

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.16.0032



不同水量交替灌溉对木薯产量和水分利用的影响

赵徐, 杨启良, 王亓剑, 刘小刚, 王卫华

(昆明理工大学现代农业工程学院, 云南 昆明 650500)



赵徐

摘要: 为探讨作物旱后复水的补偿效应, 采用不同水量交替灌溉方式研究木薯的生长、产量及水分利用效率的变化规律, 设计了5种水分处理模式, 分别为3种常规灌水处理(处理T1, T2和T3的灌水定额分别为10, 20, 30 mm)和2种交替灌水处理(处理T4: 即对灌水定额10和20 mm进行轮回交替; 处理T5: 即对灌水定额10和30 mm进行轮回交替)。结果表明: 与处理T2相比, 处理T5的总叶面积、总干物质质量、产量和水分利用效率分别显著增加31.1%, 20.3%, 64.6%和114.0%。与处理T3相比, 处理T5节水33.3%, 其总干物质质量下降较小, 而根系干物质质量、水分利用效率和产量分别显著增加11.2%, 119.0%和13.3%。因此, 处理T5是有利于木薯产量和水分利用效率提高的最佳灌溉模式。

关键词: 木薯; 不同水量; 交替灌溉; 滴灌; 产量; 水分利用

中图分类号: S275.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2016)08-0715-07

赵徐, 杨启良, 王亓剑, 等. 不同水量交替灌溉对木薯产量和水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(8): 715-721.

ZHAO Yu, YANG Qiliang, WANG Qijian, et al. Effects of alternate different irrigation amount modes on yield and water use efficiency of *Cassava*[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering (JDIME), 2016, 34(8): 715-721. (in Chinese)

Effects of alternate different irrigation amount modes on yield and water use efficiency of *Cassava*

ZHAO Yu, YANG Qiliang, WANG Qijian, LIU Xiaogang, WANG Weihua

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: In order to explore a compensatory effect of crops after encountering drought stress and then rehydration, the change of growth, yield and water use efficiency of *Cassava* under alternate different irrigation amount modes was studied. Five watering treatment modes were designed in this experiment, three conventional watering treatments: T1, T2, T3 (every time the irrigation amount of 10, 20, 30 mm, respectively), and two alternate watering treatments: T4 (repeated alternate two kinds of combined irrigation amount as 10 or 20 mm), T5 (repeated alternate two kinds of combined irrigation amount as 10 or 30 mm). The results show that compared to T2 treatment, T5 treatment significantly increased total leaf area, total dry mass, yield and total water use efficiency by 31.1%, 20.3%, 64.6% and 114.0%, respectively. Compared to T3 treatment, T5 treatment saved irrigation water by 33.3%, the total dry mass reduced a little, but the root mass, total water use efficiency and yield significantly increased by 11.2%, 119.0% and 13.3%, respectively. Therefore, T5 treatment is the best mode to improve yield and water use efficiency of *Cassava* in greenhouse.

收稿日期: 2016-02-17; 网络出版时间: 2016-07-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20160711.0822.024.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51379004, 51469010); 云南省应用基础研究资助项目(2013FB024, 2014FB130)

作者简介: 赵徐(1989—), 男, 湖南怀化人, 硕士研究生(zhaoyukmust@163.com), 主要从事农业节水理论与新技术研究。

杨启良(1978—), 男, 甘肃通渭人, 教授(yangqilianglovena@163.com), 主要从事农业节水理论与新技术研究。

Key words: *Cassava*; different irrigation amount; alternate irrigation; drop irrigation; yield; water use

木薯(*Cassava*)为多年生亚灌木植物,属大戟科(*Euphorbiaceae*)木薯属(*Manihot*),学名为 *Manihot esculenta* Crantz, 又称树薯、木番薯、树番薯,起源于南美洲热带地区的亚马逊河流域,与马铃薯和甘薯并列为世界三大薯类作物^[1],广泛分布于热带及亚热带地区,在中国的华南及西南地区有着悠久的种植历史.木薯号称酒精树,是一种淀粉含量较高的块根作物,利用其淀粉可加工生物乙醇^[2],随着石油、煤炭、天然气等不可再生资源的逐渐枯竭,生物燃料乙醇作为一种可再生清洁能源得到了国内外广泛关注^[3].在可再生能源日益受到重视的大背景下,其具有非常大的开发利用潜能^[4-5].近年来,木薯在金沙江流域的干热河谷区广泛种植,但该地区正面临着降雨期与木薯关键需水期严重错位的突出问题,导致木薯的产量较低,已成为制约以木薯为主的生物燃料乙醇产业较快发展的最大障碍,因此,在有限可利用的水资源条件下如何提高木薯产量显得尤为重要.

