

不同滴头流量下土壤水分分布特性研究

王华震^{1,2}, 仵峰^{1,2*}

(1. 华北水利水电大学水利学院, 河南郑州 450045; 2. 河南省节水农业重点实验室, 河南郑州 450046)

摘要 [目的]通过进行原状土的滴灌入渗试验,研究了不同流量、不同灌水历时条件下,地表滴灌湿润体的变化规律及滴灌结束时的水分分布规律。[方法]采用湿润锋观测、suffer软件绘等值线。[结果]在滴头处和距滴头10 cm处垂直滴灌带方向水平湿润锋在0~180 min内呈现幂指数增长关系,在180~600 min与时间呈直线关系;在竖直湿润锋方面,随着滴头流量的增大,滴头处和距滴头10 cm处水平湿润锋运移距离增大的幅度比竖直方向湿润锋运移距离增大的幅度要大,并且都呈对数函数趋势;灌水结束24 h时水分再分布过程中,竖直方向湿润锋增大的幅度较水平方向湿润锋增大的幅度要大。[结论]不同流量、不同灌水历时条件下都会影响湿润体形态。

关键词 滴灌流量;湿润锋;湿润体

中图分类号 S275.6 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)08-075-04

Different Dripper Flow Study on Soil Moisture Distribution Characteristics

WANG Hua-zhen^{1,2}, WU Feng^{1,2*} (1. College of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, Henan 450045; 2. Laboratory of Water-saving Agriculture in Henan Province, Zhengzhou, Henan 450046)

Abstract [Objective] Through drip irrigation infiltration tests of undisturbed soil, the effects of different flow and different irrigation duration on the variation of moist body and the moist distribution at the end were studied. [Method] Observations using the wetting front and suffer contouring software were adopted. [Result] In the office and away from the dropper vertically emitter drip tape horizontally at the wetting front 10 cm presented a power of growth in 0-180 min, and a linear relationship in 180-600 min. In terms of vertical wetting front, with the increase of dripper flow, the increase of the magnitude at dripper department and at 10 cm from the emitter level wetting front distance of the horizontal direction was larger than that of the wetting front distance of the vertical direction, and presented the trend of logarithmic functions. At the end of the irrigation water redistribution process after 24 h, the increase of the magnitude of wetting front of vertical direction was larger than that of the horizontal direction. [Conclusion] Different flow and different irrigation duration would affect the moist body morphology.

Key words Drip flow; Wetting front; Moist body

近些年来,许多学者对滴灌条件下水分在土壤中的入渗规律以及土壤湿润体的影响因素进行了研究。湿润体的变化与湿润锋的运移、滴头流量的不同以及灌水量息息相关。不同的滴头流量对湿润锋的运动有很大的影响。孙海燕等^[1]研究表明,滴头流量对湿润锋水平运移影响很大,随着滴头流量的增加,在滴头下方会形成一个积水区。李明思等^[2]研究表明,地表积水区的变化对土壤湿润锋水平运移有控制作用。在大田滴灌条件下,地表沿滴头土壤湿润锋基本呈圆形分布。在一定灌水量和滴灌流量条件下,土壤垂直湿润锋明显地大于水平湿润锋,且随着灌水量的增加呈线性关系^[3]。王超等^[4]通过室内试验,研究了地下滴灌条件下不同滴头流量不同灌水量对湿润体特性的影响。结果表明,湿润锋运移与滴头流量的时间变化呈正相关。灌水量是影响湿润体的因素之一。张振华等^[5]研究表明,湿润体体积和灌水量之间存在显著的线性关系。另外,湿润体形状和大小受灌水量的影响,而且受滴头流量的影响^[7]。魏群等^[8]研究发现,地表滴灌入渗湿润体的水平扩散半径、向下入渗深度均随流量的增大而增大,且均与入渗时间有显著的幂函数关系。在作物生长方面,滴头流量的变化对湿润体大小和形状的影响很大,进而影响作物根系生长和产量^[9]。

