

不同灌水下限对温室茼蒿生长和产量的影响

杨文斌¹, 郝仲勇^{2*}, 王凤新¹, 苏利茂³, 要晋峰³, 麻军³, 胡佳林³

(1. 中国农业大学中国农业水问题研究中心, 北京 100083; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100048;
3. 延庆县水务局, 北京 102100)

摘要: 该文采用 15 cm 深处土水势为茼蒿的控制灌水下限, 研究在模拟微喷条件下控制灌水下限对温室茼蒿生长和产量的影响。共设 6 个处理, 灌水下限分别是 -10 kPa (T1), -15 kPa (T2), -20 kPa (T3), -25 kPa (T4), -30 kPa (T5) 和 -40 kPa (T6)。结果表明, 不同的灌水下限对茼蒿产量的影响显著, 灌水下限为控制在 -15 kPa 是产量最高, 分别比其他处理增加了 0.5%, 18.7%, 62.6%, 73.4%, 71.7%, 在整个生育期灌水量为 195 mm, 比与其产量相近的 T1 处理节水 56.4%。T2 处理的株高和生长速率在生长后期与 T1 无差异。灌水下限低于 -25 kPa, 水分亏缺严重, 影响出苗, 不利于茼蒿生长。以 -15 kPa 土水势作为控制灌水下限, 有利于茼蒿生长, 可以达到高产、节水的目的。

关键词: 温室, 灌溉, 试验, 茼蒿, 产量, 灌水量, 灌水下限

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.014

中图分类号: S274.4; S275.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-01-0094-05

杨文斌, 郝仲勇, 王凤新, 等. 不同灌水下限对温室茼蒿生长和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 94-98.
Yang Wenbin, Hao Zhongyong, Wang Fengxin, et al. Effect of different irrigation thresholds on growth and yield of garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.) in greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 94-98. (in Chinese with English abstract)

0 引言

目前不同灌水下限对蔬菜生长的研究比较多, 但主要是集中在番茄、黄瓜等^[1-2]果蔬类蔬菜; 而对叶菜类蔬菜, 主要是对生菜进行了一些研究^[3-4], 对其他的叶菜类蔬菜的研究较少。茼蒿为叶菜类蔬菜的典型代表之一, 对水分十分敏感, 且生长周期短, 上市快, 收益高。所以研究不同灌水下限对茼蒿生长的影响, 避免茼蒿种植中的水分浪费, 实现茼蒿的高产优质栽培具有重要意义。

用于控制灌水下限的指标主要有土壤含水率和土水势。采用负压计测量土水势, 根据土水势控制灌水下限的方法, 比较直观易行, 所以多被采用。Wang 等^[5]对滴灌条件下的西红柿进行研究, 采用地下 20 cm 处的土水势控制灌水下限。王凤新等^[6]在研究滴灌条件下马铃薯的灌溉计划时采用地下 20 cm 处土水势为控制下限。诸葛玉平等^[7]对温室番茄进行渗灌研究, 采用地下 30 cm 的土层的土壤水分吸力表示渗灌灌水下限。Hegde^[8]采用地下 18 cm 处的土水势为控制灌水下限对萝卜进行滴灌研究。Shock 等^[9]对洋葱进行滴灌试验研究时采用地下 20 cm 处的土水势控制灌水下限。作物种类、气候条件、土壤类型以及灌溉方式的不同, 负压计的埋设深度也有所不同,

但一般的埋设深度为 15~30 cm^[10]。茼蒿因为具有极高的营养价值, 成为亚洲地区——特别是中国、日本、韩国的重要叶菜^[14-16], 但有关其灌溉技术的研究却未见文献报道。考虑到茼蒿的生长期短、根系较浅, 在本试验中采用 15 cm 处的土水势为茼蒿控制灌水下限, 研究温室条件下控制不同灌水下限对茼蒿生长的影响, 旨在研究确定温室茼蒿的合理灌水下限, 为拟定更加科学的温室茼蒿灌水计划提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验处理