水分是影响木薯生长、生理、产量和水分利用效率的关键因素.虽然木薯具有较强的适应自然环境的能力,在自然降雨条件下,极其贫瘠的土地上也具有一定的产量^[6],但其生长和产量对土壤水分非常敏感,适宜的土壤水分会促进木薯植株生长^[7-8]、产量和水分利用效率的提高^[9-10].在国外,DAELLENBACHA等^[11]对于以木薯为主体的间种、套种模式进行了大量研究,摸索了一套木薯优质高产的栽培种植体系,发现木薯与其他作物套种减少土壤的裸露面积有利于木薯产量的提高.

作物旱后复水后其生长和产量具有明显的补偿效应^[12].近年来,针对空间的变化,许多学者围绕根系分区交替灌溉处理对马铃薯、玉米、辣椒、棉花和小麦进行了较多的试验研究^[13-17],结果表明,在作物根区两侧进行轮回交替灌水,不断地对干燥侧根系进行复水,这种灌水技术在节约灌溉用水的同时,作物产量下降甚微甚至有所提高,而作物水分利用效率显著提高.针对水量的变化,杨启良等^[18]研究发现,采用不同的水量交替灌溉处理后,小桐子体内的含水率得到提高,根系和总干质量增加,而蒸发量和蒸腾量均显著降低,因此显著提高了小桐子水分利用效率.木薯为热带的块茎类作物,灌水量和灌溉方式的不同势必会影响其产量的变化,但目前对于不同水量交替灌溉

条件下关于木薯生长、根区土壤水分、产量和水分利用效率的研究较少.文中采用不同水量交替灌溉方式研究木薯的生长、产量及水分利用效率的变化规律,探讨不同的水量交替灌溉条件下木薯节水和增产的调控机制,拟为木薯种植过程中的高效用水管理提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验区概况及材料

试验于2012年12月—2014年1月在昆明理工大学现代农业工程学院的温室进行,温室地处昆明市呈贡大学城区内(102°8'E, 25°1'N).当地属北亚热带低纬度高原山地季风气候,年平均气温为14.7℃,年均日照时数2 200 h,无霜期240 d,年均降水约1 031 mm,降雨期主要集中于5—10月,占全年降雨量的85%,年均蒸发量约1 200 mm,属典型的季节性干旱区.试验期间,温室中最高和最低气温分别为28.0℃和7.5℃,平均相对湿度68%.木薯育苗材料来自于地处干热河谷区的云南农科院热区生态农业研究所苴林基地,选取1 a生的木薯(华南8号)主杆为扦插育苗材料,其平均长度约20 cm,平均直径约为2 cm,保持叶芽向上,将其扦插于温室内的小区,小区之间均覆有塑料膜防侧渗,供试土壤为燥红壤土,为了避免土壤中的其他大颗粒物如石块的影响,试验用土是通过10 mm孔径的筛网过筛并混合均匀后填入种植槽内.土壤全氮质量比为0.87 g/kg、全钾为13.9 g/kg、全磷为0.68 g/kg、有机质为13.12 g/kg.

