

doi:10.11937/bfyy.20170354

基于称重式蒸渗仪的温室菜心耗水规律

许 峥^{1,2}, 李银坤^{1,3}, 郭文忠^{1,3}, 李海平², 李灵芝², 高若星²

(1. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097; 2. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801;

3. 北京市工程技术研究中心, 北京 100097)

摘 要:以菜心为试材,利用称重式蒸渗仪,以直径 20 cm 的蒸发皿水面蒸发量(E_p)为基础标准,研究了在不同灌溉处理条件下(0.6 E_p 、0.7 E_p 、0.8 E_p 、0.9 E_p)温室菜心生育期的蒸散量、蒸散速率、产量、生物量及水分利用效率,以探明温室菜心的耗水规律,明确温室菜心合理的灌溉量。结果表明:温室菜心生育期内蒸散量波动范围为 0.73~3.52 mm·d⁻¹,前期及中后期的平均蒸散速率分别为 1.43 mm·d⁻¹和 2.04 mm·d⁻¹,呈前期变化平稳,中后期变化剧烈的趋势;随着灌溉量的增加,菜心的蒸散量随之增加,温室菜心全生育期蒸散量为 65.98~78.92 mm。其中 0.7 E_p 处理下温室菜心产量、生物量、产量水分利用效率及生物量水分利用效率均为最高。与 0.6 E_p 、0.8 E_p 处理和 0.9 E_p 处理相比,0.7 E_p 处理的产量分别提高了 25.16%($P<0.05$)、5.63%和 13.76%($P<0.05$),产量水分利用效率分别提高了 17.42%($P<0.05$)、8.48%和 27.66%($P<0.05$),生物量分别提高了 21.96%($P<0.05$)、7.41%和 17.68%($P<0.05$),生物量水分利用效率分别提高了 11.21%、10.32%和 32.10%($P<0.05$),0.7 E_p 灌溉量为供试条件下温室菜心的最优灌溉量。

关键词:称重式蒸渗仪;温室菜心;灌溉量;蒸散速率;水分利用效率

中图分类号:S 634.926.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)16-0085-06

灌溉是温室蔬菜生长过程中水分需求的主要来源^[1-3]。由于缺乏对设施蔬菜耗水特性的掌握,盲目灌溉现象在我国依旧普遍存在,不仅难以保障产量,而且大大降低了水分利用效率,加剧了水资源浪费及土壤退化等问题^[4-5]。IMTIYAZ 等^[6]研究表明,温室胡萝卜按照蒸发蒸腾量的 80%进行补充灌溉,其产量不受影响,而按照蒸发蒸腾量的 100%对蔬菜进行补充灌水,不但产量

降低,而且灌溉水利用效率显著降低;孔祥悦等^[7]研究发现,比农民习惯灌溉量(450 m³·hm⁻²)降低 66.67%,温室黄瓜的产量不但没有降低,水分利用效率显著提高了 1.11 倍。

称重式蒸渗仪是直接测定农田腾发量的仪器,其工作原理是根据水量平衡,在仪器箱体内装满土壤并栽植测定的植物,通过重力传感器把土壤质量转化为电信号,由数据采集系统存储并转化为蒸渗量^[8]。目前,国内外基于蒸渗仪对作物蒸腾耗水过程的研究较为广泛,多是利用其数据记录量大且精准的优势,从而明确作物精细的耗水过程。以直径 20 cm 蒸发皿水面蒸发量(E_p)指导农田灌溉在目前研究中较为常见^[9-10],也有研究表明,通过温室中蒸发皿的水面蒸发量而建立的灌溉制度,能够实现温室蔬菜的节水高产^[11]。目前,基于蒸渗仪的作物耗水研究多布置于大田,研究对象多为粮食作物或果菜类蔬菜,而鲜有温

第一作者简介:许峥(1992-),女,河南许昌人,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培与生理。E-mail: xuzheng0330@163.com.

责任作者:李银坤(1982-),男,博士,助理研究员,研究方向为作物水肥高效利用。E-mail: lykun1218@163.com.