试验在北京市延庆县张山营镇下卢凤营村温室中进行。温室内 0~20 cm 表层土壤为砂壤土, 干体积质量为 1.46 g/cm³, 田间持水率为 0.217 cm³/cm³。20~60 cm 以下土壤为壤砂土。灌溉方式为模拟微喷, 采用 15 cm 处土水势为茼蒿的控制灌水下限。共设置 6 个处理, 土水势分别是 -10 kPa (T1), -15 kPa (T2), -20 kPa (T3), -25 kPa (T4), -30 kPa (T5) 和 -40 kPa (T6)。每个处理 3 个重复, 试验采用随机布置。

1.2 农艺措施

试验选择品种为沈春光杆茼蒿, 小区面积为 5 m² (5 m×1 m)。在播种前每个小区施入相同数量的肥料, 肥料为农家肥 7500 kg/hm², 过磷酸钙磷肥 150 kg/hm², 尿素 90 kg/hm²。茼蒿采用条播密植, 行距 15 cm。茼蒿于 3 月 2 日播种, 3 月 9 日出苗, 4 月 12 日采收。

1.3 灌水方式

本试验的灌水方式为模拟微喷, 采用自来水为水源, 在软管出口处连接一闸阀和一水表 (京水 DN20, 最小刻

收稿日期: 2010-01-10 修订日期: 2010-12-03

基金项目: 北京市科技新星计划项目 (2007B049)

作者简介: 杨文斌 (1986-), 男, 云南保山人, 硕士生, 主要从事农业节水研究。北京 中国农业大学农业水问题研究中心, 100083。

Email: wbyang1247@126.com

*通信作者: 郝仲勇 (1972-), 男, 天津宁河人, 高级工程师。主要从事农业水土工程方面的研究。北京 北京市水利科学研究所, 100048。

Email: hzy@bwsti.com

度 0.0001 m³) 和普通淋浴喷头用于模拟微喷灌水。当每个处理到达设定的灌水下限值时, 开始灌水, 为保证灌水均匀, 灌水时有意控制了压力与流量, 每次灌水量为 10 mm, 即每次每个小区灌水量为 0.05 m³。并记录灌水日期和灌水次数。

1.4 土壤水分监测

每个处理在相同位置埋设两个表头式负压计, 负压计埋设深度 15 cm, 每天早上 8:00 准时记录负压计读数。采用取土烘干测定土壤含水率, 取土深度为 60 cm, 每隔 10 cm 取一个土样。播前在该温室内用土钻随机打取 3 个钻孔, 测得 0~60 cm 从上到下每隔 10 cm 土层的土壤含水率分别为 0.052、0.072、0.103、0.088、0.083、0.091 g/g。由于播种前该温室种植的是同一种作物、且采用相同的灌水方式, 故可以假定播前各小区土壤含水率相同。播后每个小区每隔 5 d 取土 1 次, 收获前加取 1 次。

1.5 株高和单株干物质等生理指标测量

株高采用米尺测量, 从 3 月 29 日起每隔 5d 测量一次, 每个小区固定测量 10 株。在收获时测量干物质的含量, 每个小区取 5 株, 先将样品放在 105℃ 烘箱中烘 30 min, 使植物组织迅速停止生理活动, 再降至 80℃ 烘干至恒质量。