1.2 试验设计

试验于2013年2月4日开始不同的水分处理,供水方式为滴灌,采用滴灌管与PE管通过球阀相接的分支控制法供水,压力补偿式滴头的平均流量为4 L/h,滴头间距为1 m,试验共设5个水分处理模式,分别为3种常规灌水处理(处理T1, T2和T3的灌水定额分别为10, 20, 30 mm)和2种交替灌水处理(处理T4:对灌水定额10, 20 mm进行反复轮回交替;处理T5:对灌水定额10, 30 mm进行反复轮回交替).每行扦插6棵木薯杆,行间距1.5 m,株间距1.0 m,每个处理6次重复,灌水周期为20 d.第一次施肥于2013年1月15日进行,第二次施肥于2013年5月25日进行,氮肥用尿素(含氮量46.7%),磷

肥用磷酸二氢钾(含 P_2O_5 量 52%),施肥方式采用环施法,施肥半径均为距植株基部 15 cm. 试验期内

其他管理均保持一致. 5 个水分处理模式下, 试验期灌水定额见表 1, 表中 M 为灌水总量.

表 1 木薯试验期灌水定额
Tab. 1 Irrigation amount of *Cassava* during watering experiment

水分处理	灌水日期												M
	02-04	02-24	03-16	04-05	04-25	05-15	06-04	06-24	07-14	08-03	08-23	09-12	
T1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120
T2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240
T3	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360
T4	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	180
T5	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	10	30	240

1.3 测定项目

1) 干物质量: 于 2013 年 10 月 26 日获取植株各器官生物量, 在烘箱中保持 105 °C 杀青 30 min 后调温至 75 °C 烘至恒重, 用天平测定干物质量.

2) 茎粗、叶面积和根冠比: 茎粗采用螺旋测微仪测量, 在每次灌水前 1 d 进行测量. 叶面积通过剪纸称重后采用相似比法进行测定, 木薯总叶面积 = 植株总叶干质量 × 单位叶干质量对应的叶面积. 根冠比 = 根系干物质量/冠层干物质量.

3) 土壤含水率测定: 全生育期土壤含水率采用取土烘干法测定, 每次灌水后第 3 天在距木薯基部(滴头布设点) 20 cm 处取土样, 取土点位于株距间, 每隔 10 cm 取 1 层, 取土深度均为 0 ~ 60 cm.

4) 水分利用效率计算: 总水分利用效率 = 产量/总耗水量, 不同处理总耗水量由水量平衡公式计算, 即

$$ET = P + K + M - F + \Delta W,$$

式中: ET 为作物总耗水量; P 为降水量; K 为地下水补给量; M 为灌水量; F 为地表径流; ΔW 为试验开始及结束时 0 ~ 60 cm 土壤层中土壤平均含水量的变化量.

以上各项中, 由于试验在温室内进行不受降雨影响, 采用滴灌方式供水, 室内地面水平且表土疏松, 因此无地表径流, 同时试验所在地区地下水位超过 5 m, 因此该式中 P, K, F 均可忽略不计, ΔW 根据计算获得.

1.4 数据分析及处理方法

采用 Microsoft Excel 2010 制图和处理数据, 通过 SAS 软件的 Duncan ($P = 0.05$) 和 ANOVA 方法对数据进行多重比较和方差分析.

2 结果与分析

2.1 木薯根区土壤含水率的动态变化

不同灌水处理条件下木薯全生育期 0 ~ 60 cm

土层土壤含水率 W 的变化如图 1 所示. 由图可见, 各处理土壤含水率从 2 月 27 日开始均呈先减小后增加趋势, 最低值于 7 月 17 日取得, 这是由于随着木薯生育期的不断推移和幼树的不断生长, 加之大气温度较高, 其耗水量不断增加, 消耗土壤水分较多, 因此土壤含水率不断下降. 从 7 月 17 日开始, 木薯快速生长期结束, 进入缓慢生长期, 最后进入休眠期, 其耗水量不断减小, 消耗土壤水分较少, 因此土壤含水率逐步回升. 由图也可知, 不同水量交替灌溉的处理 T4, T5 的土壤含水率呈明显交替变化的过程, 这是因为处理 T4, T5 不断地对 2 种灌水量进行交替, 其中一次的灌水量较少, 另一次灌水量较多, 因此图形中土壤含水率出现明显的上升和下降的过程.