基金项目:北京市优秀人才资助项目(2015000057592G267);国家自然科学基金资助项目(51509005);山西农业大学引进人才博士科研启动基金资助项目(2013YJ23)。

收稿日期:2017-04-06

室条件下叶菜类蔬菜耗水规律的研究^[12]。并且叶菜类蔬菜的生长周期较短,且喜高肥水,但因其根系较浅,吸收能力较弱^[13],因此在叶菜类生长过程中合理的水肥管理显得尤为重要。该研究以直径 20 cm 的蒸发皿水面蒸发量(E_p)为基础,基于称重式蒸渗仪研究不同灌水量条件下温室菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)耗水规律、产量及水分利用效率,以期明确温室菜心的耗水过程,并探讨合理的灌溉量,为建立温室蔬菜生产的科学灌溉制度提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菜心品种为“京翠 1 号”,由国家蔬菜工程技术研究中心提供。供试温室长 38 m,宽 11 m。试验耕作土壤为砂壤土,试验前 0~20 cm 土壤容重 $1.40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间体积持水量 28.0%,有机质含量 $15.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮质量分数 $0.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $0.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试有机肥养分含量为有机质 $212.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $7.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷 $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $3.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;大量元素水溶性肥料(N:P₂O₅:K₂O=3:1:6,河北省三河市香丰肥业有限公司生产),供试仪器称重式蒸渗仪(型号 LYSI9S,北京时域通科技有限公司生产)长 1 m,宽 0.6 m,土体深 0.9 m;小气候监测系统(型号 AG1000,美国 CAMPBELL 公司生产)。

1.2 试验方法

试验于 2016 年 7—8 月在北京市农林科学院玻璃温室内进行。于 7 月 13 日播种,8 月 20 日收获,采用畦栽方式,畦宽 0.75 m,每畦栽 3 行,株距为 3~5 cm。温室内布置 2 个直径 20 cm 的蒸发皿,以此为基于蒸发皿水面蒸发量(E_p)标准,设 4 个灌溉处理, $I_1: 0.6E_p$, $I_2: 0.7E_p$, $I_3: 0.8E_p$, $I_4: 0.9E_p$ 。每畦铺设 2 条滴灌带,分别置于菜心株行间。播种前施有机肥 $48\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,播种后各处理均灌水 5.5 mm 以保证出苗,之后进行不同处理灌溉,灌溉周期为 5 d。7 月 27 日施氮磷钾肥 1 次, 667 m^2 施用量 5 kg。

1.3 项目测定

灌溉量(I , mm)由公式计算^[14]: $I = k \times \sum(E_{p1} - E_{p2})_i$ 。式中, k 为灌溉系数,分别取 $0.6(I_1)$ 、 $0.7(I_2)$ 、 $0.8(I_3)$ 、 $0.9(I_4)$; E_{p1} 为蒸发皿初始加入的水量, mm; E_{p2} 为 24 h 后蒸发皿的剩余水量, mm。 i 为灌溉周期,该试验取 5 d。

称重式蒸渗仪每 1 h 记录一次土柱质量(称重分辨率, 0.01 mm),蒸散量根据水量平衡方程计算^[9], $T \times A = (W_{t-1} - W_t) / \rho + I$ 。式中, T 为时间段内蒸散量, mm; A 为蒸渗仪箱体的表面积, 0.6 m^2 ; W_{t-1} 、 W_t 为 $t-1$ 时刻和 t 时刻蒸渗仪箱体土、水的质量, g; ρ 为水的密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; I 为时段内的灌水量, mm。

株高测量采取抽样方式,待菜心长到 2 片叶时,各处理试验小区随机选取 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 内的样品,用直尺测量从土壤表层到植株叶片自然所能到达的最高位置,每间隔 5 d 测量 1 次,收获前进行最后一次测量。菜心收获时,在蒸渗仪上随机选取 20 株,称量鲜质量并计算单株质量,根据栽植密度计算产量。并在 105°C 条件下杀青 30 min,然后在 75°C 烘干至恒重,测定干物质量。

2 结果与分析

2.1 温室内气象因子的变化

由图 1 可知,试验期间温室内的日均气温和日均相对湿度的变化范围分别为 $22.00 \sim 34.83^\circ\text{C}$ 和 $46.0\% \sim 95.7\%$ 。平均气温和平均湿度分别为 30.91°C 和 72.17% 。温室内的温度呈逐渐升高趋势,但是在 7 d 前与 31 d 后波动幅度较大,其它时段变化相对稳定;温室内相对湿度前期(9~

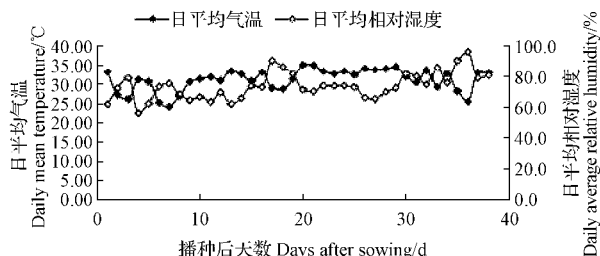


图 1 温室内日平均气温和日平均相对湿度变化

Fig. 1 Change of daily mean temperature and daily average relative humidity in greenhouse