1.6 茼蒿的蒸腾蒸发量估算方法

通过水量平衡法计算茼蒿的耗水量:

$$ET = P + I + R - D - \Delta S \quad (1)$$

式中, ΔS 为土体储水量变化量, mm; P 为有效降水量, mm; I 为农田灌溉量, mm; R 为地表径流, mm; D 为深层渗漏, mm; ET 为蒸腾蒸发量, mm。在温室条件下, $P=0$; 由于小区之间设有隔离带, 故地表径流可以忽略, 而每次灌水量为 10 mm, 灌水量较小, 深层渗漏可以忽略不计。故将上式可改写成:

$$ET = I - \Delta S \quad (2)$$

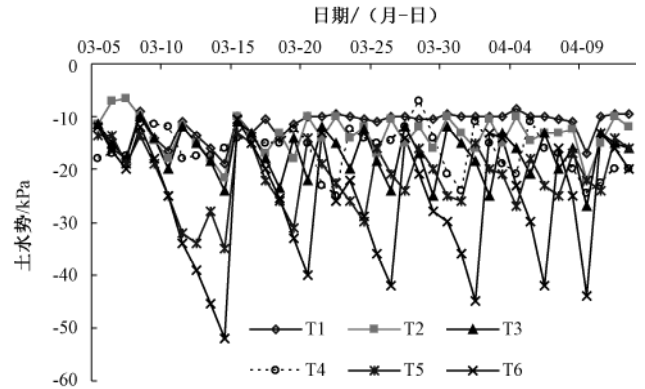
2 结果与分析

2.1 不同灌水处理的土水势变化和累积灌水量

在茼蒿的整个生育期中严格按照制定的灌水下限进行灌水, 完全满足试验要求。灌水下限较大的处理的土水势的波动幅度较小, 而灌水下限较小的处理的土水势的波动幅度较大。T1 处理的土水势一直在 -10 kPa 附近变化, 而 T6 处理土水势变化范围较大, 达到灌水下限时间较长, 平均为 6 d/次。

不同处理的茼蒿总灌水量不相同, 在整个生育期内 T1 灌水次数最多, 为 30 次, 尤其是到茼蒿生长后期, 接近每天灌水 1 次, T1 灌水量最大, 远远高于其他几个处理。T6 处理灌水下限值最小, 到达灌水下限时间间隔最大, 在整个生育期内灌水次数最少, 只有 7 次, 灌水量最少。在整个生育期内, T4 和 T5 处理达到灌水下限的时间不同而灌水次数相同, 所以 T4 和 T5 处理的灌水量相同。在茼蒿的整个生育期, T1, T2, T3, T4, T5, T6 处理的灌水次数分别为 30, 19, 14, 10, 10, 7。茼蒿的生育期为 42 d, 相应的灌水周期为 1.4, 2.2, 3.0, 4.2, 4.2, 6.0 d。随着灌水控制土水势的降低, 灌水次数减少,

灌水周期延长。与温室不同水分下限处理的番茄相似^[11]。



注: T1 为土水势-10 kPa 的处理, T2 为-15 kPa 的处理, T3 为-20 kPa 的处理, T4 为-25 kPa 的处理, T5 为-30 kPa 的处理, T6 为-40 kPa 的处理。

图 1 不同处理的土水势

Fig.1 Soil water potentials under different treatments

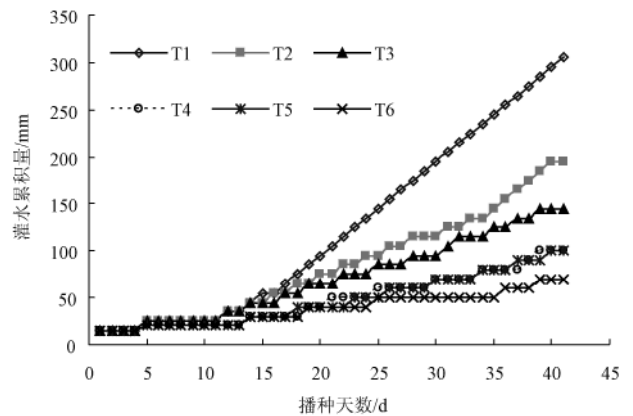


图 2 不同处理累积灌水量

Fig.2 Cumulative irrigation amount under different treatments

2.2 不同灌水下限对茼蒿出苗率的影响

从图 1 可以看出, 出苗前由于灌了 2 次水, 各处理的土壤水势基本相同, 大致在 -20~-10 kPa 之间。各处理开始出苗后就开始进行水分处理, 试验发现 T1、T2、T3、T4 处理的出苗正常, 而 T5、T6 处理幼苗明显稀疏, 出苗率较低, 这表明当灌水下限高于 -25 kPa 时, 能保证较高的出苗率, 使茼蒿正常出苗, 当灌水下限低于 -30 kPa 时, 对茼蒿的出苗率有影响。所以在温室茼蒿种植中, 在充分出苗之前灌水下限必须高于 -25 kPa, 才保证茼蒿的正常出苗。

