

调亏灌溉对滴灌甜菜生长和产量的影响

冯泽洋, 李国龙, 李智, 张永丰, 张少英
(内蒙古农业大学 甜菜生理研究所, 呼和浩特 010018)

摘要:为探讨滴灌条件下甜菜节水、高产、高效灌溉指标,于2016年在呼和浩特市开展了田间灌溉试验,研究了调亏灌溉对甜菜生长特性及产量和水分利用效率的影响。结果表明,叶丛快速生长期中度水分亏缺处理($50\%\theta_f \sim 60\%\theta_f$)在复水后叶面积、根部干物质量、净光合速率和蒸腾速率都有补偿效应,重度水分亏缺处理($40\%\theta_f \sim 50\%\theta_f$)对植株的生长有抑制作用;块根糖分增长期的调亏灌溉对甜菜生长和生理过程影响小于叶丛快速生长期的,中度水分亏缺处理($50\%\theta_f \sim 60\%\theta_f$)在复水后根部干物质量和光合作用都有补偿效应,重度水分亏缺处理($40\%\theta_f \sim 50\%\theta_f$)复水后也能恢复生长。综合考虑甜菜块根产量和水分利用效率等指标,叶丛快速生长期和块根糖分增长期的适宜灌水量为1 147.78和635.54 m^3/hm^2 。

关键词:滴灌;调亏灌溉;甜菜;水分利用效率;产量

中图分类号: S566.3

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.2017.11.002

冯泽洋,李国龙,李智,等. 调亏灌溉对滴灌甜菜生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2017, 36(11): 7-12.

0 引言

近年来,水资源越来越紧缺,水资源的有效利用及优化配置显得尤为重要^[1-2]。如何实现节水与高效用水,促进水资源可持续利用是目前农业灌溉研究的焦点^[3-4]。改变传统的丰水灌溉习惯,根据作物生长发育特点,采用非充分灌溉技术,把有限水在作物生育期内优化分配,是提高作物灌溉水利用效率的重要措施^[5]。

甜菜是重要的糖料作物,主要种植于我国西北、华北和东北的干旱与半干旱地区。甜菜生物产量高,生育期耗水量大,而这些地区年降雨量少且分布不均,水资源缺乏成为制约甜菜产量形成的主要因素之一^[6]。调亏灌溉是一种既具有经济效益又具有生态效益的灌溉方法,特别适用于水资源短缺或用水成本较高的地区^[7]。Turner^[8]认为,水分亏缺并不总导致产量降低,适度的水分亏缺在某些作物上有利于增产。Topak等^[9]研究表明,甜菜在不同滴灌灌溉方案下,调亏灌溉可节约25%的灌水量,净收益仅下降6.1%。Fabeiro等^[10]研究认为,在半干旱气候条件下,甜菜的需水量为6 898 m^3/hm^2 ,产量达到了117.64 t/hm^2 ,*WUE*提高到170.55 $\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。前人关于甜菜灌溉指标的研究,多数偏重于目标产量下提高灌溉水利用效率,但关于需水关键期调亏灌溉对甜菜生理生化和产量的影响以及节水提效的研究报道较少。为此,设置滴灌条件下甜菜需水关键期不同灌溉方案,深入探讨水分亏缺处理后甜菜的形态、生理指标和产量的变化,旨在制定高产水平下,甜菜的适宜灌溉指标,为甜菜节水高效生产提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2016年在内蒙古呼和浩特市后白庙村($40^\circ 43' 34.55''\text{N}$, $111^\circ 46' 27.97''\text{E}$)防雨棚内进行。试验地土壤为黏壤土,肥力中上等。试验田土壤田间持水率为23.93%(质量含水率, θ_f),土壤体积质量为1.55 g/cm^3 。后白庙村试验地土壤速效磷、速效钾、速效氮质量分数分别为23.10、145.02、111.12 mg/kg ,全氮量为0.95 g/kg ,有机质量为20.3 g/kg ,pH值为8.2。试验场地设有防雨棚。

收稿日期:2017-02-04

基金项目:现代农业产业技术体系项目(CARS-210304)