许多学者对水分再分布过程进行了研究。刘雪芹等^[10]

研究表明,供水停止后,在土壤水分再分布过程中,土壤湿润峰面不断向外部推移,湿润层土壤含水量开始有所增加,后期湿润体内的土壤含水量普遍降低,高含水区逐渐下移,最后达到相对稳定。有研究表明,在灌水结束后,由于土壤水分再分布,同一深度土层上含水率差异逐渐减小;在灌水量相同的条件下,灌水结束时,滴头流量小的入渗深度较大,湿润体内土壤平均含水率较低;灌水结束后,受土壤水分再分配的作用,不同滴头流量下入渗深度的差异较灌水结束时有所减小^[11]。

目前,人们对滴头流量和湿润锋、灌水量、滴头流量和湿润体、水分再分布等之间的关系做了大量的研究,但较多研究的是在室内土箱条件下进行的,但对大田滴灌条件下滴头处地表湿润锋的变化、不同流量下湿润锋的形状及湿润体的水分再分布的研究很少见于报道。实际上,田间土壤存在着很大的变异性。研究和分析田间滴灌不同滴头流量、滴灌量条件下土壤水分沿纵、横方向运移特性、土壤含水量的分布规律以及供水结束后水分的再分布过程,对于合理地确定滴头间距、毛管间距及作物种植模式等有重要的理论和实际意义。笔者在大田对不同滴头流量、不同灌水量以及供水结束后24 h水分的再分布过程的土壤水分运移特征进行了初步研究,以期为大田滴灌管理提供理论和技术指导。

1 材料与方法

1.1 供试土壤 试验于2014年6~8月在华北水利水电大学农水试验场进行。土壤属于粉壤黏土,为再填土,上下层土质均匀,取土层深0~100 cm。供试土壤机械组成:质地粉壤黏土,0.020~2.000 mm 22.22%,0.002~0.020 mm 53.89%,<0.002 mm 23.89%。供试土壤孔隙率38.36%,干

基金项目 国家863计划课题(2011AA100507);华北水利水电大学高层次人才科研启动经费资助项目。

作者简介 王华震(1987-),男,河南台前人,硕士研究生,研究方向:节水灌溉理论。*通讯作者,教授,从事节水灌溉技术及相关理论研究。

收稿日期 2015-01-26

容重 1.45 g/cm^3 , 田间持水率 21.3%, 饱和含水率 27.23%, 初始含水率 9.39%。

1.2 试验布置 场内布置滴灌设施。滴灌带采用滴头流量为 1.1 L/h , 滴头间距 40 cm 。在试验区内挖深 1.0 m 以及长、宽均为 1.6 m 的土坑, 竖直面作为观测面, 将观测面修整光滑、平齐, 将滴头布置在距观测边缘 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 处。试验布置见图 1。为研究方便, 根据湿润体对称的特性, 取湿润体的一半作为研究对象。

试验由试验场灌水装置、压力表、 $\Phi 16$ 的 PE 管和 3 种不同流量的滴管带组成。试验采用折叠式滴灌带的方法设计 3 种不同滴头流量的滴灌带, 设计流量分别为 1.1 、 2.2 和 3.3 L/h 。由于存在水头损失, 实际观测的流量值与设计值存在一些误差。在测坑中每种设计流量条件下用 4 个流量杯复核设计流量值, 并且验算其准确度, 从而保证试验的可靠性。