2.3 不同灌水下限对茼蒿的株高生长的影响

在茼蒿生长的前期, 由于 T1 处理的水分充足, 所以生长旺盛, 株高也明显高于其他几个处理。而 T5 和 T6 处理由于水分亏缺比较严重, 所以株高也明显低于其他几个处理。在茼蒿生长后期, T1 和 T2 茼蒿的株高差异不显著, 两个处理的株高最高, 其他处理低于 T1 和 T2。由于茼蒿是食用茎叶的蔬菜, 所以株高的大小影响茼蒿产量的高低。本试验结果表明茼蒿的株高随着土水势的减小而减小。较高的土水势有利于茼蒿的前期生长, 而到后期则不能旺盛生长, 与番茄的生长相似^[7-12]。

表 1 不同灌水下限对茼蒿株高生长的影响
Table 1 Plant heights of garland chrysanthemum under different treatments

处 理	T1	T2	T3	T4	T5	T6
3月29日	12.2aA	10.8abcAB	11.2abAB	10.0abcABC	7.9dC	9.0cdBC
4月3日	17.8aA	16.1abAB	16.2abAB	14.3bcBC	11.5dC	13.0cdBC
4月8日	28.7aA	26.8abA	24.5cAB	21.0cBC	17.9cC	18.6cC
4月12日	41.5aA	40.2abA	36.5bcAB	33.4cBC	28.3dC	28.9dC

单位: cm

注: 表中同一栏中的数据比较中, 有一字母相同的表示经过 Duncan 检验后, 两者差异不显著, 小写字母代表 $\alpha=0.05$, 大写字母代表 $\alpha=0.01$, 下同。

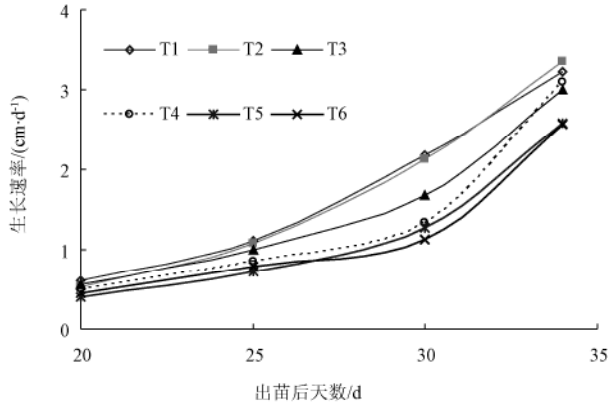


图 3 不同灌水下限对茼蒿株高的生长速率的影响

Fig.3 Growth rate of plant height of garland chrysanthemum under different treatments

从图 3 可以看出不同灌水处理的茼蒿株高生长速率(单位时间的茼蒿株高)成开口向上的抛物线状, 与不同灌水下限对番茄和黄瓜的早期生长的株高生长速率相似。但由于茼蒿是叶菜类蔬菜, 在茼蒿生长旺盛时就采收, 所以茼蒿的生长速率不会出现减小的趋势。茼蒿的生长株高速率逐渐增大, 到收获期达到最大值。在茼蒿生长前期, T1 处理的生长速率最大, 但是随着茼蒿的生长, 到茼蒿生长后期, T2 处理的株高生长速率超过 T1 处理, 生长旺盛, 到达最大值。T3 和 T4 处理在茼蒿的生长后期, 株高生长速率急剧上升, 接近 T1 处理。所以灌水下限为 -10 kPa 时, 茼蒿的前期生长速率较快, 到后期开始放缓, 而灌水下限在 -25~-15 kPa 之间时, 茼蒿的前期生长速率缓慢, 而到生育期后期急剧上升。