作者简介:冯泽洋(1992-),女,内蒙古二连浩特人。硕士研究生,主要从事甜菜生理学及节水灌溉研究。E-mail: 1433353242@qq.com

通信作者:张少英(1962-),女,内蒙古呼和浩特人。教授,博士,主要从事甜菜生理学研究。E-mail: syzhang@imau.edu.cn

1.2 试验设计

供试甜菜品种为KWS7156。在防雨棚下设置控水试验,采用单因素随机区组设计。甜菜苗期和糖分积累期进行充分灌溉,在0~30 cm土层保持土壤含水率为70% θ ~80% θ 。叶丛快速生长期和块根糖分增长期进行控水试验(表1),控水处理结束后恢复充分供水。试验共设7个处理,每个处理设3次重复,共计21个试验小区,试验小区面积为4.65 m \times 4.00 m。试验分宽窄行种植,宽行行距60 cm,窄行行距40 cm,株距25 cm,试验周围设有1 m宽的保护行。灌溉采用滴灌系统,毛管为贴片式滴灌带,滴头间距30 cm,滴头流量3 L/h,滴灌带间距100 cm,毛管布置在窄行中间。利用水表控制各处理的灌水量(每个处理为1个支管单元,在单元入口安装有闸阀)。

表1 调亏灌溉试验设计

| 处理 | 苗期 | 叶丛快速生长期 | 块根糖分增长期 | 块根糖分积累期 |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| T1 | 70% θ ~80% θ | 60% θ ~70% θ | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ |
| T2 | 70% θ ~80% θ | 50% θ ~60% θ | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ |
| T3 | 70% θ ~80% θ | 40% θ ~50% θ | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ |
| T4 | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ | 60% θ ~70% θ | 70% θ ~80% θ |
| T5 | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ | 50% θ ~60% θ | 70% θ ~80% θ |
| T6 | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ | 40% θ ~50% θ | 70% θ ~80% θ |
| CK | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ | 70% θ ~80% θ |

2016年4月30日甜菜出苗,5月28日进入叶丛快速生长,开始进行期调亏灌溉,8月1日结束处理并恢复充分灌水,共66 d;8月2日进入块根糖分增长期,开始进行调亏灌溉,9月5日结束处理并恢复充分灌水,共34 d。用TDR实时监测土壤含水率,当土壤含水率低于设置的土壤水分控制下限时,补充灌溉水使土壤含水率达到控水的上限,补充灌溉水量按下式计算: $Q=(\theta_1-\theta_2)\times s\times h\times p$,式中, Q 为小区1次灌水量(m³), θ_1 为设定的田间土壤含水率(%), θ_2 为实测土壤含水率(%), s 为小区面积(m²), h 为计划湿润层深度(m), p 为土壤湿润比(滴灌取 $p=0.95$)^[1]。

1.3 测定指标与方法

在甜菜各生育期,定点观测各处理甜菜的生长发育状况,每个小区连续选5株有代表性的甜菜测定株高(用精度为1 mm的钢卷尺测量),采用打孔称质量法测定叶面积指数,从5株中取10片叶,用单孔打孔器分别从距叶梢和叶柄2 cm处开始顺次打孔,每片叶共打孔6次,选取20片小圆叶,并注意避开中心叶脉和已经枯萎的部分,将20片圆形叶片计数称质量(W_1 ,g);5株总叶片计数称质量(W_2 ,g);则每株叶面积(cm²)计算公式为:叶面积= $W_2\times 20\times \pi r^2\times 10^{-2}/5W_1$,其中: r 为打孔器的半径,文中为6.35 mm。则总叶面积指数=每株叶面积 \times 株数/土地面积。

在甜菜各生育期,定点观测各处理甜菜的生长发育状况,每个小区连续选5株有代表性的甜菜,将块根、青头、叶柄、叶片分开后,清水洗净块根并取棉布吸去水分。然后将甜菜各部分在105℃杀青30 min后,80℃烘干至恒质量,最后分别测定叶片、叶柄、青头以及块根的干物质量并记录,叶丛质量=叶片质量+叶柄质量+青头质量,各处理根冠比=根质量/叶丛质量。