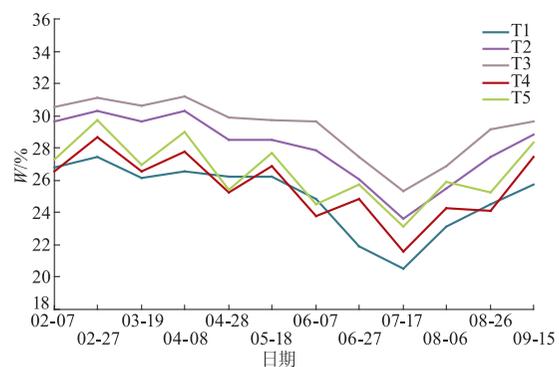


图 1 不同灌水处理下土壤含水率的动态变化

Fig. 1 Temporal variation of soil water content under different irrigation treatments

2.2 对木薯茎粗的影响

木薯茎粗 D 的变化如图 2 所示, 显著性分析表明, 水分处理对木薯茎粗的影响具有统计学意义. 数据分析表明, 处理 T3 和 T5 的木薯茎粗增量明显高于其他处理, 随着时间的推移这种趋势更加明显, 8 月 8 日以后差异均具有统计学意义. 处理 T5 平均茎粗较处理 T2 显著增加 7.5%. 处理 T5 较处理 T3 节水 33.3%, 但其茎粗并没有显著降低.

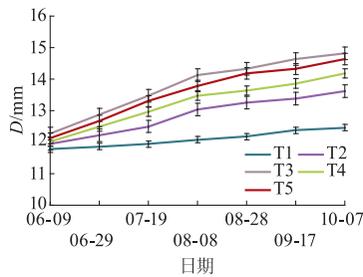


图2 不同灌水处理对木薯茎粗的影响
Fig.2 Effects of different irrigation treatments on stem diameter of *Cassava*

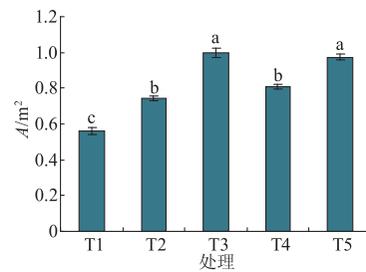


图4 不同灌水处理对木薯叶面积的影响
Fig.4 Effects of different irrigation treatments on leaf area of *Cassava*

2.3 对木薯根冠比和叶面积的影响

不同灌水处理对木薯根冠比 R/S 及叶面积 A 的影响如图3,4所示。由图3可知,随着灌水量的增加木薯的根冠比有所增加,但当灌水量增加到一定程度后根冠比反而会下降。由图4可知,随着灌水量的增加叶面积显著增加。不同水量交替灌溉具有促进根冠比和叶面积增加的作用。

由图3,4可知,与处理T2相比,处理T5的木薯根冠比显著增加7.2%,叶面积显著增加31.1%;与处理T3相比,处理T5节水33.3%,其根冠比显著增加了13.4%,但其叶面积下降3.0%。

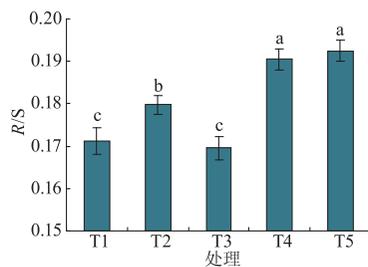


图3 不同灌水处理对木薯根冠比的影响
Fig.3 Effects of different irrigation treatments on root-shoot ratio of *Cassava*

2.4 对木薯干物质质量和水分利用效率的影响

表2为不同灌水处理对木薯干物质质量及水分利用效率的影响,其中 $m_{总}$ 为总干物质质量, $m_{根}$ 为根系干物质质量, $m_{冠}$ 为冠层干物质质量, y 为产量, ET 为总耗水量, WUE 为水分利用效率。由表可知,不同的灌水处理对木薯的干物质质量、产量和水分利用效率的影响均有所不同。处理T2, T3, T4和T5下木薯的各器官干物质累积量以及总干物质质量均显著高于处理T1。木薯的产量随着灌水量的增加而显著增加。不同水量交替灌溉的处理具有减小总耗水量,提高干物质质量、产量和水分利用效率的作用。数据分析表明,与处理T2相比,处理T5的总干物质质量、根系干物质质量、冠层干物质质量及水分利用效率分别显著提高20.3%, 19.3%, 20.1%和114.0%。与处理T3比较,处理T5节水33.3%,其冠层和总干物质质量下降不明显,而根系干物质质量、产量和水分利用效率分别显著增加11.2%, 13.3%和119.0%。综上所述,处理T5通过灌水量的变化模拟了干旱胁迫后的复水效应,其小桐子的生长、产量和水分利用效率均存在明显的补偿效应。