2.4 不同灌水下限对茼蒿单株干物质含量

由图 4 可以看出 T4 处理单株干物质含量明显高于其他处理。由于 T4 处理茼蒿密度小, 后期生长速率快, 茼蒿植株生长状况良好, 植株粗壮, 干物质质量积累较多。T1、T2、T3、T5 干物质含量差异不显著, T6 与各处理存在显著差异, 是因为 T6 处理灌水量少, 水分亏缺严重, 植株生长受到限制, 植株株体较小, 所以干物质含量也就低。

2.5 不同灌水下限对茼蒿耗水量和产量影响

根据公式 2 的计算结果显示, 在茼蒿的整个生育期中, 茼蒿的耗水量随着灌水量的减少而减少。T1, T2, T3, T4, T5, T6 平均日耗水量分别为 6.2、3.6、2.8、1.8、2.0、1.2 mm/d, 灌水下限为 -10 kPa 的处理茼蒿的耗水量最大, T5 的耗水量略高于 T4, 主要是由于 T4 和 T5 的灌

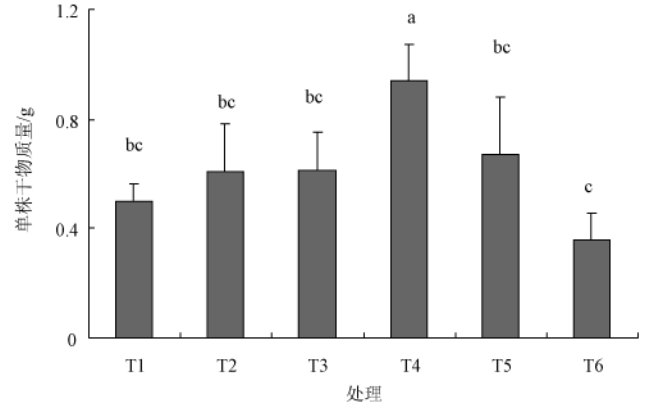


图 4 不同处理茼蒿的单株干物质质量

Fig.4 Dry matter of garland chrysanthemum plant under different treatments

水量相同, 而 T4 处理在生育期末连续灌水, 土壤残余水量较大造成。整体而言, 茼蒿的耗水量有随着土水势的减小而减小的趋势。并且土壤水势在 -25~-10 kPa 范围内, 茼蒿耗水量随着土水势的降低而锐减, 在 -40~-25 kPa 范围内, 茼蒿耗水量随着土水势的降低而减少的幅度减缓。

需要强调的是, 由于 T1 处理的土壤水分接近田持, 参照 0~60 cm 土壤持水能力计算结果, 可以断定在整个生育期该处理存在较多的深层渗漏量, 故实际耗水量应该小一些。根据研究经验^[6], T2 处理也可能存在深层渗漏量, 但渗漏量较小, 可以忽略, 而其他处理的深层渗漏量基本确定可以忽略。因此, 表 2 中除了 T1 处理耗水量偏大及相应 WUE 数值偏小外, 其他处理的计算结果应该是可靠的。

表 2 水量平衡法计算茼蒿的耗水量和水分利用率
Table 2 Garland chrysanthemum evapotranspiration calculated with water balance equation, Chrysanthemum coronarium yield and WUE in different treatments

处理	农田灌溉量/mm	土体储水量变化量/mm	蒸腾蒸发量/mm	产量/(kg·hm ⁻²)	水分利用率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
T1	305	45.6	259.4	31250aA	120.5
T2	195	43.9	151.1	31400aA	207.6
T3	145	28.7	116.3	25542bB	219.7
T4	100	24.6	75.4	11733cC	155.6
T5	100	15.4	84.6	8342dC	98.6
T6	70	17.7	52.3	8885dC	169.8