在晴天09:00—11:00,每小区随机选取3株,用LI-6400光合系统测定倒三叶叶片中部中脉两侧的净光合速率(P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)和蒸腾速率(T_r , $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)。采用德国产的时域反射仪(TDR)测定土壤含水率。

1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2010和SAS 9.0软件进行统计分析,Excel 2010进行绘图。

2 结果与分析

2.1 调亏灌溉对甜菜生育指标的影响

2.1.1 株高

表2为调亏灌溉对甜菜株高的影响。对于叶丛快速生长期控水处理,苗龄94 d时,T1、T2和T3处理分别比CK显著下降了8.43%、11.48%和17.11%($P<0.05$);苗龄128 d时,T3处理生长受到抑制,复水后至收获与CK差异显著($P<0.05$),T4和T5处理的株高与CK差异不显著,T6处理与CK差异显著($P<0.05$);苗龄169 d时,T6处理恢复生长,与CK差异不显著。干旱胁迫对甜菜株高影响明显,叶丛快速生长期干旱胁迫显著降低甜菜株高,及时复水可以缓解对株高的抑制作用,其中严重水分亏缺复水后株高增长量很小,说明严

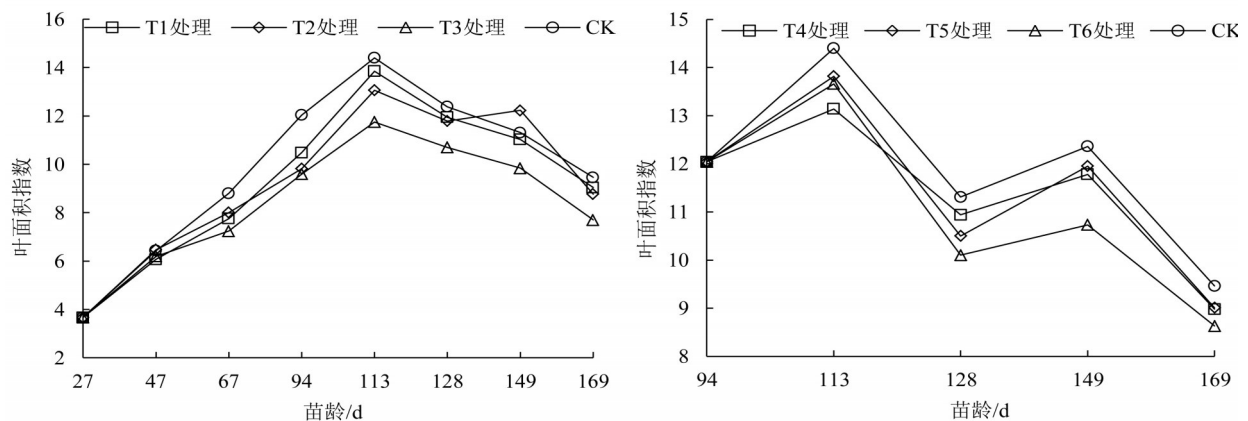
重的水分亏缺造成了甜菜生长迟缓,复水后对甜菜叶柄的生长不起作用。

2.1.2 叶面积指数

图1为调亏灌溉条件下甜菜的叶面积指数变化。从图1可知,苗龄94 d时,T1、T2处理和T3处理叶面积指数均显著低于CK($P<0.05$),分别下降了12.96%、18.44%和20.27%;苗龄128 d时,T1和T2处理恢复正常,与CK差异不显著。苗龄149 d时,T2处理的叶面积指数较CK增加了8.13%。T3处理复水后至收获与CK始终具有显著性差异($P<0.05$)。块根糖分增长期,苗龄128 d时,T6处理较CK减少了13.19%,与CK具有显著性差异($P<0.05$)。苗龄169 d时,T6处理恢复生长,与CK差异不显著。说明适度水分亏缺能够抑制甜菜的营养生长,经过亏缺灌溉,复水后能够使甜菜的叶面积指数存在着补偿效应,实现最大的净光合量。

