

# 分区交替灌溉对梨生长结果及水分利用效率的影响

程福厚, 赵志军, 张纪英, 宋慧月, 田春雨

(河北工程大学农学院, 河北 邯郸 056001)

**摘要:** 为探讨半干旱地区农业节水的途径, 以黄冠梨为试材, 研究了分区交替灌溉对梨营养生长、结果和水分利用的影响。结果表明: 采用 1/2 量分区交替灌溉较全量常规灌溉, 光合速率稍有降低, 但气孔导度和蒸腾速率显著降低, 因此水分利用效率显著提高。在盆栽试验中灌水量为 1/3 量分区交替灌溉光合速率则受到显著影响, 1/2 量分区交替灌溉处理的枝梢和根系生长量显著大于 1/3 量分区交替灌溉, 秋季复水后, 以 1/2 量和 1/3 量分区交替灌溉处理新发生的侧根和须根较多。在田间试验不同灌溉处理中, 1/2 量分区交替灌溉对产量品质无显著影响, 灌溉水和降雨总水分利用效率最高, 较全量常规灌溉提高了 22.9%。

**关键词:** 梨; 交替灌溉; 产量; 水分利用效率

**中图分类号:** S661.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0130-04

水资源紧缺是制约我国国民经济可持续发展的瓶颈。农业是我国的用水大户, 农田灌溉用水量占农业用水量的 90%<sup>[1]</sup>。华北是典型的井灌农业区, 降水在时空上分布严重不均, 因此补充灌溉是果树丰产稳产的重要措施。但目前生产中, 多数按照“丰水高产”的理论采用大水漫灌、多次灌溉, 造成树冠营养生长旺盛, 果实品质下降, 且严重降低了水分利用效率。控制性分区交替灌溉技术在多种农作物及果树中的应用越来越引起重视<sup>[2~6]</sup>。在葡萄<sup>[4]</sup>、棉花<sup>[6]</sup>等中取得了一定的效果, 产量没有下降, 品质显著提高, 营养生长受到抑制, 从而减少了夏季修剪量, 水分利用效率明显提高。目前国内外有关分区交替灌溉的研究都是采用滴灌方式<sup>[4, 6]</sup>, 通过不同畦灌措施对梨生长、结果及水分利用的影响还未见报道。从果树需水规律与其在不同阶段的耗水特征出发, 采用传统的畦灌技术以盆栽和田间黄冠梨为材料研究在分区交替灌溉条件下对黄冠梨生长、结果、光合作用及水分利用效率等方面的影响, 以期为在果树上实施节水灌溉、最大程度地利用天然降雨提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况与材料

试验于 2004~2005 年在河北工程大学教学科研基地及周边果园进行, 该基地位于河北省永年县。该区属半干旱大陆季风气候, 多年平均降水量为

503.5 mm, 其中 7~9 月降水占全年降水量的 62.3%, 年太阳辐射总量为 5 200 MJ/m<sup>2</sup>。2004~2005 年的降雨量见图 1。田间土壤质地为砂壤土, 土壤容重 1.32 g/cm<sup>3</sup>, 田间持水率 19.1%, 有机质含量 1.2%, 土壤 pH 值约为 7.3。灌溉水源为地下水。盆栽试验采用内径 40 cm, 高 25 cm 的瓦盆, 培养基质采用草炭土:河沙:壤土为 3:1:1 的比例配置而成。有机质含量为 12.7%, 土壤容重 1.14 g/cm<sup>3</sup>, 田间持水率 24.1%, 土壤 pH 值为 6.6。田间试验为 18 年生盛果期树, 盆栽试验用 2 a 生幼树。试验品种为黄冠梨, 砧木为杜梨。

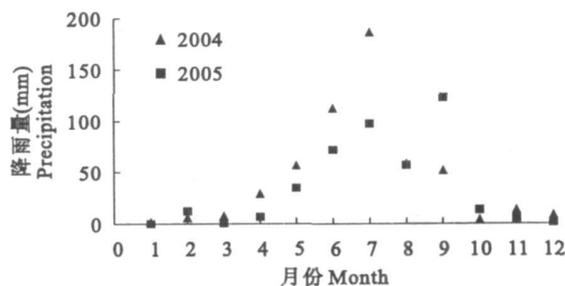


图 1 试验期间的降雨量(mm)