2.6 不同灌水下限对产量和水分利用效率影响

试验表明，在-40~-15 kPa 土水势范围内茼蒿的产量随着灌水下限的下降而下降，土水势高于-15 kPa 时，产量反而稍有降低。灌水下限为-15 kPa 时，产量最高，灌水下限在-15~-10 kPa 之间时，茼蒿的产量差异不显著，当土水势低于-20 kPa 时，就会造成茼蒿产量的急剧下降。T2 处理能确保茼蒿高产，而且比 T1 节水 56.4%。T5 和 T6 处理由于水分亏缺严重，影响茼蒿正常生长，所以产量最低。T2 与 T1、T3、T4、T5、T6 处理相比，分别增产 0.5%、18.7%、62.6%、73.4%、71.7%。

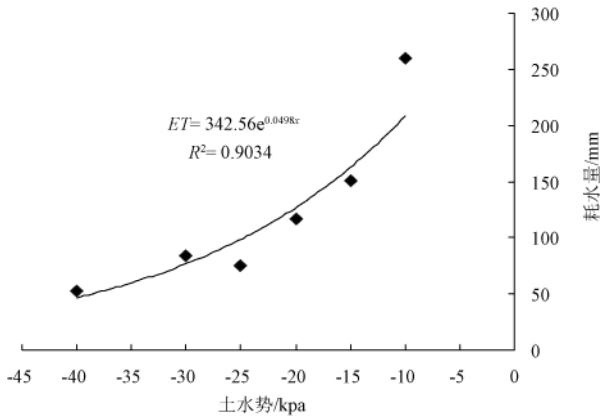


图 5 不同处理的耗水量与土水势关系

Fig.5 Relation of the total ET to soil water potential for different treatments

由表 2 可以看出，不同的灌水下限对茼蒿的水分利用效率有不同的影响，其排序为 T3>T2>T6>T4>T1>T5。由图 6 可以看出，水分利用效率在灌水下限为-20 和-15 kPa 之间出现一个峰值，也就是说水分利用效率的最大值出现在-20 和-15 kPa 之间。由于 T6 处理的耗水量明显低于其他几个处理，而产量与 T4、T5 处理相近，所以 T6 处理的水分利用效率高于 T4 和 T5。由图 6 可以看出综合产量等因素考虑灌水下限在-20~-15 kPa 之间是水分利用效率最大，产量也较高，最优水分利用效率对应的灌水下限为-20~-15 kPa。控制土水势可以在产量相同的情况下，减少茼蒿的奢侈耗水，达到节水高产的目的。

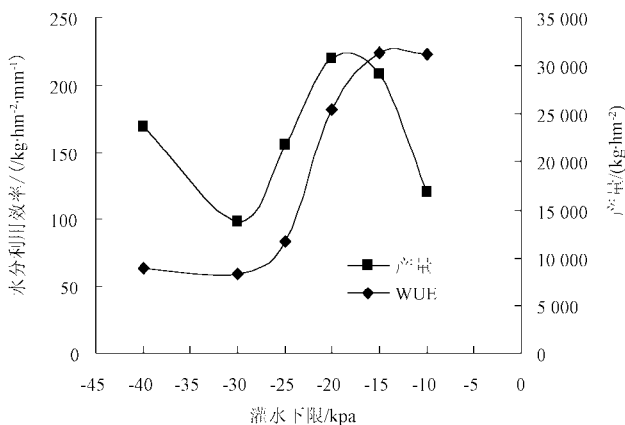


图 6 不同灌水下限对茼蒿产量和水分利用效率影响

Fig.6 Effect of different irrigation thresholds on the yield and WUE of the garland chrysanthemum.