| 处理 | 苗龄/d | | | |
|----|----------|---------|---------|---------|
| | 67 | 94 | 128 | 169 |
| T1 | 60.07 ab | 60.62 b | 59.47 a | 49.5 a |
| T2 | 55.53 ab | 58.6 bc | 57.6 ab | 50.33 a |
| T3 | 53.12 b | 54.87 c | 55.8 b | 44.6 b |
| T4 | — | — | 60.27 a | 50.67 a |
| T5 | — | — | 60.33 a | 50.27 a |
| T6 | — | — | 57.73 b | 49.4 a |
| CK | 62.07 a | 66.2 a | 60.6 a | 50.73 a |

注 同列数值后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$);下同。



(a)叶丛快速生长期调亏处理

(b)块根糖分增长期调亏处理

图1 不同调亏灌溉下甜菜叶面积指数的变化曲线

2.1.3 各部位干质量

表3为叶丛快速生长期调亏灌溉对甜菜各部位干质量影响。由表3可知,苗龄94 d时,T3处理的叶丛和根干质量均显著低于CK的($P<0.05$),但3个处理的根干质量占全株干质量的比例均大于CK的,并且T2和T3处理的根冠比显著大于CK的($P<0.05$)。苗龄169 d时,T2处理的根干质量较CK提高了18.95%,而叶丛干质量较CK下降了9.72%。

表3 叶丛快速生长期调亏灌溉下甜菜各部位干质量

| 苗龄/d | 处理 | 全株干质量/g | 根干质量/g | 根干质量占全株干质量比例/% | 叶丛干质量/g | 叶丛干质量占全株干质量比例/% | 根冠比 |
|------|----|-----------|----------|----------------|----------|-----------------|---------|
| 94 | T1 | 168.19 ab | 87.94 ab | 52.29 | 80.25 ab | 47.71 | 1.09 bc |
| | T2 | 163.76 ab | 93.80 ab | 57.28 | 69.96 bc | 42.72 | 1.35 a |
| | T3 | 130.53 b | 72.85 b | 55.81 | 57.69 c | 44.19 | 1.26 ab |
| | CK | 189.05 a | 97.91 a | 51.80 | 91.13 a | 48.20 | 1.08 c |
| 128 | T1 | 305.12 a | 177.15 a | 58.06 | 127.97 a | 41.94 | 1.4 a |
| | T2 | 333.13 a | 197 a | 59.14 | 136.13 a | 40.86 | 1.44 a |
| | T3 | 284.27 a | 158.17 a | 55.64 | 126.09 a | 44.36 | 1.25 a |
| | CK | 326.22 a | 184.20 a | 56.46 | 142.02 a | 43.54 | 1.3 a |
| 169 | T1 | 432.64 ab | 255.05 b | 58.95 | 177.60 a | 41.05 | 1.49 b |
| | T2 | 465.26 a | 301.61 a | 64.83 | 163.65 a | 35.17 | 1.85 a |
| | T3 | 348.02 b | 200.38 c | 57.58 | 147.64 a | 42.42 | 1.36 b |
| | CK | 434.83 ab | 253.56 b | 58.31 | 181.27 a | 41.69 | 1.42 b |

表4为块根糖分增长期调亏灌溉对甜菜各部位干质量的影响。由表4可知,苗龄128 d时,3个处理的根干质量占全株干质量的比例均低于CK的,苗龄169 d时,3个处理的根干质量占全株干质量的比例分别较CK增长了32.98%、27.23%和25.44%,T5处理的根干质量具有补偿生长效应,比CK提高了1.2%。因此,在

叶丛快速生长期进行调亏处理,叶和叶柄的干质量均有降低,水分亏缺程度越大,较CK降低程度越大,重度亏缺处理影响根部干质量和养分的积累,造成减产。中度水分亏缺处理复水后根部干物质量具有补偿生长效应。进入块根糖分增长期,地上部分制造和贮存的养分向块根中转移,此时进行亏缺灌溉,各处理之间叶和叶柄干质量较CK没有显著性差异。