17 d) 及后期 (27~38 d) 升高速度较快, 中期 (18~26 d) 温室相对湿度呈波浪式增长。温室内较为稳定的气温及相对湿度为菜心生长提供了适宜的生长环境。

2.2 不同灌溉处理温室菜心日蒸散速率的变化

由图 2 可知, 温室菜心各处理蒸散速率日变化动态规律相似。随着时间的推移, 日蒸散速率整体呈双峰曲线变化。从 06:00 开始, 蒸散速率缓慢增加; 08:00—11:00 蒸散速率加快, 11:30 左右达到第 1 个峰值, 其中处理 I_4 的峰值最高, 为 $0.270 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。峰值出现后, 各处理蒸散速率

呈迅速下降趋势, 其原因可能与温度过高导致植株根系吸水量供应不上其自身的蒸散量, 为了保住水分, 叶片气孔暂时关闭停止光合, 出现午休现象^[16]。午休之后蒸散速率在 14:00 左右出现第 2 个峰值; 在 19:00 左右蒸散速率下降变缓并趋于平稳。处理 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 的日蒸散量分别为 2.05、2.13、2.78、2.84 mm。与处理 I_3 、 I_2 、 I_1 相比, 处理 I_4 的日蒸散量分别增加了 2.16%、33.33% ($P<0.05$) 和 38.54% ($P<0.05$)。说明随着灌水量的增加, 温室菜心的日蒸散速率呈显著增加趋势。

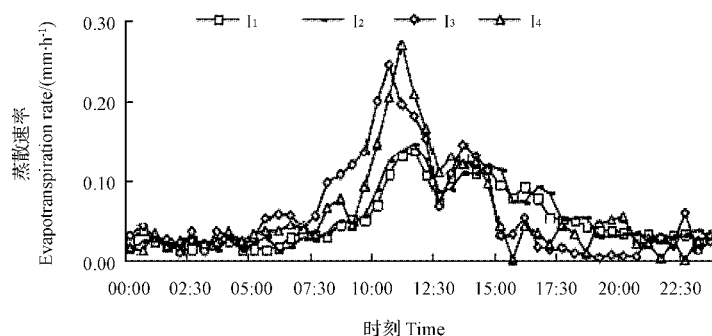


图 2 不同处理下温室菜心蒸散速率日动态变化

Fig. 2 Dynamic change of evapotranspiration rate of greenhouse flowering Chinese cabbage under different treatments

2.3 不同灌溉处理温室菜心株高的变化

由图 3 可知, 菜心株高随着时间的延长增加趋势明显, 其中在菜心播种后的前 24 d 生长较为缓慢, 而之后的菜心生长快。各处理在菜心收获时的株高并无显著性差异, 其中处理 I_2 的最高, 与处理 I_1 、 I_3 、 I_4 相比, 分别增加了 11.86%、5.34% 和 3.33%。

2.4 不同灌溉处理温室菜心生育期蒸散量的变化

由图 4 可知, 菜心生育期内蒸散量波动范围为 $0.73\sim 3.52 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。其中播种后 2 d 内的蒸散速率较高, 处理 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 蒸散速率分别达到 2.09、1.83、2.22、2.35 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 这可能与各处理均进行了 5.5 mm 的灌水有关。各处理播种 5 d 后蒸散速率变化均趋于平稳, 从第 9 天开始有小幅上升, 此时菜心开始长出新叶。随着菜心的生长加快 (图 3), 蒸腾作用随之增强, 日蒸散量呈

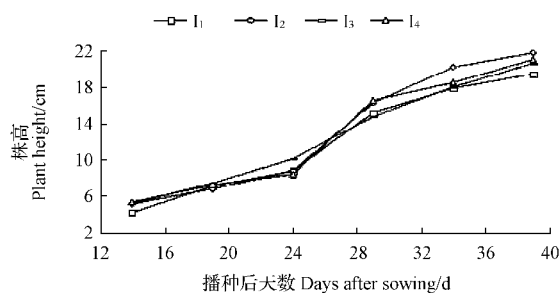


图 3 不同处理下温室菜心株高增长趋势

Fig. 3 Plant height growth trend of greenhouse flowering Chinese cabbage under different treatments