3 结 论

通过对温室茼蒿模拟微喷试验，根据控制不同灌水下限对茼蒿的株高，干物质，产量等影响分析比较，可得出如下结论：

1) 在茼蒿的整个生育期中，土水势在-40~-15 kPa 范围内茼蒿的产量随着灌水下限的下降而下降，土水势高于-15 kPa 时，产量反而稍有降低。灌水下限为-15 kPa 时，产量最高，灌水下限在-15~-10 kPa 之间时，茼蒿的产量差异不显著，当土水势低于-20 kPa 时，就会造成茼蒿产量的急剧下降。T2 与 T1、T3、T4、T5、T6 处理相比，分别增产 0.5%、18.7%、62.6%、73.4%、71.7%。

2) 在温室茼蒿种植中，在充分出苗以前必须保证土水势高于-25 kPa，才能保证茼蒿正常出苗。否则将会造成出苗率低，降低产量。

3) 结合产量考虑，保持产量较高的情况下，最优水分利用效率对应的灌水下限为-20~-15 kPa。控制土水势可以在产量相同的情况下，减少茼蒿的奢侈耗水，达到节水高产的目的。

4) 茼蒿的株高随着土水势的减小而减小，灌水下限为-10 kPa 时，有利于茼蒿的前期生长，但对茼蒿的后期生长有影响。而灌水下限为-15 kPa 处理，虽然前期生长速率较小，但是后期生长很快，同样能达到最大株高。而灌水下限小于-30 kPa 时，茼蒿的水分胁迫明显，株高不能正常生长。所以初步拟定茼蒿的灌水下限为-15 kPa，有利于茼蒿生长，可以达到高产、节水的目的。

在本试验中，茼蒿生育期内没有进行控制灌水下限的调整，而在茼蒿生长后期，灌水下限为-30~-25 kPa 时，茼蒿的生长速率增长较快，而且，灌水下限为-25 kPa 时，茼蒿的单株干物质含量最大，所以在茼蒿的生育期后期，采用较小的土水势为灌水下限，可能获得较高产量，更加节水。

[参 考 文 献]

[1] 孙磊, 孙景生, 刘浩, 等. 日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 53-56.
Sun Lei, Sun Jingsheng, Liu Hao, et al. Water requirement rules of tomato in sunlight greenhouse [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(2): 53-56. (in Chinese with English abstract)

[2] 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): 1372-1376.
He Hua, Du Sheni, Liang Yinli, et al. Effect of soil moisture on water requirement rule and water use efficiency of cucumber in greenhouse [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(8): 1372-1376. (in Chinese with English abstract)

[3] 裴芸, 别之龙. 塑料大棚中不同灌水量上限对生菜生长、品质及生理特性的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 176-180.
Pei Yun, Bie Zhilong. Effects of different irrigation maxima on the growth, quality and physiological characteristics of lettuce in plastic greenhouse [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23 (9): 176-180. (in Chinese with English abstract)