表4 块根糖分增长期调亏灌溉下甜菜各部位干质量

| 苗龄/d | 处理 | 全株干质量/g | 根干质量/g | 根干质量占全株干质量比例/% | 叶丛干质量/g | 叶丛干质量占全株干质量比例/% | 根冠比 |
|------|----|----------|----------|----------------|-----------|-----------------|--------|
| 128 | T4 | 299.72 a | 164.71 a | 54.95 | 135.01 a | 45.05 | 1.23 a |
| | T5 | 293.28 a | 164.72 a | 56.16 | 128.56 a | 43.84 | 1.29 a |
| | T6 | 291.09 a | 155.20 a | 53.32 | 135.88 a | 46.68 | 1.15 a |
| | CK | 326.22 a | 184.20 a | 56.46 | 142.02 a | 43.54 | 1.30 a |
| 169 | T4 | 363.21 a | 228.99 a | 63.05 | 134.22 b | 36.95 | 1.70 a |
| | T5 | 425.53 a | 256.69 a | 60.32 | 168.84 ab | 39.68 | 1.54 a |
| | T6 | 366.23 a | 217.81 a | 59.47 | 148.43 ab | 40.53 | 1.48 a |
| | CK | 434.83 a | 253.56 a | 47.41 | 181.27 a | 41.69 | 1.41 a |

2.2 调亏灌溉对甜菜净光合速率的影响

图2为调亏灌溉条件下甜菜的净光合速率。图2显示,叶丛快速生长期,苗龄94 d时,T3处理的净光合速率比CK下降14.72%,差异达到显著性水平($P<0.05$)。苗龄149 d时,T2处理较CK提高了6.17%。T3处理净光合速率复水后至收获始终显著低于CK($P<0.05$)。块根糖分增长期,苗龄128 d时,T6处理净光合速率比CK下降14.79%,与CK差异达到显著性水平($P<0.05$),T4和T5处理比CK下降9.47%和7.21%。与CK差异不显著($P>0.05$)。苗龄149 d时,T6处理光合速率与CK差异不显著($P>0.05$)。苗龄169 d时,T5处理净光合速率较CK提高1.5%。因此,叶丛快速生长期和块根糖分增长期水分中度亏缺处理,可促进后期光合性能的增强。