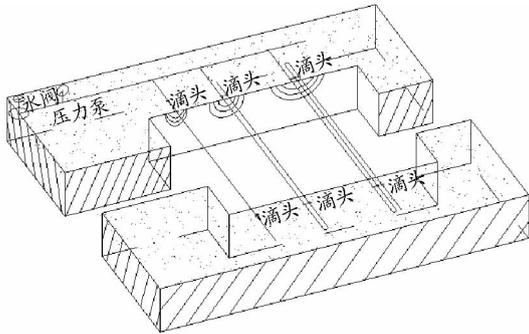


图 1 试验布置示意

1.3 试验方法 在供水开始时, 按照先疏后密的原则观测不同滴头流量在土壤表面的湿润距离, 用牙签标记湿润锋

的位置, 用钢卷尺量测土壤表面湿润锋扩散的距离。另外, 用秒表计时, 并且按照 60 min 的时间间隔在竖直观测面上定时观测沿滴灌带方向距离滴头 10 cm 处的土壤湿润体的水平扩散距离和垂直入渗距离, 同时在竖直观测面湿润锋上插牙签 (不少于 5 个), 用于观测每个时间段湿润锋的运移情况, 以滴头所在位置为坐标原点, 用钢卷尺在观测面测量每个牙签处的纵横坐标, 将坐标值输入 Excel 中点, 绘出湿润锋曲线。

在灌水结束 24 h 后, 用 1 cm 自制取土管在距离滴头 10 cm 的竖直观测剖面上取土, 根据滴灌形成的湿润体为旋转对称体, 所以只取一侧。以滴灌带所在位置为坐标原点, 在土管水平和垂直方向取土间距为 10 cm , 按“一字型”排列, 一直取到湿润锋偏外的位置。取样后, 用烘干法测量土壤含水率。取土位置示意图如图 2 所示。

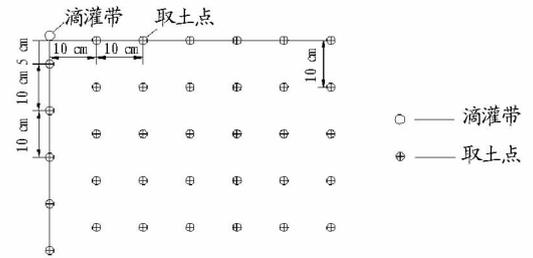


图 2 取土点示意图

2 结果与分析

2.1 滴头流量值核定 为了保证灌水的均匀性, 试验采用在测坑中放置 3 个流量杯, 验证 3 种设计流量的准确度, 从而保证试验的准确度和说服力。滴头流量的实测值见表 1。经计算, 滴灌带灌水均匀度较好, 符合试验要求。

表 1 3 种滴头流量的实测值

滴管带布设方式	流量值									L/h
	均值									
单根管	1.15	1.15	1.15	1.02	1.12	1.02	1.01	1.15	1.15	1.10
两根管	2.28	2.24	2.25	2.00	1.97	1.97	1.89	1.87	1.87	2.04
三根管	3.18	3.20	3.16	3.26	3.09	3.10	3.08	3.18	3.16	3.16

2.2 湿润锋水平迁移情况

2.2.1 地表湿润锋水平迁移情况。 滴灌入渗的地表湿润距离是湿润体的重要特征值。掌握特定土壤条件下不同滴头流量入渗过程中土壤湿润体特征值与入渗时间的关系, 对毛管田间布置和作物种植间距具有重要的意义。以 2.04 L/h 为例, 图 3 和图 4 分别反映流量 2.04 L/h 滴灌条件下垂直滴头方向上土壤表层湿润锋随时间的分布规律以及沿滴灌带方向距离滴头 10 cm 处土壤表层水平湿润锋随时间变化的扩散过程。在 $0 \sim 180 \text{ min}$ 内滴头处和距滴头 10 cm 处水平湿润锋运移速度较快, 通过曲线拟合, 两者增长趋势呈幂指数函数方式增长。在供水开始后, 前期滴头处和距滴头 10 cm 处最大距离约相差 15 cm , 随着时间的延长两者湿润距离相差越来越小, 在 180 min 时两者湿润距离约相差 5 cm 。在供水的 $180 \sim 600 \text{ min}$ 时间内, 距离滴头 10 cm 处的水平湿润锋运移速率大于垂直滴头处的水平湿润锋运移速率, 垂直滴

