

DOI:CNKI:61-1390/S.20111216.1116.004

网络出版时间:2011-12-16 11:16

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111216.1116.004.html>

涌泉根灌对山地梨枣产量形成及水分利用的影响

车银伟^a, 林佳^a, 胡田田^b, 朱德兰^b, 党思思^a

(西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】探讨不同灌水定额下涌泉根灌对山地梨枣树生理指标、产量和水分利用效率的影响,为山地梨枣的生产管理提供参考。【方法】以 8 年生梨枣树为对象,采用涌泉根灌方式,设 33,132,264 m³/hm² 3 个灌水定额处理,同时在相同灌水定额下,以滴灌、管灌为对照,比较各灌水定额下不同灌水方式对梨枣产量形成及水分利用的影响。【结果】与滴灌和管灌相比,涌泉根灌能够维持甚至促进枣吊的生长,同时可以维持或者减少枣树的新梢生长量和落果率。随着灌水定额的增大,新梢生长量、枣吊和梨枣落果率总体上呈增加趋势,但因灌水方式不同而存在差异。在供试 3 个灌水定额条件下,枣树的产量、水分利用效率和灌溉水利用效率均表现为涌泉根灌和滴灌较管灌显著提高。不论采用何种灌水方式,随灌水定额的增加,枣树的产量和水分利用效率增大到一定程度后均不再持续增加,但灌溉水利用效率均随灌水定额的增大而减小。【结论】涌泉根灌是一种值得推广的高效节水灌溉技术。

[关键词] 涌泉根灌;灌水定额;产量;水分利用效率;枣树

[中图分类号] S275.9;S665.107⁺.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)01-0177-06

Effect of surge spring root irrigation on yield and water use of jujube on mountain land

CHE Yin-wei^a, LIN Jia^a, HU Tian-tian^b, ZHU De-lan^b, DANG Si-si^a

(a College of Resources and Environment; b College of Water Resources and Architectural Engineering,

Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The research was done to figure out the impacts of surge spring root irrigation on physiological, yield and water use efficiency of jujube, which can provide the reference for the management of jujube. 【Method】Taking 8-year pear jujube as the test tree and surge spring root irrigation as irrigation method, three irrigation quotas of 33, 132, 264 m³/hm² were set. At the same irrigation quotas, taking drip irrigation and pipe irrigation for comparison. The impacts of surge spring root irrigation on jujube can be obtained through comparing the effects of different irrigation methods and quotas on the jujubes' water use efficiency and yield. 【Result】Compared with drip irrigation and pipe irrigation, the length of bearing branch can be maintained even promoted, and the young shoot growth, fruit-dropping ratio were maintained even reduced by surge spring root irrigation. With the change of irrigating quota, young shoot growth, shoot growth and fruit-dropping ratio generally tended to increase, and the tendency was different with the change of irrigation methods. The yield, water use efficiency and irrigation water use efficiency were increased under surge spring root irrigation and drip irrigation compared with pipe irrigation. With the increase of irrigation quota, the jujube yield and water use efficiency were increased to a certain extent then

* [收稿日期] 2011-06-09

[基金项目] 国家“863”计划项目(2010AA10A302)

[作者简介] 车银伟(1987—),男,山东日照人,硕士,主要从事农业节水理论与技术研究。E-mail: lbyu11111@yahoo.com.cn

[通信作者] 朱德兰(1969—),女,陕西杨凌人,教授,博士,主要从事水资源高效利用研究。E-mail: dlzhu@126.com

胡田田(1966—),女,陕西礼泉人,教授,博士,主要从事农业节水理论与技术研究。E-mail: hutiantian@tom.com

stopped increasing, but the irrigation water use efficiency was decreased constantly. 【Conclusion】 Surge spring root irrigation can be accepted as a new viable irrigation technology.

Key words: surge spring root irrigation; irrigation quota; yield; water use efficiency; jujube

