABANGON R, et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia[J]. Agricultural Water Management, 2004, 65(3): 193-210.
- [5] 房全孝,陈雨海. 节水灌溉条件下冬小麦耗水规律及其生态基础研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(3): 18-22.
- [6] 花佳程,朱永华,王振龙,等. 淮北平原冬小麦作物系数的变化规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(2): 118-124.
- [7] 秦军红,庞保平,蒙美莲,等. 马铃薯膜下滴灌耗水规律的研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(1): 47-50.
- [8] 史中兴,刘腾,陈琳,等. 保水剂对冬菠菜耗水特性及产量的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(5): 123-126.
- [9] 叶澜涛,彭世彰,王仰仁,等. 设施栽培菠菜需水规律与作物系数研究[J]. 节水灌溉, 2009(5): 1-3.
- [10] 周黎,叶水根,徐飞鹏,等. 冷凉地区膜下滴灌大白菜耗水规律及节水潜力[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(2): 194-199.
- [11] 杜家菊,陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [12] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[J]. Faoirrigation and Drainage Paper, 1998, 56: 300.
- [13] 宝哲,吴文勇,刘洪禄,等. 温室滴灌条件下土壤水分下限对白菜生长及耗水强度的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(4): 59-63.
- [14] 康晓娟,王艳,杨军,等. 日光温室青花菜耗水规律及水分利用效率的研究[J]. 节水灌溉, 2015(1): 33-35.
- [15] NYATUAME M, AMPIAW F, OWUSU-GYIMAH V, et al. Irrigation scheduling and water use efficiency on cabbage yield[J]. Reseach Paper, 2013, 3: 29-35.
- [16] 梁玉芹,刘云,宋炳彦,等. 结球期水分处理对甘蓝产量及根系生长的影响[J]. 河北农业科学, 2010, 14(9): 24-25.
- [17] 徐俊增,彭世彰,李程碑,等. 不同移栽时间与栽培方式的滴灌生菜需水规律[C]//全国农业水利工程第六届学术研讨会论文集, 2010: 78-85.
- [18] 邱让建,杨再强,景元书,等. 轮作稻麦田水热通量及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 82-88.