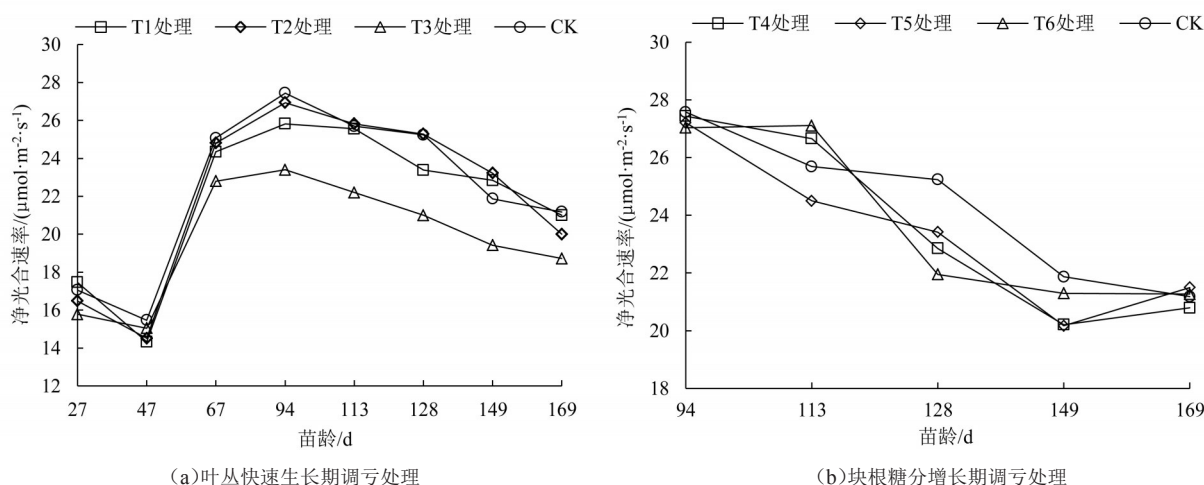


图2 调亏灌溉下甜菜净光合速率变化曲线

2.3 调亏灌溉对甜菜蒸腾速率的影响

图3为调亏灌溉条件下甜菜的蒸腾速率。图3显示,叶丛快速生长期,苗龄94 d时,T1、T2、T3处理的 T_r 均显著低于CK的($P<0.05$),分别较CK下降24.52%、25.48%和40.87%。苗龄149 d时,T1和T2处理的 T_r 分别较CK提高了2.54%和2.53%。块根糖分增长期,苗龄128 d时,T6处理 T_r 比CK下降23.12%,差异显著($P<0.05$);T4和T5处理比CK下降11.83%和9.14%,与CK差异不显著($P>0.05$)。苗龄149 d时,T6处理与CK差异不显著($P>0.05$)。轻度和中度胁迫的蒸腾速率相比光合速率恢复程度高,可能是由于蒸腾速率主要受气孔导度影响,而光合速率除了气孔限制因素外,还受到其他非气孔因素的影响。

2.4 调亏灌溉对甜菜产量和水分利用效率的影响

表5为调亏灌溉条件下甜菜灌水量、产量和水分利用效率。从表5可以看出,叶丛快速生长期T1和T2处理灌水量较CK减少了21.47%和33.56%的情况下,产量分别提高了6%和7.34%,水分利用效率分别提高

了18.6%和28.46%，且T2处理的产量和水分利用效率都显著高于CK的($P<0.05$)；块根糖分增长期T5处理灌水量较CK减少了36.82%情况下，产量和水分利用效率分别提高了0.79%和13.45%。T4处理的产量较CK降低了3%，水分利用效率较CK提高了3.67%，与CK差异不显著($P>0.05$)。T3和T6处理均抑制了生长，产量均显著低于CK的($P<0.05$)。