增加趋势。其中温室菜心生长前期 ($\leq 13 \text{ d}$) 平均蒸散速率为 $1.43 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 中后期 ($>13 \text{ d}$) 平均蒸散速率为 $2.04 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 比生长前期增加了 42.9%。

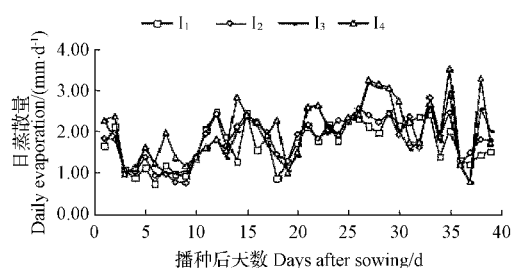


图4 不同处理下温室菜心蒸散量变化趋势

Fig. 4 Evaporation trend of greenhouse flowering Chinese cabbage under different treatments

2.5 不同灌溉处理温室菜心累积蒸散量的变化

由图5可知,温室菜心全生育期内处理 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 累积蒸散量分别为65.96、70.33、72.23、78.92 mm。随着不同灌水梯度的增加,累积蒸散量随之增加,这与日蒸散量(图2)的变化规律一

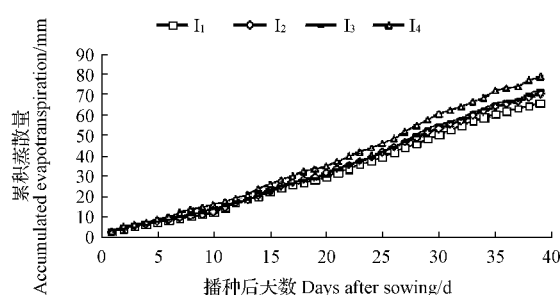


图5 温室菜心全生育期各处理累积蒸散量动态

Fig. 5 The greenhouse flowering Chinese cabbage growth period cumulative evapotranspiration dynamic

致。与处理 I_1 相比,处理 I_4 蒸散量增加了19.65%。整体看来,播种后前13 d各处理累积蒸散量增加较为缓慢,4个处理平均增长速度为 $1.28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,随后增长速度加快,平均增长速度达 $1.97 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。说明温室菜心前期耗水量少于中后期,这是因为菜心前期主要以土壤蒸发为主,蒸散量增长较为缓慢,而中后期随着植株的生长,叶片蒸腾作用增强,致使累积蒸散量的增长速率增大。综上分析可知,随着各处理灌溉量的增加,累积蒸散量随之加大。

2.6 不同灌溉处理温室菜心产量及水分利用效率

由表1可知,处理 I_2 产量和生物量最高,分别为 $30\,484$ 、 $6\,537.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,与处理 I_1 、 I_3 、 I_4 相比较,处理 I_2 的产量分别提高了25.16% ($P < 0.05$)、5.63%和13.76% ($P < 0.05$),生物量分别提高了21.96% ($P < 0.05$)、7.41%和17.68% ($P < 0.05$)。产量水分利用效率和生物量水分利用效率也是以处理 I_2 为最高,分别为43.34、 $9.30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。与处理 I_1 、 I_3 、 I_4 相比,处理 I_2 的产量水分利用效率分别提高了17.42% ($P < 0.05$)、8.46%和27.66% ($P < 0.05$),生物量水分利用效率分别提高了11.21%、10.32%和32.10% ($P < 0.05$)。基于称重式蒸渗仪进行综合分析发现,合理的灌溉量,能够显著提高蔬菜的产量、生物量及水分利用效率,灌溉量过多反而导致无效蒸散。供试条件下灌溉量为 $0.7E_p$ (I_2)具有最高的产量、生物量及水分利用效率。

表1

温室菜心不同处理产量、生物量及水分利用效率

Table 1 Yield, biomass and water use efficiency of greenhouse flowering Chinese cabbage under different treatments

处理	产量	生物量	产量水分利用效率		生物量水分利用效率
	Yield/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	Biomass/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	Use efficiency of yield water/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)		Use efficiency of biomass water/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
I_1	$24\,356 \pm 1\,571.3c$	$5\,360.36 \pm 328.16b$	$36.91 \pm 2.38bc$		$8.12 \pm 0.50ab$
I_2	$30\,484 \pm 807.6a$	$6\,537.26 \pm 356.93a$	$43.34 \pm 1.14a$		$9.30 \pm 0.51a$
I_3	$28\,860 \pm 1\,366.3ab$	$6\,086.10 \pm 572.23ab$	$39.96 \pm 1.89ab$		$8.43 \pm 0.79a$
I_4	$26\,796 \pm 1\,855.6bc$	$5\,554.96 \pm 562.19c$	$33.95 \pm 2.39c$		$7.04 \pm 0.71b$

注:不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters within the same column mean significant difference at 0.05 level.