表2 不同灌水处理对木薯干物质质量及水分利用效率的影响

Tab.2 Effects of different irrigation treatments on dry matter and WUE of *Cassava*

水分处理	$m_{根}/g$	$m_{冠}/g$	$m_{总}/g$	$y/(kg \cdot hm^{-2})$	ET/mm	$WUE/(kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1})$
T1	24.7 ± 1.17d	141.7 ± 2.68d	166.4 ± 1.36d	12 769.7 ± 198.25d	127.0 ± 0.81e	100.6 ± 1.56c
T2	31.5 ± 0.80c	162.8 ± 2.74c	194.3 ± 3.48c	19 373.6 ± 179.07c	245.1 ± 0.74b	79.1 ± 0.73d
T3	33.9 ± 2.52b	200.7 ± 4.78a	234.6 ± 6.51a	28 127.3 ± 784.35b	364.0 ± 0.57a	77.3 ± 2.15d
T4	34.2 ± 1.02b	177.5 ± 4.46b	211.6 ± 5.43b	22 163.6 ± 331.16c	146.8 ± 0.63d	151.0 ± 1.77b
T5	37.6 ± 0.66a	196.1 ± 3.67a	233.7 ± 5.54a	31 866.7 ± 536.39a	188.2 ± 0.98c	169.3 ± 2.16a

3 讨论

3.1 对木薯根区土壤含水率的影响

土壤含水量对促进作物生长、提质和增产具有重要作用。灌溉后一段时期内土壤含水率的变化反

映了作物对土壤水分的吸收利用和消耗情况。文中研究表明,灌溉量相同时,与常规灌溉模式相比,不同水量交替灌溉的处理降低了木薯根区的土壤含水率,交替灌溉模式能够更好地促进木薯对土壤水分的吸收。与处理T2相比,处理T4的平均土壤含水率下降了7.5%;与处理T3相比,处理T5的平均

土壤含水率下降了 9.2% (见图 1). 这是由于作物旱后复水后的生长补偿效应,对根系吸水具有明显的促进作用^[12],研究中不同水量交替灌溉模式优化了水量的分配,并长期处于干旱-复水这种水分交替变化的环境中,对木薯生长和水分的利用均具有明显的补偿作用,刺激木薯根系能从根区土壤中吸收更多的土壤水分.因此处理 T4 和 T5 的土壤含水率均有所下降.

3.2 对木薯生长和干物质量的影响

叶面积和茎粗是表征作物生长发育状况的重要指标^[19],茎粗在作物生长发育过程中的增长量从侧面反映了作物在不同外部环境下的生长情况^[20],而叶面积的大小是反应作物光合特性和蒸腾耗水的直接表征因素^[21].文中试验表明,不同水量交替灌溉对木薯茎粗和叶面积有着不同的影响,长时间的干旱胁迫会使得木薯茎粗和叶面积显著降低,这是因为木薯为了维持自身生长和体内水分平衡,通过减缓生长速率,减少叶面积,提高根冠比,从而增强了其抗干旱胁迫的能力.与处理 T2 比较,不同水量交替灌溉的处理 T5 增加了木薯的干物质量、茎粗和叶面积,这是因为植物经历干旱复水后具有明显的补偿生长效应^[22],处理 T5 是对 10,30 mm 的灌水定额反复进行轮回交替灌溉,使得木薯根系长时间生长在干旱后复水的根区微环境中,具有反复刺激根系生长的作用,促进木薯根系增长,根密度增大,使得根系能够从根区有效范围内吸收更多的土壤水分,从而促进了木薯的干物质量、茎粗和叶面积增大,这与一些学者的研究结果^[23]一致.