作为山地微灌工程的配套技术之一,涌泉根灌是由西北农林科技大学国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心吴普特等^[1]于 2008 年发明的一种新的微灌方法。随后其又对灌水设备加以改进,研制出了专门的灌水器,使涌泉根灌技术得以进一步完善^[2]。该微灌方法克服了地上微灌毛管易老化和地下渗灌灌水器易堵塞的缺点,将水分直接补充到作物根系部位,实现由灌溉土壤到灌溉作物的根本转变,减少了地面无效蒸发和灌水器的堵塞,提高了灌溉水利用效率,并且可以使毛管使用寿命由现在的 5~8 年增加到 20 年。目前,关于涌泉根灌的研究主要集中在灌水量、灌水历时及灌水器孔径、孔深与布置方式等方面,对其灌水效果的比较研究尚鲜见报道。如黎朋红等^[3]、汪有科等^[4]对涌泉根灌条件下湿润体的特征与水分运移规律进行了研究;张陆军等^[5-6]研究了涌泉根灌条件下,不同灌水量和灌水器布置方式对山地梨枣树生理生长及水分利用效率的影响。为此,本研究采用大田试验,通过与管灌和滴灌的对比,探讨不同灌水定额下涌泉根灌对山地梨枣树生理指标、产量和水分利用效率的影响,以期为进一步推广涌泉根灌技术提供理论依据,并为最大限度地提高水土资源的利用效率提供参考。

1 材料与方法

1.1 涌泉根灌技术原理

如图 1 所示,涌泉根灌的水流由直径为 4 mm 的微管流到内部灌水器的进水口,经过滤网进入流道,再由侧下部的出水口流出,由套管导入底部土壤中。套管理入土中的深度为 0.20 m,内部灌水器长度为 0.07 m,所以,内部灌水器处于悬空状态,不与土壤直接接触。由于滴头的设计流量较大,在灌水器的顶部设有通气导水管,当土壤入渗流量大于灌水流量时,通气导水管仅作为通气用;当土壤入渗流量小于灌水流量时,水流经过通气导水管导出而进入另一个套筒中。

1.2 试验地及研究对象

试验在陕北米脂孟岔红枣示范基地进行。试验地位于典型的黄土高原丘陵沟壑区,属暖温带半干旱气候,年平均日照时间 2 372.7 h。1956—2008 年的多年平均年降雨量为 392.9 mm,7—9 月份的降

雨量占全年降雨量的 65%左右,且多以大雨、暴雨形式出现。土壤为黄土母质上发育的黄绵土、粉质壤土。表层土壤体积质量 1.30 g/cm³,0~70 cm 土层田间持水量为 22%,土壤有机质含量 2.1 g/kg, pH 值 8.6。

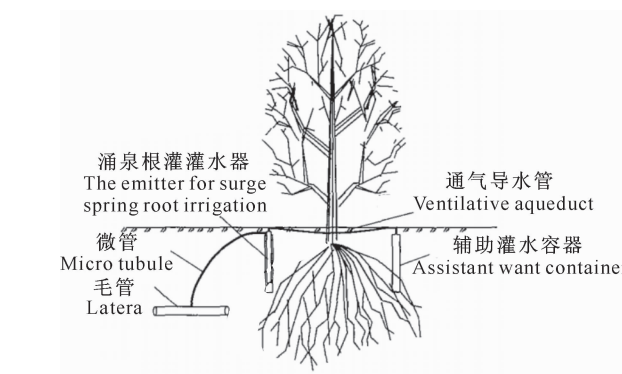


图 1 涌泉根灌灌水装置示意图

Fig.1 Surge spring root irrigation

试验所选树种为长势良好、均一的 8 年生盛果期梨枣树,树高 2 m 左右,砧木为酸枣树,株行距为 2 m×3 m,密度为 1 650 株/hm²。依据其生长发育特性可将其划分为 5 个生育阶段,即萌芽展叶期(4 月中下旬至 5 月下旬)、开花坐果期(5 月下旬至 6 月底)、果实膨大期(7 月至 8 月下旬)、果实成熟期(9 月)及越冬期(10 月至次年 3 月)。

1.3 试验设计

试验设管灌、地面滴灌和涌泉根灌 3 种灌水方式,每种方式各设 33,132 和 264 m³/hm² 3 个灌水定额,共 9 个处理,每处理重复 4 次。于梨枣萌芽展叶期(5 月中旬)和果实膨大初期(07-22)各灌水 1 次,其他管理措施如施肥、修剪、病虫害防治等同大田。

1.4 观测项目及方法

1)新梢生长量和枣吊长度。于 07-29—08-15 用米尺分别测量新梢生长量和枣吊长度。

2)落果率。于 07-30 开花坐果后记录标记枝上的果实数量(N_1),采收时统计标记枝上的果实数量(N_2),按“落果率=($N_1 - N_2$)/ $N_1 \times 100\%$ ”计算落果率。