3 结论

该研究结果表明,温室菜心的日蒸散速率呈

双峰曲线变化,峰值分别出现在11:00和14:00左右。菜心全生育期的蒸散速率呈前期变化平稳,中后期变化剧烈的趋势。灌溉量显著影响到

温室菜心的蒸散量,其中灌溉处理 $0.9E_p$ 的日蒸散量和累积蒸散量最高,与灌溉处理 $0.6E_p$ 相比,分别增加了 38.54% ($P<0.05$) 和 19.65% ($P<0.05$)。在 $0.7E_p$ 灌溉处理下温室菜心产量、生物量、产量水分利用效率及生物量水分利用效率均为最高。与 $0.6E_p$ 、 $0.8E_p$ 和 $0.9E_p$ 相比, $0.7E_p$ 产量分别提高了 25.16% ($P<0.05$)、5.63% 和 13.76% ($P<0.05$),产量水分利用效率分别提高了 17.42% ($P<0.05$)、8.48% 和 27.66% ($P<0.05$),生物量分别提高了 21.96% ($P<0.05$)、7.41% 和 17.68% ($P<0.05$),生物量水分利用效率分别提高了 11.21%、10.32% 和 32.10% ($P<0.05$)。合理的灌溉量不仅确保了温室菜心产量,而且显著提高了水分利用效率,灌溉处理 $0.7E_p$ 为供试条件下的最佳灌溉量。

参考文献

- [1] 腾云,司振江.寒冷地区日光温室环境与灌溉技术研究探讨[C].第八届全国微灌大会论文汇编,2009:94-97.
- [2] 刘明池,张慎好,刘向莉.亏缺灌溉时期对番茄果实品质和产量的影响[J].农业工程学报,2005(12):92-95.
- [3] 胡越.设施黄瓜耗水规律及节水灌溉制度研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [4] 张友贤,冯成,方小宇,等.日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究[J].节水灌溉,2014(8):16-18.
- [5] RANA G, KATERJI N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate; A review[J]. European Journal of Agronomy, 2000, 13(2): 125-153.
- [6] IMTIYAZ M, MGADLA N P, MANASE S K, et al. Yield and economic return of vegetable crops under variable irrigation[J]. Irrigation Science, 2000(19): 87-93.
- [7] 孔祥悦,王永泉,睦晓蕾,等.灌水量对温室自根与嫁接黄瓜根系分布及水分利用效率的影响[J].园艺学报,2012,39(10): 1928-1936.
- [8] 李王成,王为,冯绍元,等.不同类型微型蒸发器测定土壤蒸发的田间试验研究[J].农业工程学报,2007,23(10): 6-13.
- [9] UZOKWE P, 李新强,高阳,等.不同灌水方式下基于水面蒸发量的夏玉米灌溉试验研究[J].灌溉排水学报,2013,32(3): 59-62.
- [10] 刘浩,段爱旺,孙景生,等.温室番茄节水调质灌水方案评价[J].排灌机械工程学报,2014,32(6): 529-534.
- [11] 龚雪文,孙景生,刘浩,等.基于 20 cm 蒸发皿蒸发量制定的华北地区温室黄瓜滴灌灌水制度[J].应用生态学报,2015,26(11): 3381-3388.
- [12] 牛勇,刘洪禄,吴文勇,等.基于大型称重式蒸渗仪的日光温室黄瓜蒸腾规律研究[J].农业工程学报,2011,27(1): 52-56.
- [13] 王会鱼.大白菜水肥耦合技术的初步研究[M].郑州:河南农业大学,2013.
- [14] 焦艳平,赵勇,张艳红,等.基于蒸发皿蒸发量的日光温室番茄滴灌灌水水量研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(5): 133-138.
- [15] LIU F, SAVIC S, JERSEN C R, et al. Water relation and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation[J]. Scientia Horticulturae, 2003, 111(2): 128-132.
- [16] 耿显胜,肖世奇,葛晓改,等.植物的光合午休[J].生物学教学,2010,35(12): 59-60.