Fig. 1 Precipitation during experiment period in 2004 and 2005

### 1.2 试验设计

盆栽试验分为 3 个处理: 在避雨棚中进行, 每隔 7 天进行一次灌水, 全部实行定量灌溉, 灌溉量根据皿蒸发量确定。3 月 22 日定植后至缓苗期各处理均进行充分灌溉, 从 5 月 11 日起至 10 月 15 日进行如下处理: (1) 全量常规灌溉(CI), 即按 100% 的皿

收稿日期: 2006-09-15

基金项目: 河北省科技攻关计划指导项目(04230214)

作者简介: 程福厚(1964-), 男, 河北河间人, 教授, 硕士, 主要从事果树节水栽培技术研究。

蒸发量灌溉; (2) 1/2 量分区交替灌溉(1/2AI); (3) 1/3 量分区交替灌溉(1/3AI)。为防止盆体及土壤表面蒸发,每株连同盆体至主干基部用塑料袋捆绑严密,为减小气温对材料的影响,将盆埋于地下。单株小区,重复6次。10月15日落叶后,浇灌透水。

田间试验分为3个处理,3株为小区,每12株为区组,4次重复,设保护行和保护株。用水表控制灌水量。处理分为:(1)全量常规灌溉(CI),按照每次 $500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 进行灌溉;(2)1/2量分区交替灌溉(1/2AI),按照每次 $250\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 水量分区进行交替灌溉;(3)1/3量分区交替灌溉(1/3AI),即按照每次 $166.7\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的水量分区交替灌溉。根系集中分布区灌水下限控制在土壤相对含水量的50%。生长季灌水3次,分别在萌芽期(3月15日)、落花后(5月10日)、果实开始膨大期(6月20日),在果实膨大后期因降雨已达到土壤水分含量要求所以未进行灌溉。为了减少地面蒸发,最大程度利用天然降水,减少地面径流,对灌溉树盘进行覆盖,覆草厚度为20 cm。

### 1.3 研究方法

用烘干法监控土壤相对含水量的变化。生长季用 CIRAS-2 便携式光合系统(英国, PP SYSTEMS)在设定 $\text{CO}_2$ 浓度为 $360\text{ }\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,二极管光源设定为“光强”或“自然光强”下测定叶片的净光

合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )等参数。叶片蒸腾效率(WUE)用光合速率和蒸腾速率的比值( $P_n/T_r$ )来表示。每单株选取外围生长枝中部发育成熟的6个叶片挂牌进行测定。盆栽试验中翌春发芽前调查新梢生长量、植株干鲜重、根量、发生生长根量、平均根长,并用游标卡尺测量干周的增长量。田间试验中在果实成熟期调查产量,并用糖量计测定果实可溶性固形物的含量。用 DPS 数据处理系统分析处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌溉对盆栽梨营养生长的影响

从表1看出:以全量常规灌溉和1/2量分区交替灌溉的全株干重、湿重、根量、根长、新梢总长、干周增长量均大于1/3量分区交替灌溉,表现出旺盛的生活力。全量常规灌溉与1/2量分区交替灌溉相比未表现出显著的差异。1/3量分区交替灌溉由于灌水量小,每次灌水均湿润上部,显著抑制了植株地上部的营养生长,有限的水分优先供给根系的发育,导致其根冠比增大,因为部分根系长期得不到水分,促进了根的木栓化,致使全树总根量下降。但从秋季复水后的树体反应看,以全量常规灌溉发生的生长根量显著减少,表明其复水后补偿生长的能力最差。以1/2量和1/3量分区交替灌溉发生的生长根显著增多,补偿生长现象显著。

表1 不同灌水方式下盆栽梨的营养生长量

Table 1 Effect of irrigation mode on the vegetative growth amounts in potted pear