3)果实产量。在果实成熟期,分别在树冠东、西、南、北及内膛各位置随机取样,测定 30 个样果的

平均单果质量,按“产量=平均单果质量×果实数量(N_2)”计算产量。

4)枣树耗水量。在枣树萌芽展叶初期和果实成熟采收后,用烘干法测定土壤含水量,利用水量平衡法^[7]计算枣树耗水量。水量平衡法的计算公式为:

$$ET=\Delta h+M+P+K-C。$$

式中: ET 为耗水量,mm; Δh 为观测时段内小区 1 m 土层的土壤含水量变化值,“+”表示增加,“-”表示消耗,mm; M 为观测时段内的灌水量,mm; P 为观测时段内的有效降雨量,mm; K 为观测时段内的地下水补给量,mm; C 为观测时段内的排水量,mm。本试验忽略侧渗和地表径流,且地表 1 m 以下土层土壤含水量基本不变,所以 K 、 C 值以 0 记。试验期间的有效降雨量为 297.3 mm。

5)水分利用效率(WUE)和灌溉水利用效率(IWUE)。WUE 和 IWUE 的计算公式分别为:

$$WUE=\text{产量}/\text{耗水量};$$

$$IWUE=\text{产量}/\text{灌水量}。$$

1.5 数据分析

试验数据用 DPS 处理软件进行分析,平均值用 Tukey 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 灌水方式和灌水定额对枣树新梢生长量的影响

从图 2 可以看出,灌水定额为 33 和 264 m^3/hm^2 时,与管灌相比,滴灌显著增加了枣树的新梢生长量,涌泉根灌处理的新梢生长量介于滴灌和管灌之间,但与另 2 种灌溉方式间的差异均不显著;灌水定额为 132 m^3/hm^2 时,与涌泉根灌和管灌相比,滴灌处理的枣树新梢生长量显著增加,而涌泉根灌与管灌处理间无显著差异,说明涌泉根灌可以维持或者减少枣树的新梢生长量。采用涌泉根灌时,随着灌水定额的增加,新梢生长量变化不大;滴灌条件下,与灌水定额为 33 m^3/hm^2 相比,灌水定额为 132 m^3/hm^2 的处理显著提高了枣树的新梢生长量,而灌水定额为 264 m^3/hm^2 时的新梢生长量介于前两者之间,且与前两者均无显著差异;管灌条件下,随着灌水定额的增加,新梢生长量逐渐增大,灌水定额为 264 m^3/hm^2 时的新梢生长量显著高于 33 m^3/hm^2 处理,其他 2 个处理间差异不显著。综上所述,表明在不同灌水方式下,新梢生长量随灌水定额的变化而呈现出不同的规律。

2.2 灌水方式和灌水定额对枣吊长度的影响

枣吊属脱落枝,是枣树开花结果的枝条,也是光合作用的重要器官。从图 3 可以看出,灌水定额为 33,264 m^3/hm^2 时,3 种灌水方式之间的枣吊长度无显著性差异;灌水定额为 132 m^3/hm^2 时,枣吊长度表现为涌泉根灌>管灌>滴灌。该结果表明,涌泉根灌可以维持甚至促进枣吊的生长。

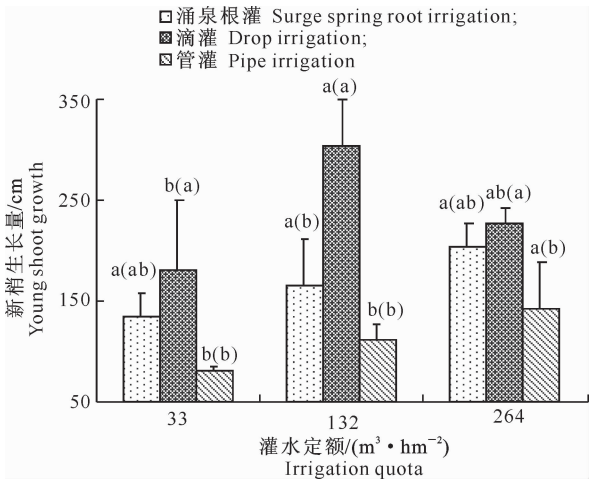


图 2 灌水方式与灌水定额对梨枣新梢生长量的影响
括号外字母表示相同灌水方式下不同灌水定额间的差异性检验结果($P<0.05$);括号内字母表示相同灌水定额下不同灌水方式间的差异性检验结果($P<0.05$),下同

Fig. 2 Effect of irrigation methods and quota on shoot growth in jujube

The letters outside the brackets mean result of significance test between different irrigation quota under the same irrigation method($P<0.05$). The letters in the brackets mean result of significance test between different irrigation method under the same irrigation quota($P<0.05$).
The same below