3.3 对木薯耗水量、产量和水分利用效率

木薯作为一种生物能源作物,在水资源日趋紧缺和可再生能源日益受重视的背景下,其节水高产的种植模式已引起国内外很多学者的高度关注.较低或较高的灌水量均不利于木薯产量和水分利用效率的提高^[24].文中研究表明,与处理 T2 相比,不同水量交替灌溉的处理 T5 其总耗水量显著下降,而木薯的产量显著提高,因此木薯的水分利用效率显著增加(见表 2).其可能的原因是:① 由于处理 T5 的木薯根系长时间处于干旱-复水的交替变化环境中,过去的研究发现,这种灌溉方式对根系生长具有明显的刺激作用,从而促进根系较快生长^[18],这为根系获取土壤水分创造了更为有利的条件.灌水后,根系能从根区有效区域吸收更多的土壤水分供木薯利用.② 当植物处于干旱-复水的环境中,其生长和根系对水分的吸收均有明显的补偿

效应^[12].文中研究发现,不同水量交替灌溉的处理 T5 反复在作物根区土壤进行干旱-复水的过程,这种作用机制经过长时间和反复地进行,其生长和产量会产生超补偿效应^[22],因此干物质量和产量均显著增加(见表 2).③ 过去的研究也发现,不同水量交替灌溉的处理会促进作物含水率的明显增加,作物体内水分平衡的调控能力显著提高^[18].因此,与灌水量相同的处理 T2 相比,处理 T5 通过反复刺激根系较快生长以提高根系获取根区土壤水分的能力,促进干物质量和产量显著提高,同时植物体内的贮存水能力也显著增加,提高了灌水定额较低(10 mm)时木薯体内水分平衡的调控能力,加之,木薯总耗水量显著下降,因此,不同水量交替灌溉的处理 T5 促进木薯水分利用效率显著提高,这与一些研究结果^[15,18]保持一致.处理 T3 灌水量较高,在满足了木薯生长所需水量的同时,大量的水分却通过蒸散作用消耗掉,因此与处理 T3 相比,优化了水量分配的处理 T5 在节水 33.3% 的条件下,总耗水量显著下降,总干物质量并无显著下降,而产量显著增加 13.3%,因此水分利用效率显著提高 119.0% (见表 2).由此可见,不同水量交替灌溉的处理 T5,当灌水量较低时能够满足木薯最小的生命需水要求,当灌水量较高时,通过旱后复水的补偿效应机制,刺激根系较快生长,提高根系从土壤中获取水分的能力,不仅节约了灌溉用水量,而且不同水量交替灌溉模式具有促进产量和水分利用效率提高的作用.

4 结 论

1) 不同水量交替灌溉不断在木薯根区进行干旱-复水的补偿效应过程,对木薯根系生长有一定的刺激作用,显著提高根系的干物质量,促进木薯根系能够从土壤中获取更多的水分,使得根区土壤含水率下降.

2) 不同水量交替灌溉具有节约灌溉用水、增加产量和提高水分利用效率的明显效果.本试验条件下,采用 10 和 30 mm 的灌水量进行交替灌溉的处理能显著提高木薯的产量和水分利用效率.

参考文献 (References)

- [1] 方佳,濮文辉,张慧坚.国内外木薯产业发展近况[J].中国农学通报,2010,26(16):353-361.
FANG Jia, PU Wenhui, ZHANG Huijian. The develop-