处理 Treatments	全株湿重 Wet weight of whole plant (g)	全株干重 Dry weight of whole plant (g)	直径> 1 mm 根数 Diameter>1mm root number	平均根长 Average length of root (cm)	新梢总长 Gross length of shoot (cm)	干周增长 Trunk-circumference increase (cm)	根冠比 Root-top ratio	生长根量 Growth root number
CI	702.2 <sub>a</sub>	323.6 <sub>a</sub>	81.46 <sub>a</sub>	36.5 <sub>a</sub>	282.6 <sub>a</sub>	3.65 <sub>a</sub>	0.94 <sub>a</sub>	22 <sub>b</sub>
1/2AI	575.4 <sub>a</sub>	295.0 <sub>a</sub>	68.8 <sub>ab</sub>	34.2 <sub>a</sub>	254.6 <sub>a</sub>	3.30 <sub>a</sub>	1.01 <sub>a</sub>	62 <sub>a</sub>
1/3AI	529.2 <sub>b</sub>	268.6 <sub>b</sub>	50.4 <sub>b</sub>	29.5 <sub>a</sub>	182.6 <sub>b</sub>	2.91 <sub>a</sub>	1.12 <sub>a</sub>	67 <sub>a</sub>

注:CI,全量常规灌溉;1/2AI,1/2量分区交替灌溉;1/3AI,1/3量分区交替灌溉;不同字母表示同一列测定指标在 $P<0.05$ 水平下显著。下同。

Note: CI, conventional irrigation; 1/2AI, alternate irrigation by 1/2 amount; 1/3AI, alternate irrigation by 1/3 amount. a, b represent statistic significance at level of 0.05. The same as below.

### 2.2 灌溉对盆栽梨水分利用效率等因子的影响

从表2看出,3个处理中,以全量常规灌溉光合速率最高,1/3量分区交替灌溉光合速率最低;全量常规灌溉与1/2量分区交替灌溉净光合速率之间的差异未达到显著水平,而蒸腾速率和气孔导度两者差异显著,表明全量常规灌溉的高光合速率是以较高的水分消耗为代价的。1/2量和1/3量分区交替

灌溉多项生理指标均未达到显著差异。从水分利用效率来看,以1/2量和1/3量分区交替灌溉的WUE值较高,以全量常规灌溉WUE值较低,差异性未达到显著水平。

### 2.3 灌溉对田间梨生理因子的影响

从表3看出,在田间条件下,全量常规灌溉与1/2量分区交替灌溉的光合速率相比差异未达到显

著水平,而两者的光合速率显著高于 1/3 量分区交替灌溉处理。蒸腾速率与气孔导度有相同的变化趋势,仍以全量常规灌溉显著最高,它与 1/2 量和 1/3 量分区交替灌溉处理未表现出显著性差异。从水分利用效率的变化看,以 1/2 量分区交替灌溉最高,但

与其它处理差异不显著。从田间试验与盆栽试验的比较来看,反应出相同的变化趋势,但田间试验处理间生理指标间的差异较小,这与田间果树根系庞大,受多方面因素的影响有关。

表 2 不同灌溉方式下盆栽梨叶片的光合速率、蒸腾速率、气孔导度与水分利用效率

Table 2 Effect of irrigation mode on  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $G_s$  and WUE of pear leaf in potted pear