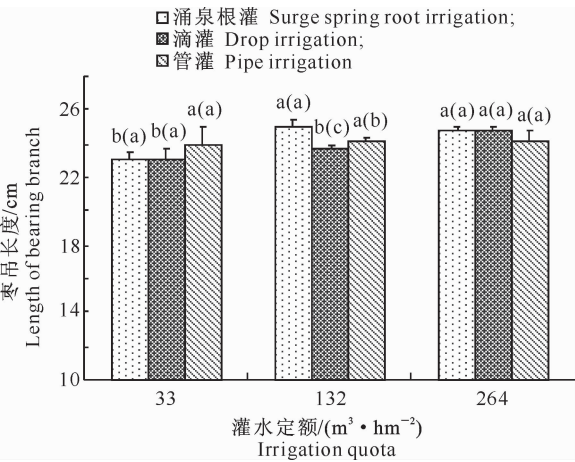


图 3 灌水方式与灌水定额对梨枣枣吊长度的影响
Fig. 3 Effect of irrigation methods and quota on length of bearing branch in jujube

图 3 还表明,涌泉根灌条件下,灌水定额为 132 m³/hm² 时,其枣吊长度与 264 m³/hm² 处理间无显著性差异,但均显著高于灌水定额为 33 m³/hm² 处理。滴灌条件下,灌水定额 33 与 132 m³/hm² 处理之间枣吊长度无显著性差异,但均显著低于灌水定额 264 m³/hm² 处理。管灌条件下,各灌水定额处理的枣吊长度均无显著差异。可见,枣吊长度随灌水定额的变化因灌水方式不同而有差异。

2.3 灌水方式和灌水定额对梨枣落果率的影响

从表 1 可以看出,在灌水定额为 33 m³/hm² 时,梨枣落果率表现为管灌>滴灌>涌泉根灌;灌水定额为 132 m³/hm² 时,涌泉根灌同样显著降低了果实的落果率,滴灌与管灌间无显著差异;灌水定额为 264 m³/hm² 时,3 种灌水方式之间差异不显著。由此可见,涌泉根灌可以维持甚至降低梨枣的落果率。

表 1 灌水方式和灌水定额对梨枣落果率的影响

Table 1 Effect of different irrigation methods and quota on fruit-dropping ratio in jujube

灌水方式 Irrigation method	灌水定额/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota			/%
	33	132	264	
涌泉根灌 Surge spring root irrigation	52.98 b(c)	57.98 b(b)	71.46 a(a)	
滴灌 Drop irrigation	70.30 b(b)	77.40 a(a)	70.29 b(a)	
管灌 Pipe irrigation	86.12 a(a)	85.49a(a)	79.88 a(a)	

表 1 表明,涌泉根灌条件下,灌水定额为 264

m³/hm² 时的落果率较 33 和 132 m³/hm² 处理显著增大,而 33 和 132 m³/hm² 处理间无显著差异;滴灌条件下,与 264 和 33 m³/hm² 处理相比,灌水定额为 132 m³/hm² 的处理显著增加了果实的落果率,而前两者之间无显著性差异;管灌条件下,随着灌水定额的增加,落果率无显著变化。上述结果表明,采用不同的灌水方式时,梨枣落果率随灌水定额的变化规律并不相同。

2.4 灌水方式和灌水定额对梨枣产量的影响

表 2 显示了灌水方式和灌水定额对梨枣产量形成的影响。从表 2 可以看出,与管灌相比,涌泉根灌和滴灌显著提高了梨枣的产量。在灌水定额为 132 m³/hm² 时,涌泉根灌较滴灌降低了梨枣产量;而在其他 2 种灌水定额下,涌泉根灌与滴灌间梨枣产量无显著差异。各处理间梨枣的平均单果质量无明显差异,但单株结果数间存在一定差异,且与产量的变化趋势类似。说明灌水方式和灌水定额对单果质量影响较小,产量主要受到单株结果数的影响。

表 2 还表明,在涌泉根灌条件下,灌水定额为 33 m³/hm² 时的果实产量显著低于 132 和 264 m³/hm² 处理。滴灌条件下,灌水定额为 132 m³/hm² 时产量最大,264 m³/hm² 次之,33 m³/hm² 最低。管灌条件下,灌水定额为 264 m³/hm² 的处理显著提高了梨枣的果实产量。可见,在不同灌水方式下,梨枣产量随灌水定额的不同而表现出不同的变化规律。

表 2 灌水方式和灌水定额对梨枣产量的影响

Table 2 Effect of different irrigation methods and irrigation quota on yield in jujube