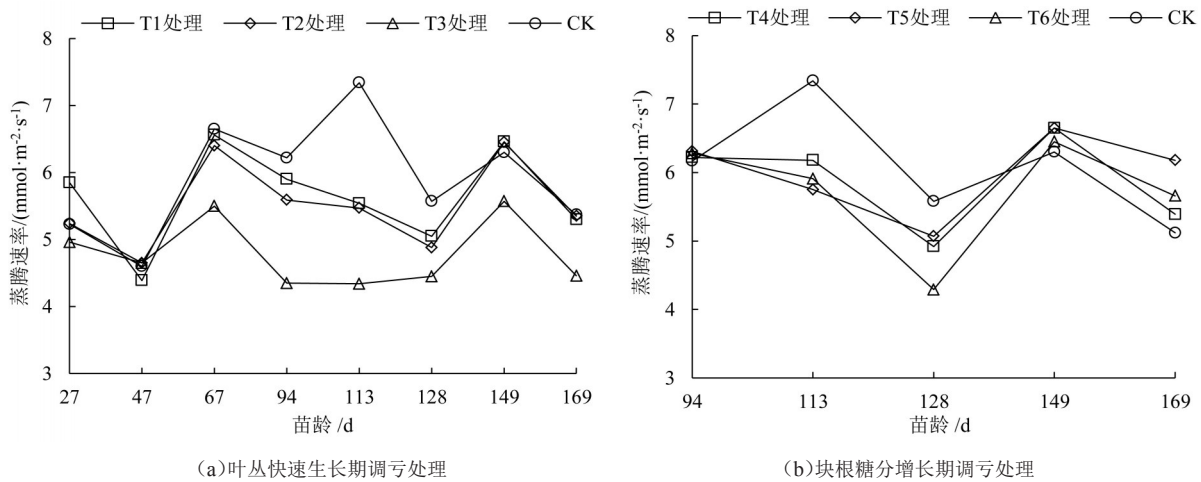


图3 调亏灌溉对甜菜蒸腾速率的影响

表5 甜菜灌水量与产量和水分利用效率的关系

| 处理 | 叶丛快速生长期 灌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) | 块根糖分增长期 灌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) | 全生育期灌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) | 产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) | 水分利用效率/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$) |
|----|--|--|---|---|--|
| T1 | 1 356.62 c | 986.9 a | 3 644.53 c | 90 863 ab | 138.42 a |
| T2 | 1 147.78 d | 987.07 a | 3 435.86 d | 92 009 a | 149.93 a |
| T3 | 862.92 e | 968.19 a | 3 132.12 e | 72 128 d | 131.25 bc |
| T4 | 1 660.87 ab | 835.2 b | 3 797.08 b | 83 152 c | 120.99 cd |
| T5 | 1 689.44 a | 635.54 c | 3 625.99 c | 86 399 abc | 132.41 bc |
| T6 | 1 604.07 b | 445.74 d | 3 350.82 d | 75 553 d | 126.97 bcd |
| CK | 1 727.54 a | 1 005.94 a | 4 034.49 a | 85 719 bc | 116.71 d |

3 讨论和结论

调亏灌溉会影响作物生长发育和生理代谢过程，但对各生理过程的影响程度不同。在作物生长发育的某些阶段进行适度的控水处理，可以调节作物的生长进程和同化物质向不同组织器官的分配比例，在不影响作物产量的条件下提高水 WUE ^[12]。本试验结果表明，轻度和中度水分亏缺在复水后株高可恢复生长，中度亏缺在复水后叶面积和根部干物质具有补偿生长效应，但重度亏缺对植株的生长产生抑制作用；块根糖分增长期甜菜的生长主要为根部的增长，3个水分亏缺处理复水后株高、叶面积指数得到恢复。因此，过高或过低的土壤水分供应都不利于甜菜的生长，适宜的控水会促使甜菜具有抵御干旱能力和复水的补偿生长，避免大量灌水导致甜菜植株徒长现象，保证甜菜稳产高产并达到节水的目的。

水分供应水平会影响作物的光合性能。与Kosobryukhov等^[13]得到“甜菜适当地减少灌水量可以提高水分利用效率”的结论相同。本试验中干旱胁迫同时对 P_n 和 T_r 产生影响，二者在干旱胁迫下都降低， T_r 降低的幅度大于 P_n 的降幅导致甜菜叶片 WUE 在干旱胁迫下增加。Barbanti等^[14]研究表明，水分亏缺使甜菜气孔导度降低，本试验中叶丛快速生长期和块根糖分增长期轻度和中度水分亏缺后光合速率虽有下降，但主要是气孔导度下降所致，下降不明显，而蒸腾速率降低显著；复水后光合性能恢复，王密侠等^[15]在苗期进行调亏灌溉复水后植株光合作用会出现补偿效应，本试验中度亏缺的净光合速率具有补偿效应，使光合和蒸腾的比值最高，达到在不牺牲光合作用的前提下降低蒸腾速率，从而提高水分利用率。而叶丛快速生长期重度水分亏缺后可能造成甜菜光合器官结构和功能的破坏，导致复水后光合速率不能恢复。

理论研究与生产实践证明，灌水量不足时产量与灌水量或耗水量呈显著的线性关系，当产量达到极大值时，灌水量增加产量不增加反而减少。侯振安等^[16]认为，良好的供水有利于甜菜块根产量的增加及水分利用效率的提高。El-Razek等^[17]研究认为，土壤含水率为田间持水率的60%时甜菜能获得最高产量及产糖

量,该试验与上述结果研究一致,当土壤含水率占田间持水率的50%~60%时,在叶丛快速生长期和块根糖分积累期较充分灌溉节水33.56%和36.82%,产量具有补偿效应,分别较CK提高7.34%和0.79%,水分利用效率分别提高28.46%和13.45%。因此,对内蒙古滴灌甜菜进行调亏灌溉,得出在叶丛快速生长期供水1 147.78 m³/hm²,块根糖分积累期供水635.54 m³/hm²,叶丛快速生长期和块根糖分积累期产量可达到92 009和86 399 kg/hm²,水分利用效率分别达到了149.93和132.41 kg/(mm·hm²)。