头处的水平湿润锋的运移距离基本上变化不太明显, 呈平缓的直线趋势发展, 而距离滴头 10 cm 处水平湿润锋运移规律呈斜直线型, 到 600 min 时两者湿润距离大致相等。

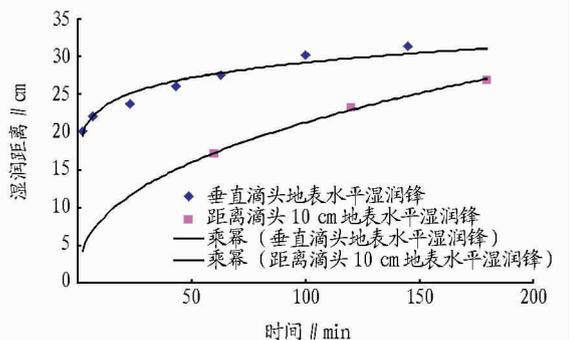


图 3 $0 \sim 180 \text{ min}$ 地表湿润锋运移过程

利用对数关系对地表和距滴头 10 cm 剖面边缘处水平湿润锋扩散距离的变化试验数据分析拟合。由表 2 可知, 拟

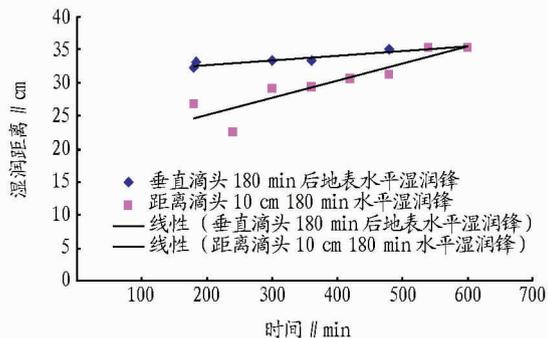


图4 垂直滴头 10 cm 处 0 ~ 180 min 地表湿润锋迁移过程

合值与实测值吻合较好。

表2 地表湿润锋迁移的拟合方程(滴头流量 2.04 L/h)

滴头流量//min	处理	回归方程	相关系数
0 ~ 180	垂直滴头处	$S(t) = 18.098t^{0.1038}$	0.954 3
	距离滴头 10 cm	$S(t) = 3.171 8t^{0.413}$	0.995 9
180 ~ 600	垂直滴头处	$S(t) = 0.006 9t + 31.362$	0.838 4
	距离滴头 10 cm	$S(t) = 0.026 3t + 19.775$	0.811 7

2.2.2 观测剖面湿润锋水平迁移情况。为防止滴头滴出的水溢到竖直观测面上影响试验结果,将滴头放到距竖直观测面 10 cm 处,并且观测湿润锋的迁移情况,但是人们真正关心的是水分从滴头位置流出来以后水分的迁移规律。这能更好地为人们的田间布置和水分管理提供更准确的参考数据。以 1.1 和 2.04 L/h 为例,图 5 和图 6 分别反映不同滴头流量因滴头放置位置的不同湿润锋的迁移情况的变化过程。在水平湿润锋分析的情况说明两者的变化趋势具有大致相同的运动规律。这与滴头放在地表的湿润锋变化趋势是相同的。通过分析 1.1 和 2.04 L/h 2 种滴头流量的水平湿润锋从整体的变化趋势用对数函数函数拟合,吻合度都在 98% 以上。如果把时间段分开说明,那么前期趋势线呈幂函数的趋势发展,然后呈直线型稳定的趋势。这与地表湿润锋变化规律是相同的。在竖直方向上,1.1 L/h 情况下 2 种滴头放置位置不同,滴头流量水分运移都呈幂指数函数趋势,随着流量的增大,2.04 L/h 情况下 2 种滴头放置位置不同滴头流量随时间呈对数函数趋势。分析整理距滴头 10 cm 处和换