测定指标 Physiological index	处理 Treatments	08—03	08—08	09—01			平均 Mean
		10:00	10:00	10:00	14:00	16:00	
光照强度[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] Illumination intensity		1000	1000	1058	1212	647	983.40
外界温度( $^{\circ}\text{C}$ ) Ambient temperature		33.5~33.8	33.0~33.7	35.0~35.5	37.0~37.5	35.2~35.8	34.86
净光合速率 $P_n$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	CI	15.53	17.07	21.50	12.73	19.23	17.21 <sub>a</sub>
	1/2AI	12.27	16.34	18.15	10.92	12.54	14.04 <sub>ab</sub>
	1/3AI	11.67	13.54	15.54	6.17	8.46	11.08 <sub>bc</sub>
蒸腾速率 $Tr$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	CI	4.52	2.35	7.10	7.16	5.68	5.36 <sub>a</sub>
	1/2AI	2.98	2.18	4.57	4.08	4.03	3.56 <sub>b</sub>
	1/3AI	2.49	1.66	4.19	3.23	3.09	2.93 <sub>b</sub>
气孔导度 $G_s$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	CI	237.4	144.78	234.8	211.3	184.2	202.50 <sub>a</sub>
	1/2AI	133.0	115.70	122.7	80.3	72.6	104.87 <sub>b</sub>
	1/3AI	116.0	92.83	127	62.3	73.2	94.27 <sub>b</sub>
水分利用效率 WUE( $P_n/Tr$ )( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	CI	3.44	7.26	3.03	1.78	3.39	3.78 <sub>a</sub>
	1/2AI	4.12	7.50	3.97	2.67	3.11	4.27 <sub>a</sub>
	1/3AI	4.67	8.15	3.71	1.91	2.74	4.24 <sub>a</sub>

表 3 不同灌溉方式对田间梨叶片光合速率、蒸腾速率、气孔导度与水分利用效率的影响

Table 3 Effect of irrigation mode on  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $G_s$  and WUE of pear leaf in field

测定指标 Physiological index	处理 Treatments	04—24	05—30	06—20	平均 Mean
		10:00	10:00	10:00	
光照强度[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] Illumination intensity		650	1000	1200	
外界温度( $^{\circ}\text{C}$ ) Ambient temperature		20.0—21.0	26.0—27.0	29.0—30.0	
净光合速率 $P_n$ [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	CI	14.34 <sub>a</sub>	17.02 <sub>a</sub>	16.85 <sub>a</sub>	16.07
	1/2AI	12.86 <sub>b</sub>	15.75 <sub>ab</sub>	15.97 <sub>ab</sub>	14.86
	1/3AI	12.64 <sub>b</sub>	13.21 <sub>b</sub>	13.00 <sub>b</sub>	12.95
蒸腾速率 $Tr$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	CI	2.27 <sub>a</sub>	4.78 <sub>a</sub>	5.36 <sub>a</sub>	4.14
	1/2AI	2.04 <sub>ab</sub>	3.10 <sub>b</sub>	3.91 <sub>b</sub>	3.02
	1/3AI	1.88 <sub>b</sub>	3.06 <sub>b</sub>	4.00 <sub>b</sub>	2.98
气孔导度 $G_s$ [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	CI	237 <sub>a</sub>	396.5 <sub>a</sub>	383.5 <sub>a</sub>	339.0
	1/2AI	179 <sub>b</sub>	336.6 <sub>a</sub>	286.6 <sub>a</sub>	267.4
	1/3AI	183 <sub>b</sub>	322.1 <sub>a</sub>	282.1 <sub>a</sub>	262.4
水分利用效率 WUE( $P_n/Tr$ )( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	CI	6.40 <sub>a</sub>	3.56 <sub>b</sub>	3.14 <sub>b</sub>	4.37
	1/2AI	6.30 <sub>a</sub>	5.08 <sub>a</sub>	4.08 <sub>a</sub>	5.15
	1/3AI	6.72 <sub>a</sub>	4.32 <sub>ab</sub>	3.09 <sub>b</sub>	4.71

## 2.4 不同灌溉方式对黄冠梨产量和果实品质的影响

从田间试验结果看,对盛果期树采用 1/2 量分区交替灌溉与全量常规灌溉相比,在产量、单果重、果实可溶性固形物含量方面均未达到显著差异。而 1/3 量分区交替灌溉的产量和单果重显著降低,产量较全量常规灌溉和 1/2 量分区交替灌溉降低了 14.9% 和 15.1%, 平均单果重降低了 9.1% 和