参考文献:

- [1] 陈凯书. 浅谈农业水资源的利用[J]. 吉林农业, 2011(3):281.
- [2] 黄初龙,邓伟,杨建锋. 我国农业水资源可持续利用研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究,2010,21(2):141-145.
- [3] 刘庚山,郭安红,安顺清,等. 开发利用土壤深层水资源的一种有效途径——“以肥调水”的大田试验研究[J]. 自然资源学报, 2012,17(4):423-429.
- [4] 冯万玉,翟琇,赵举,等. 内蒙古农业水资源可持续利用的思考[J]. 北方经济, 2015(6):30-33.
- [5] 吕金印,山仑,高俊凤. 非充分灌溉及其生理基础[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6):1 512-1 517.
- [6] 王呈,赵廷红,李波,等. 西北内陆干旱地区农户采用节水灌溉技术意愿影响因素分析[J]. 节水灌溉, 2012(11):50-54.
- [7] 康绍忠,蔡焕杰. 作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M]. 北京:中国农业出版社, 2002:123-195.
- [8] TURNER C. Plant water relation and irrigation management[J]. Agricultural Water Management, 1990, 17(1/3):59.
- [9] TOPAK R, SU HERI S, ACAR B. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey[J]. Irrigation Science, 2011, 29(1):79-89.
- [10] FABEIRO C, OLALLA F M D S, et al. Production and quality of the sugarbeet (*Beta vulgaris* L) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semiarid climate[J]. Agricultural Water Management, 2003, 62(3): 215-227.
- [11] JALEEL C A, GOPI R, SANKAR B, et al. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress[J]. Comptes Rendus Biologies, 2008, 331(1): 42-47.
- [12] ZHANG X, YOU M, WANG X. Effects of water deficits on winter wheat yield during its different development stage[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1998, 14(2): 79-83.
- [13] KOSOBRYUKHOV A A, BIL K Y, NISHIO J N. Sugar Beet Photosynthesis under Conditions of Increasing Water Deficiency in Soil and Protective Effects of a Low-Molecular-Weight Alcohol[J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2004, 40(6):668-674.
- [14] BARBANTI L, MONTI A, VENTURI G. Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in leaves of different ages of sugar beet (*Beta vulgaris*) at variable water regimes[J]. Annals of Applied Biology, 2007, 150(2): 197-205.
- [15] 王密侠,康绍忠,蔡焕杰,等. 调亏对玉米生态特性及产量的影响[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(1):31-36.
- [16] 侯振安,刘日明,朱继正,等. 不同灌水量对甜菜生长及糖分积累影响的研究[J]. 中国甜菜糖业, 1999(6):2-6.
- [17] ABD EL-RAZEK A M, ATTA Y I, HASSAN A F. Effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on sugar beet yield, quality and some water relations in East Delta region[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(8):916-922.

Effects of Regulated Deficit Drip Irrigation on Growth and Yield of Sugar Beet

FENG Zeyang, LI Guolong, LI Zhi, ZHANG Yongfeng, ZHANG Shaoying

(Sugar Beet Physiological Institute, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: We present the results of a field experiment aimed to elucidate the effects of regulated deficit drip irrigation on growth traits, yield and water use efficiency of sugar beet. The results showed that over the vegetative developmental period, a moderate water deficiency by keeping soil moisture content at 50%~60% of the field capacity had a compensatory effect on leaf area, dry root weight, net photosynthetic rate and transpiration rate after re-wetting, while a severe water deficiency with soil moisture being 40%~50% of the field capacity had an inhibitory effect on the growth of the plant. It was also found that a deficit irrigation during the root swelling period had less effects on growth and physiological development of the plant than that during the vegetative developmental period. Considering the yield and water use efficiency, it was concluded that an irrigation amount of 1147.78 m³/hm² over the vegetative development stage and another 635.54 m³/hm² over the root swelling stage are optimal for deficit irrigation.

Key words: drip irrigation; regulated deficit irrigation; sugar beet; water use efficiency; yield

责任编辑:白芳芳