算后的滴头处湿润锋迁移变化过程,结果表明不同滴头流量条件下距滴头 10 cm 处的水分运移规律和滴头处的水分运移规律是相似的。

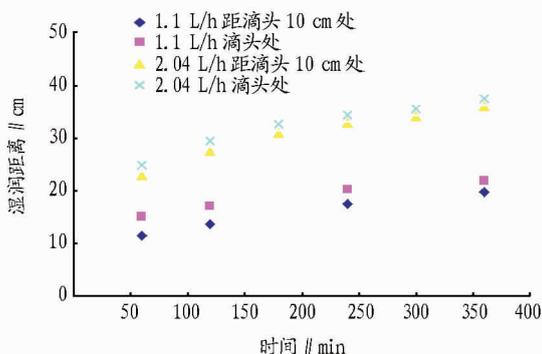


图5 1.1,2.04 L/h 距滴头 10 cm 和滴头处水平湿润锋随时间变化过程

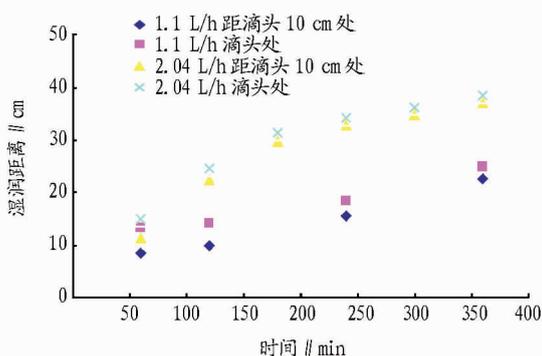


图6 1.1,2.04 L/h 距滴头 10 cm 和滴头处竖直湿润锋随时间变化过程

滴灌土壤湿润体大小由水平和垂直入渗距离确定。掌握湿润体大小的变化规律,是正确进行滴灌田间布置和水分管理的重要依据。经过 6 h 且点源入渗,观测距滴头 10 cm 处不同滴头流量在水平和竖直方向上湿润锋的运移随时间变化的规律,计算且分析出滴头处的水分随时间运移规律,对大田滴灌湿润体的研究提供更准确的参考依据(表 3),并且对指导农业生产具有较大的实际意义。

表3 1.1,2.04 L/h 距滴头 10 cm 和滴头处湿润锋随时间的变化规律

滴头流量//L/h		距滴头 10 cm 处		滴头处	
		$R(t)$	$H(t)$	$R(t)$	$H(t)$
1.1	回归方程	$R(t) = 4.63\ln(t) - 7.9$	$H(t) = 6.89e^{0.0033t}$	$R(t) = 3.86\ln(t) - 0.97$	$H(t) = 11.21e^{0.0022t}$
	相关系数	0.987 5	0.996 6	0.982 8	0.988 8
2.04	回归方程	$R(t) = 7.24\ln(t) - 6.9$	$H(t) = 14.56\ln(t) - 47.56$	$R(t) = 6.84\ln(t) - 3.78$	$H(t) = 13.21\ln(t) - 38.57$
	相关系数	0.996 9	0.988 6	0.996 7	0.992

2.3 湿润体的水分分布变化过程 在滴灌过程中,由于稳定的水源供给,湿润体内的土壤含水量普遍较高。当滴灌停止后,土壤水分在自身重力、吸力梯度的作用下继续向外扩散运动,也就是土壤水分的再分布。在土壤水分再分布过程中,土壤湿润锋面不断向外推移,通过观测发现停止供水 24 h 后土壤水分扩散已极为缓慢,观测面湿润锋几乎不再扩展,形成一个比原来大的湿润体,水分再分布形成的湿润体的特

征值对指导毛管田间布置和水分管理具有重要的实用性。现以 2.2 L/h 形成的湿润体为例,灌水结束 24 h 后水平湿润锋距离达到 38 cm,比灌溉停止时增加了 6.8 cm,增加幅度为 17.9%,垂直深度达到 44 cm,比灌水停止时增加了 8.3 cm,增加幅度为 18.9%,垂直方向大于水平方向。这是因为在水分再分布过程中,重力势作用要大于基质势作用,导致垂直方向增大的幅度较水平方向增大的幅度要大。在灌水结束 24 h 后,