11.9%。1/2 量分区交替灌溉与全量常规灌溉相比灌溉水与降雨总水分利用效率显著提高,提高了 2.84 kg/m<sup>3</sup>, 即 22.9%; 较 1/3 量分区交替灌溉提高了 0.9 kg/m<sup>3</sup>, 即 5.8%。因此,以 1/2 量分区交替灌溉水分利用效率最高,而且产量、单果重和果实可溶性固形物含量较高。

表 4 灌溉方式对田间黄冠梨产量、品质及水分利用的影响

Table 4 Effect of irrigation mode on the yield, quality and water use efficiency in field

处理 Treatments	降雨量* Precipitation (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	灌水量 Irrigation water amount (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	产量 Yield (kg/hm <sup>2</sup> )	单果重 Weight per fruit (g)	可溶性固形物含量 Soluble solids concentration (%)	WUE(i+p)** (kg/m <sup>3</sup> )
CI	1750	1500	40197 <sub>a</sub>	252 <sub>a</sub>	11.7 <sub>a</sub>	12.36
1/2AI	1750	750	40230 <sub>a</sub>	258 <sub>a</sub>	12.2 <sub>a</sub>	16.09
1/3AI	1750	500	34200 <sub>b</sub>	206 <sub>b</sub>	12.1 <sub>a</sub>	15.20

注: \* 降雨量为萌芽到果实成熟期间降雨量; \*\* WUE(i+p) 表示降雨和灌溉水总水分利用效率。

Note: precipitation is the precipitation from pullulation to fruit ripe; WUE(i+p) is calculated as pear yield per total water amount from precipitation and irrigation.

## 3 讨论

土壤水分含量与果树的光合、蒸腾等生理活动密切相关,在盛果期梨园采用分区交替灌溉在保证果树正常生理活动、生长、结果和果实品质的前提下,实现水分利用效率的显著提高,这与前人在葡萄、玉米、棉花、苹果等作物上研究结果基本一致<sup>[2~6]</sup>。前人的试验多在实验室或温室内采用盆栽材料,在环境条件严格控制下得到的结果。从本试验灌溉对盆栽梨营养生长影响的结果看,水分供给量与植株重、根量、新梢长度都呈正相关,在秋末对不同处理进行充足灌溉后,发现水分亏缺处理植株发生的生长根、吸收根(呈白色)量显著增加,根径显著增粗,须根发达,新生生长根、吸收根在盆底部沿着盆壁呈网状分布,形成较大的根垫,最长达 30 cm 左右,根系的吸收能力显著增强。这表明干燥区域的根系补偿生长现象。通过对不同灌水量的研究认为采用 1/2 量分区交替灌溉较其它处理从对树体的营养生长和水分利用效率的综合影响看显示出优势,全量灌溉无疑增大了地面的蒸发量和蒸腾量,而 1/3 量分区交替灌溉仅湿润局部,在较长时间内不足以满足果树正常生理活动的需要,这与杨建伟等<sup>[7]</sup>对杨树等林木树种研究均以适宜水分下 WUE 最高的结果是基本一致的。从田间试验结果看,不同处理间光合速率、蒸腾速率、气孔导度的变化差异性相对减小,这与田间果树根系庞大,行距大,根系发达能利用深层土壤水分,而且树体本身具有贮藏

营养和水分的功能有关,果树较其它 1 年生的农作物具有更强的调节能力,对盛果期的果树具有较好利用全年降雨的功能。通常春季补水灌溉仅是满足果树正常生理活动的一种必要补充。因此,果树更具有根系分区交替灌溉的条件,实施分区交替灌溉技术,具有更高的利用价值。证实了 1/2 量分区交替灌溉是果树生产中一种切实可行的节水灌溉措施。

不同作物、不同土壤类型控制的灌水下限有不同报道,韩艳丽等<sup>[8]</sup>对玉米研究认为采用交替灌溉的灌水下限控制在田间持水量的 55% 才能实现节水、节肥的效果。接玉玲等<sup>[9]</sup>通过盆栽试验提出,土壤相对含水量 52.0% 时, WUE 最高。程福厚<sup>[10]</sup>在鸭梨需水的非关键期控制土壤相对含水量的下限为田间持水量的 40%, 显著地控制了树体的营养生长,对产量和果实品质没有显著影响。对于在不同土壤类型、不同发育阶段、不同种类的果树上采用交替灌溉的灌水下限值及每次灌溉的灌水量确定还有待进一步的研究。