Water Consumption Rule for Greenhouse Flowering Chinese Cabbage Based on Weighing Lysimeter

XU Zheng^{1,2}, LI Yinkun^{1,3}, GUO Wenzhong^{1,3}, LI Haiping², LI Lingzhi², GAO Ruoxing²

(1. National Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture, Beijing 100097; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801; 3. Beijing Engineering Research Center, Beijing 100097)

Abstract: Flowering Chinese cabbage was used as material, based on the water surface evaporation (E_p), with the evaporation pan in diameter 20 cm of weighing lysimeter, evaporation, transpiration rate, yield, biomass and water use efficiency of greenhouse flowering Chinese cabbage under different irrigation treatments about $0.6E_p$, $0.7E_p$, $0.8E_p$, $0.9E_p$ were studied. In order to explore the rule of water consumption of greenhouse flowering Chinese cabbage, clear the reasonable irrigation amount of greenhouse flowering Chinese cabbage. The results showed that the diurnal variation of transpiration was $0.73-3.52 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ in the whole growth period. The average evapotranspiration rates in early and late stages were $1.43 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, $2.04 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, which showed a steady change in the early period, a dramatic changes in late period. The evapotranspiration increased with increase of irrigation amount. The evapotranspiration during the whole growth period of greenhouse flowering Chinese

doi:10.11937/bfyy.20162541

植物卷材不同肥水配比对紫穗槐生理特性的影响

王红梅¹, 蒙 玺², 孙海龙³(1. 雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051; 2. 四川大学 生命科学学院, 四川 成都 610064;
3. 四川大学 水利水电国家重点实验室, 四川 成都 610064)

摘 要:以两河口水电站植物护坡工程为背景,以种植紫穗槐的植物卷材为研究对象,把不同施肥梯度和水分配比作为变量因子,探究紫穗槐的生理指标变化趋势,为该区域植物护坡材料的水肥设计提供参考依据。结果表明:当保水剂一定,施肥浓度为 $12\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,紫穗槐叶片中丙二醛含量增加,植物叶片中的过氧化物酶活性减少,可溶性蛋白质含量增多,植物的叶片保水力也最强。当施肥量一定时,保水剂量为 $10\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,可溶性蛋白质含量最少,保水剂量追加到 $15\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,此时的可溶性糖含量最多,植物叶片中的丙二醛含量增加,植物叶片保水力也随之增加。

关键词:两河口水电站;边坡;植物卷材;施肥量;生理指标

中图分类号:S 727.29 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)16-0090-05

随着国内园林工程建设的推进,岩土边坡恢复成为当今社会最大的热点之一。边坡植被护坡是岩土边坡恢复的一种重要技术。植被护坡技术是指用活的植物与工程措施相结合,以防止岩石坡面风化剥落的技术与手段^[1]。植物卷材作为一

种植被护坡技术正逐渐被大量运用于工程上,有研究表明,在植物卷材中基质的养分与水分对于岩石植被重建与恢复工程尤为重要^[2-3]。紫穗槐(*Amorpha fruticosa* Linn.)属豆科槐属植物,是植被护坡常用的一种植物,根系发达,耐贫瘠、耐盐碱性,具有绿化环境和固土护坡的能力。但在紫穗槐生长前期,需要足够的水肥构建植物体,适当的水肥环境是紫穗槐存活的关键。目前,植物卷材护坡相关的研究主要集中在新型生态材料改进、卷材护坡施工方法,以及有关边坡土壤的不同

第一作者简介:王红梅(1973-),女,河北灤州人,硕士,高级工程师,现主要从事生态与资环管理等工作。
E-mail:729851844@qq.com.

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2013BAJ02B03)。

收稿日期:2017-03-20

cabbage was 65.98—78.92 mm. Among them, the irrigation amount of $0.7E_p$ on the yield, biomass, yield water use efficiency and biomass water use efficiency were the highest, compared with treated $0.6E_p$, treated with $0.8E_p$ and treated with $0.9E_p$, yield increased by 25.16% ($P<0.05$), 5.63% and 13.76% ($P<0.05$), water use efficiency of yield increased by 17.42% ($P<0.05$), 8.48% and 27.66% ($P<0.05$), biomass respectively increased by 21.96% ($P<0.05$), 7.41% and 17.68% ($P<0.05$), water use efficiency of biomass increased by 11.21%, 10.32% and 32.10% ($P<0.05$). So $0.7E_p$ was the optimal irrigation amount of greenhouse flowering Chinese cabbage under the test conditions.

Keywords: weighing lysimeter; greenhouse flowering Chinese cabbage; irrigation amount; evapotranspiration rate; water use efficiency