用自制取土管,在规划好的木板格内取土,并且用烘干法烘干。利用 SUFFER 软件,对各个位置的含水率(图7)分析。

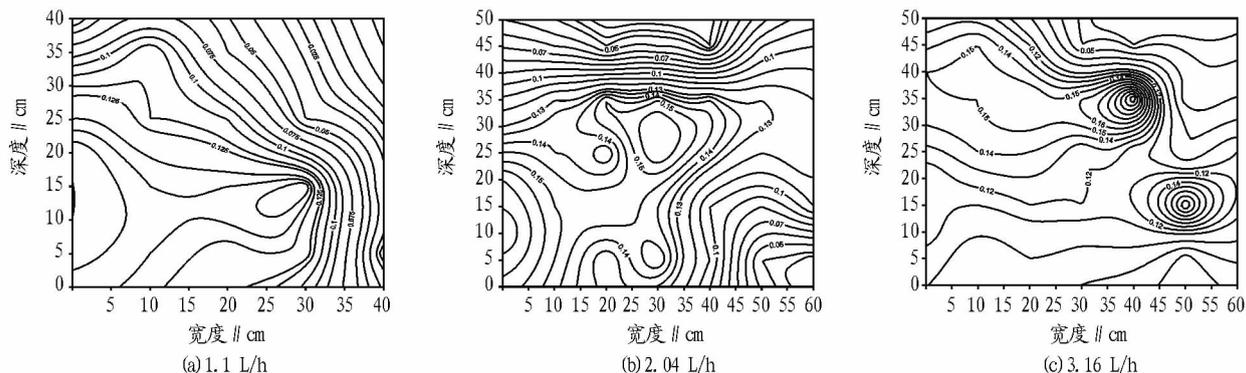


图7 不同滴头流量灌水结束24 h水分分布情况

3 结论

(1)当滴灌供水的0~180 min内垂直滴头方向上土壤表层水平湿润锋大于沿滴灌带方向距离滴头10 cm处土壤表层水平湿润锋的运移距离,并且呈现幂指数函数趋势,随着灌水时间的延长,在180~600 min内两者水平湿润锋运移距离差别并不明显,两者呈直线趋势发展。

(2)在竖直观测剖面上,在同一灌水历时条件下,在水平湿润锋方面,随着滴头流量的增加,滴头处和距滴头10 cm处水平湿润锋运移距离增大的幅度比垂直方向湿润锋运移距离增大的幅度要大,并且都呈对数函数趋势;在竖直湿润锋方面,1.1 L/h条件下滴头处和距滴头10 cm处湿润锋呈幂指数增长,随着流量的增加,2.04 L/h两者都呈对数函数增长。