- ment status of *Cassava* industry at home and abroad [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2010, 26 (16): 353 - 361. (in Chinese)
- [2] 田宜水,孙丽英,孟海波,等. 中国木薯燃料乙醇原料供需现状和预测[J]. 农业现代化研究, 2011, 32 (3): 340 - 343.
TIAN Yishui, SUN Liying, MENG Haibo, et al. Status and forecast of *Cassava* fuel ethanol feedstock demand and supply in China[J]. Research of agricultural modernization, 2011, 32(3): 340 - 343. (in Chinese)
- [3] 冯献,詹玲,李宁辉. 低碳经济下中国燃料乙醇的发展策略[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(6): 704 - 707.
FENG Xian, ZHAN Ling, LI Ninghui. Development strategy of fuel ethanol under the route of low carbon economy[J]. Research of agricultural modernization, 2010, 31(6): 704 - 707. (in Chinese)
- [4] TIAN Y S, ZHAO L X, MENG H B, et al. Estimation of un-used land potential for biofuel development in (the) People's Republic of China [J]. Applied energy, 2009, 86: 77 - 85.
- [5] 黄日波,陈东,王青艳,等. 木薯原料生产燃料乙醇[J]. 生物工程学报, 2010, 26(7): 888 - 891.
HUANG Ribo, CHEN Dong, WANG Qingyan, et al. Fuel ethanol production from cassava feedstock[J]. Chinese journal of biotechnology, 2010, 26(7): 888 - 891. (in Chinese)
- [6] NGUYEN H, SCHOENAU J J, NGUYEN D, et al. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam[J]. Journal of plant nutrition, 2002, 25(3): 425 - 442.
- [7] 张耀华,叶军,李定荣. 不同灌溉方式对木薯主要农艺性状的影响[J]. 广东农业科学, 2010, 37(2): 15 - 18.
ZHANG Yaohua, YE Jun, LI Dingrong. Influence of different irrigation on agronomic traits of *Cassava* [J]. Guangdong agricultural sciences, 2010, 37(2): 15 - 18. (in Chinese)
- [8] 张耀华,蒋建华,张远青,等. 不同灌溉处理对木薯农艺性状的影响[J]. 广东农业科学, 2010, 37(4): 26 - 29.
ZHANG Yaohua, JIANG Jianhua, ZHANG Yuanqing, et al. Influence of different moisture treatment on agronomic traits of *Cassava*[J]. Guangdong agricultural sciences, 2010, 37(4): 26 - 29. (in Chinese)
- [9] 郑厚贵,关意昭,张耀华,等. 不同灌水量对木薯需水量及产量的影响研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38 (1): 1 - 3.
ZHENG Hougui, GUAN Yizhao, ZHANG Yaohua, et al. Influence of different irrigation amount on water requirement and yield of *cassava*[J]. Guangdong agricultural sciences, 2011, 38(1): 1 - 3. (in Chinese)
- [10] 蒋建华,关意昭,陈亮勋,等. 不同水肥耦合水平对木薯水分利用效率的影响[J]. 南方园艺, 2012, 23 (4): 19 - 21.
JIANG Jianhua, GUAN Yizhao, CHEN Liangxun, et al. The influence of different water and fertilizer levels to the cassava's water use efficiency[J]. Guangxi horticulture, 2012, 23(4): 19 - 21. (in Chinese)
- [11] DAELLENBACHA G C, KERRIDGEA P C, WOLFEC M S, et al. Plant productivity in cassava-based mixed cropping systems in Colombian hillside farms[J]. Agriculture ecosystems and environment, 2004, 105(4): 595 - 614.
- [12] 郝树荣,郭相平,张展羽. 作物干旱胁迫及复水的补偿效应研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29 (1): 81 - 84.
HAO Shurong, GUO Xiangping, ZHANG Zhanyu. Research progress on compensatory effects of crops in drought stress and rehydration[J]. Advances in science and technology of water resources, 2009, 29(1): 81 - 84. (in Chinese)
- [13] 李平,齐学斌,樊向阳,等. 分根区交替灌溉对马铃薯水氮利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25 (6): 92 - 95.
LI Ping, QI Xuebin, FAN Xiangyang, et al. Effect of alternate partial root-zone irrigation on nitrogen and water use efficiency of potato [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 92 - 95. (in Chinese)
- [14] 刘水,李伏生,韦翔华,等. 分根区交替灌溉对玉米水分利用和土壤微生物量碳的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 71 - 78.
LIU Shui, LI Fusheng, WEI Xianghua, et al. Effects of alternate partial root-zone irrigation on maize water use and soil microbial biomass carbon[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(8): 71 - 78. (in Chinese)
- [15] 杨启良,陈金陵,赵馥,等. 盐胁迫条件下不同水量交替灌溉对小桐子生长和水分利用的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(9): 802 - 810.
YANG Qiliang, CHEN Jinling, ZHAO Yu, et al. Effects of alternative irrigation on growth and water use for *Jatropha curcas* L. under salt stress condition [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2015, 33(9): 802 - 810. (in Chinese)
- [16] 杜太生,康绍忠,胡笑涛,等. 根系分区交替滴灌对棉花产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1955 - 1962.