- [4] 裴芸, 别之龙. 塑料大棚中不同灌水量下限对生菜生长和生理特性的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 105—108.
Pei Yun, Bie Zhilong. Effects of different irrigation minima on the growth and physiological characteristics of lettuce under plastic greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 207—211. (in Chinese with English abstract)
- [5] Wang D, Kang Y, Wan S. Effect of soil matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition[J]. Agricultural Water Management, 2007, 87(2): 180—186.
- [6] 王凤新, 康跃虎. 用负压计拟定滴灌马铃薯灌溉计划的方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 58—64.
Wang Fengxin, Kang Yuehu. Scheduling drip irrigation for potato with tensiometers [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(3): 58—64. (in Chinese with English abstract)
- [7] 诸葛玉平, 张玉龙, 张旭东. 塑料大棚渗灌灌水下限对番茄生长和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 767—771.
Zhu Ge Yuping, Zhang Yulong, Zhang Xudong. Effects of lower limit of subsurface drip irrigation on tomato growth and its yield in plastic tunnel [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 767—771. (in Chinese with English abstract)
- [8] Hegde D M. Effect of soil matric potential, method of irrigation and nitrogen fertilization on yield, quality, nutrient uptake and water use of radish (*Raphanus sativus* L.) [J]. Irrigation Science, 1987, 8(1): 13—22.
- [9] Shock C C, Feiberterik, et al. Irrigation criteria for drip-irrigated onions[J]. HortScience, 2000, 35(1): 63—66.
- [10] Haise H R, Hagan R M. Soil, plant and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation [M]. In: Hagan, R.M., H.R. Haise, and T.W. Edminster (eds.). Irrigation of agricultural lands. ASA, Madison, WI. 1967, 577—604.
- [11] 张辉, 张玉龙, 虞娜, 等. 温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水分利用效率的关系[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 425—432.
Zhang Hui, Zhang Yulong, Yu Na, et al. Relationship between low irrigation limit and yield, water use efficiency of tomato in under-mulching-drip irrigation in greenhouse [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2006, 39(2): 425—432. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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): 88—92.
Tian Yi, Zhang Yulong, Yu Na, et al. Effect of different low irrigation limit on growth, quality and yield of tomato under subsurface drip irrigation in greenhouse[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(5): 88—92. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张宪法, 于贤昌, 张振贤. 土壤水分对温室嫁接和非嫁接黄瓜生长与生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1399—1402.
Zhang Xianfa, Yu Xianchang, Zhang Zhenxian. Effect of soil water on the growth and physiological characteristics of grafted and non-grafted cucumber in greenhouse [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(11): 1399—1402. (in Chinese with English abstract)
- [14] Alvarez Castellanos P P, Pascual Villalobo M J. Effect of fertilizer on yield and composition of flowerhead essential oil of *Chrysanthemum coronarium* (Asteraceae) cultivated in Spain [J]. Industrial Crops and Products, 2003, 17(2): 77—81.
- [15] Valente M E, Borreani G, Caredda S, et al. Ensiling forage garland (*Chrysanthemum coronarium* L.) at two stages of maturity and at different wilting levels [J]. Animal Feed Science and Technology, 2003, 108(1/4): 181—190.
- [16] Chung K M, Park Y D. Development of an agrobacterium-mediated transformation system for regenerating garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.) [J]. Journal of Plant Biology, 2005, 48(1): 136—141.

Effect of different irrigation thresholds on growth and yield of garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium* L.) in greenhouse

Yang Wenbin¹, Hao Zhongyong^{2*}, Wang Fengxin¹, Su Limao³, Yao Jinfeng³, Ma Jun³, Hu Jialin³

(1. Center for Agricultural Water Research, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100048, China; 3. Yanqing Water Resources Bureau, Beijing 102100, China)

Abstract: An experiment was conducted to study the effect of different irrigation thresholds on yield and growth of garland chrysanthemum under simulated micro-spray irrigation in greenhouse. The experiment included six treatments, which controlled soil water potential (SWP) at 15cm depth with -10 kPa (T1), -15 kPa (T2), -20 kPa (T3), -25 kPa (T4), -30 kPa (T5) and -40 kPa (T6), respectively. The results showed that effect of different irrigation threshold on the crop yield was significant. Treatment T2 had the highest yield and compared with T1, T3, T4, T5 and T6, its yield increased by 0.5%, 18.7%, 62.6%, 73.4%, 71.7%, respectively. Irrigation amount of T2 was 195 mm throughout the growth period, saving 56.4% than that of T1. The plant height and growth rate of T2 had no difference from T1. When the irrigation threshold was lower than -25 kPa in SWP, garland chrysanthemum would be under severe water stress, negatively affecting seedling emergence and restraining its growth. The SWP of -15 kPa was recommended as the best irrigation threshold for garland chrysanthemum, because of both high-yield and water-saving.

Key words: greenhouses, irrigation, experiments, garland chrysanthemum, yield, irrigation amount, irrigation threshold