(3)在灌水结束24 h时水分再分布过程中,重力势的作用要大于基质势的作用,导致竖直方向湿润锋增大的幅度较水平方向湿润锋增大的幅度要大。

参考文献

- [1] 孙海燕,李明思,王振华,等.滴灌点源入渗湿润锋影响因子的研究[J].灌溉排水学报,2004(3):14-16,27.
- [2] 李明思,康绍忠,孙海燕.点源滴灌滴头流量与湿润体关系研究[J].农业工程学报,2006,22(4):32-35.
- [3] 贾运岗,张富仓,李培岭.大田滴灌条件下土壤水分运移规律的试验研究[J].灌溉排水学报,2007(6):15-18.
- [4] 王超,李援农.地下滴灌条件下湿润体特性的试验研究[J].中国农村水利水电,2011(3):38-40.
- [5] 张振华,蔡焕杰,郭永昌,等.滴灌土壤湿润体影响因素的实验研究[J].农业工程学报,2002,18(2):17-20.
- [6] 张振华,蔡焕杰,杨润亚.地表滴灌土壤湿润体特征值的经验解[J].土壤学报,2004,41(6):870-875.
- [7] SINGH LUBANA P P, NARDA N K. Modelling soil water dynamics under trickle emitters—a review [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 78(3): 217-232.
- [8] 魏群,费良军.地表滴灌点源入渗土壤水分运动的模拟研究[J].广东水利水电,2012(Z1):7-10.
- [9] 李明思,孙海燕,谢云,等.滴头流量对土壤湿润体的影响研究[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5/6):420-422.
- [10] 刘雪芹,范兴科,马甜.滴灌条件下砂壤土水分运动规律研究[J].灌溉排水学报,2006(3):56-59.
- [11] 张林,吴普特,朱德兰,等.多点源滴灌条件下土壤水分运移模拟试验研究[J].排灌机械工程学,2012,30(2):237-243.
- [12] 薛丽,谌小维,樊宏孝,等.冰片对长时连续作业大鼠前额叶皮层单胺类递质水平的影响[J].第三军医大学学报,2006,28(18):1867-1869.
- [13] 谭锐权,陈庆之.直接催化水合法合成龙脑[J].林产化学与工业,1988,8(3):4-8.
- [14] 陈玉湘.一步法合成正龙脑的反应机理及主要影响因素[J].湖南林业科技,2002,29(2):28-29.
- [15] 刘永根,邓志红,杨义文,等.合成外型龙脑的新方法[J].江西师范大学学报:自然科学版,2004,28(3):193-195.
- [16] 陈慧宗,刘显亮,徐景士,等. $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ 固体超强酸催化合成冰片的研究[J].江西师范大学学报:自然科学版,2002,26(4):363-365.
- [17] 陈慧宗,刘永根,杨义文,等.龙脑合成方法的改进[J].应用化学,2005,22(5):563-565.
- [18] 赵鹏,王宁辉,曾明荣,等.碱金属/THF体系不对称还原樟脑制备右旋龙脑[J].华侨大学学报:自然科学版,2010,31(6):671-673.
- [19] 陈尚和,江美玉,黄兴.硼钛基复合催化剂在合成龙脑生产中的应用[J].生物质化学工程,2010,44(3):36-39.
- [20] 刘福生.合成冰片研究[J].精细化工,1994,11(5):45-49.
- [21] 张麟华,陈庆之.龙脑化学发展[J].有机化学,1984(2):85-86.
- [22] 杜迎春,郭金宝.负载杂多酸催化剂的表征及催化合成乙酸正丁酯的研究[J].石油炼制与化工,2007,38(7):34-39.

(上接第12页)

脑,可以确定它们各自的最佳反应条件,其中以硅钨酸/ TiO_2 为催化剂反应最佳条件为:催化剂负载量25%,反应温度80℃,反应时间6 h。以硫酸铜/ TiO_2 为催化剂反应最佳条件为:催化剂负载量30%,反应温度80℃,反应时间6 h。以氧化镧/ TiO_2 为催化剂反应最佳条件为:催化剂负载量15%,反应温度80℃,反应时间5 h。

参考文献

- [1] 赵振东,刘先章.松节油的精细化学利用(II)—松节油合成日化香料(上)[J].生物质化学工程,2001,35(2):41-46.
- [2] 白云.从松节油制得的食用香料概况[J].中国食品添加剂,2006(4):133-135.
- [3] RENE E G, ERICA L C, GRAHAM A R J. (+) - And (-) - bomeol: efficacious positive modulators of GABA action at human recombinant $\alpha 1\beta 2\gamma 2$ L GABA(A) receptors [J]. Biochemical Pharmacology, 2005, 69(7):1101-1111.
- [4] 范晓丹,丘泰球,苏健裕.龙脑制备方法及其药理药效研究进展[J].林产化学与工业,2011,31(5):123-126.