- 2005,38(10): 2061-2068.
- DU Taisheng, KANG Shaozhong, HU Xiaotao, et al. Effect of alternate partial root-zone drip irrigation on yield and water use efficiency of cotton[J]. *Scientia agricultura sinica*,2005,38(10): 2061-2068. (in Chinese)
- [17] 李志军,张富仓,康绍忠. 控制性根系分区交替灌溉对冬小麦水分与养分利用的影响[J]. *农业工程学报*,2005,21(8): 17-21.
- LI Zhijun, ZHANG Fucang, KANG Shaozhong. Impacts of the controlled roots-divided alternative irrigation on water and nutrient use of winter wheat[J]. *Transactions of the CSAE*,2005,21(8): 17-21. (in Chinese)
- [18] 杨启良,孙英杰,齐亚峰,等. 不同水量交替灌溉对小桐子生长调控与水分利用的影响[J]. *农业工程学报*,2012,28(18): 121-126.
- YANG Qiliang, SUN Yingjie, QI Yafeng, et al. Effects of alternated different irrigation amount modes on growth regulation and water use of *Jatropha curcas* L. [J]. *Transactions of the CSAE*,2012,28(18): 121-126. (in Chinese)
- [19] 张彦,刘小刚,张富仓,等. 交替灌溉条件下水氮供给对番茄生长及水分利用的影响[J]. *干旱地区农业研究*,2013,31(1): 71-75.
- ZHANG Yan, LIU Xiaogang, ZHANG Fucang, et al. Effects of water and nitrogen supply on growth and water use of tomato under controlled root-divided alternative irrigation[J]. *Agricultural research in the arid areas*, 2013,31(1): 71-75. (in Chinese)
- [20] 岑忠用,罗兴录,苏江,等. 生物有机肥对木薯生长和块根产量的影响[J]. *土壤肥料科学*,2006,22(11): 202-206.
- CEN Zhongyong, LUO Xinglu, SU Jiang, et al. The effects of bio-organic fertilizer on plants growth and root tubers yield of *cassava*[J]. *Chinese agricultural sciences bulletin*,2006,22(11): 202-206. (in Chinese)
- [21] 邢英英,张富仓,王秀康. 不同生育期水分亏缺灌溉和氮营养对玉米生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*,2010,28(6): 1-6.
- XING Yingying, ZHANG Fucang, WANG Xiukang. Effects of water deficit irrigation at different growth stages and nitrogen nutrition on the growth of maize[J]. *Agricultural research in the arid areas*,2010,28(6): 1-6. (in Chinese)
- [22] 胡田田,康绍忠. 植物抗旱性中的补偿效应及其在农业节水中的应用[J]. *生态学报*,2005,25(4): 885-891.
- HU Tiantian, KANG Shaozhong. The compensatory effect in drought resistance of plants and its application in water-saving agriculture[J]. *Acta ecologica sinica*, 2005,25(4): 885-891. (in Chinese)
- [23] 李毅杰,原保忠,别之龙,等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2012,28(6): 132-138.
- LI Yijie, YUAN Baozhong, BIE Zhilong, et al. Effects of drip irrigation threshold on yield and quality of muskmelon in plastic greenhouse [J]. *Transactions of the CSAE*,2012,28(6): 132-138. (in Chinese)
- [24] 蒋建华,关意昭. 水肥耦合效应对木薯产量的影响[J]. *广东农业科学*,2012,39(11): 75-76.
- JIANG Jianhua, GUAN Yizhao. Influence of water and fertilizer coupling effect to *cassava* yield[J]. *Guangdong agricultural sciences*,2012,39(11): 75-76. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)