## 参考文献:

- [1] 崔毅. 农业节水灌溉技术及应用实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 康绍忠, 张建华, 梁宗锁. 控制性交替灌溉——一种新的农田节水调控思路[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 1-6.
- [3] 杜太生, 康绍忠, 胡笑涛, 等. 果树根系分区交替灌溉研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 172-178.

## Technology of using agricultural rainwater resources on road surface in the Loess Plateau areas

YANG Qi-liang, ZHANG Fu-cang<sup>\*</sup>, LIU Xiao-gang

(Key Lab of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas,  
Northwest A & F University, Yangling, 712100, China)

**Abstract:** Basing on analysis of the situation of water resources in Loess plateau areas, this paper propounded the engineering and agricultural technology and the method with direct and indirect, which draw rainwater on road surface into "soil reservoir" of farmland or water cellar with free atmospheric pressure using silt delve of eliminate energy. Experiment and practice in Dingxi areas of Gansu province show that this method and technology could not only enhance precipitation utilize efficiency but be simple and easy to carry out, thus is an efficient way of agriculture rainwater use in Loess Plateau areas, meanwhile this technology has effect on preventing soil and water erosion and improving agricultural ecology in the area.

**Key words:** Loess Plateau; use of rainwater on road surface; agricultural resources; silt delve; water cellar with free atmospheric pressure

(上接第 133 页)

- [4] 杜太生, 康绍忠, 夏桂敏, 等. 滴灌条件下不同根区交替湿润对葡萄生长和水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2005, (11): 43-48.
- [5] 赵军营, 王利军, 牛铁泉, 等. 苹果幼苗部分根系水分胁迫对光合作用主要参数的影响[J]. 果树学报, 2005, 22(5): 446-449.
- [6] 杜太生, 康绍忠, 胡笑涛, 等. 根系分区交替灌溉对棉花产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2061-2068.

- [7] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 不同土壤水分含量对 4 个树种 WUE 的影响[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 9-13.
- [8] 韩艳丽, 康绍忠. 控制性分根交替灌溉对玉米养分吸收的影响[J]. 灌溉排水, 2001, 20(2): 5-7.
- [9] 接玉玲, 杨洪强, 崔明刚, 等. 土壤含水量与苹果叶片水分利用效率的关系[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 387-390.
- [10] 程福厚, 李绍华, 孟昭清. 调亏灌溉条件下鸭梨营养生长、产量和果实品质反应的研究[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 22-26.

## Effect of alternate partial root-zone irrigation on the growth, yield and water use efficiency of pear

CHENG Fu-hou, ZHAO Zhi-jun, ZHANG Ji-ying, SONG Hui-yue, TIAN Chun-yu

(College of Agriculture, Hebei Engineering University, Handan, Hebei 056000, China)

**Abstract:** Potted and field experiments were conducted to research into the effect of irrigation on the growth, yield, fruit quality and water use efficiency (WUE) of pear. The results showed that WUE of the alternate irrigation by  $1/2$  amount ( $1/2AI$ ) was higher than conventional irrigation (CI), partially because the Photosynthesis rate ( $P_n$ ) decreased less while transpiration rate ( $Tr$ ) reduced more with the closing of stomata. The  $P_n$  of  $1/3AI$  decreased significantly in potted experiment. The quantities of shoot and root growth of  $1/2AI$  were similar to CI, which were obviously more vigorous than  $1/3AI$ . After being rewatered,  $1/2AI$  and  $1/3AI$  produced more growth roots than CI in autumn. Results in field experiment showed that although the yield and quality under  $1/2AI$  were not significantly affected compared with CI, the irrigation and precipitation water use efficiency was improved by 22.9%.

**Key words:** pear; internated irrigation; yield; water use efficiency (WUE)