灌水方式 Irrigation method	灌水定额/ (m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota	单株结果数 Number of fructification per plant	单果质量/g Weight of single fruit	产量/ (kg·hm ⁻²) Yield
涌泉根灌 Surge spring root irrigation	33	247 c(ab)	33.68 a(a)	13 740 b(a)
	132	335 b(b)	32.27 a(a)	17 851 a(b)
	264	367 a(a)	31.45 a(a)	19 045 a(a)
滴灌 Drop irrigation	33	263 c(a)	33.73 a(a)	14 637 c(a)
	132	411 a(a)	33.17 a(a)	22 494 a(a)
	264	338 b(b)	34.01 a(a)	18 954 b(a)
管灌 Pipe irrigation	33	173 b(b)	30.72 a(a)	8 769 b(b)
	132	197 b(c)	29.96 a(a)	9 738 b(c)
	264	254 a(c)	31.59 a(a)	13 252 a(b)

2.5 灌水方式和灌水定额对枣树水分利用的影响

从表 3 可以看出,在灌水定额为 33 和 264 m³/hm² 时,与管灌相比,涌泉根灌和滴灌显著提高了梨枣的水分利用效率,而后两者之间无显著性差异;灌水定额为 132 m³/hm² 时,水分利用效率表现为滴灌最高,涌泉根灌次之,管灌条件下最低。

表 3 表明,涌泉根灌条件下,与灌水定额 132 和

264 m³/hm² 处理相比,灌水定额为 33 m³/hm² 的处理显著降低了水分利用效率,而前两者间差异不显著;滴灌条件下,灌水定额为 33 与 264 m³/hm² 处理间水分利用效率无显著差异,但均显著低于灌水定额为 132 m³/hm² 处理;管灌条件下,灌水定额 264 m³/hm² 时的水分利用效率较 33 m³/hm² 处理有显著提高,但与 132 m³/hm² 处理间无显著差异。

表 3 显示,灌水方式对灌溉水利用效率的影响与水分利用效率基本一致,但与灌水定额的影响有所不同。涌泉根灌和滴灌条件下,灌溉水利用效率

随灌水定额的增大而减小;在管灌条件下,灌水定额为 33 m³/hm² 时的灌溉水利用效率,显著高于 132 和 264 m³/hm² 处理,而后两者间无显著差异。

表 3 灌水方式与灌水定额对枣树水分利用的影响

Table 3 Effect of different irrigation methods and irrigation quota on water use in jujube

灌水方式 Irrigation method	灌水定额/ (m ³ ·hm ⁻²) Irrigation quota	总灌水量 /mm Total irrigation amount	土壤水分 变化量/mm Soil water changes	耗水量 /mm Water consumption	水分利用效率/ (kg·m ⁻³) WUE	灌溉水利用效率/ (kg·m ⁻³) IWUE
涌泉根灌 Surge spring root irrigation	33	6.7	−62.1	366.1	3.79 b(a)	208.25 a(a)
	132	26.7	−67.7	391.7	4.60 a(b)	67.63 b(b)
	264	53.3	−64.9	415.5	4.63 a(a)	36.06 c(a)
滴灌 Drop irrigation	33	6.7	−55.1	359.1	4.12 b(a)	221.75 a(a)
	132	26.7	−60.6	384.6	5.91 a(a)	85.19 b(a)
	264	53.3	−64.1	414.7	4.62 b(a)	35.90 c(a)
管灌 Pipe irrigation	33	6.7	−51.1	355.1	2.50 b(b)	133.00 a(b)
	132	26.7	−47.3	371.3	2.65 ab(c)	36.88 b(c)
	264	53.3	−59.9	410.5	3.26 a(b)	25.09 b(b)

3 讨 论

涌泉根灌是新近提出的一种灌水新技术,目前的研究主要集中在其湿润体、灌水器适宜布置方式与灌水量等方面^[3,5-6],关于涌泉根灌与其他灌水方式的比较研究尚未见报道。本研究发现,灌水定额较低时,涌泉根灌较管灌和滴灌能够显著降低梨枣的落果率,但在高灌水定额条件下其差异并不显著。这可能是因为 在枣树的年生长周期中,花芽分化、枝条生长、开花坐果及幼果发育几乎同时进行,物候期严重重叠,各器官间养分、水分竞争激烈,营养生长和生殖生长矛盾尖锐,致使枣树落花、落果严重^[8]。开花坐果期是枣树的水分敏感期^[9],在低灌水定额情况下,土壤水分供应不足是影响梨枣落果率的主要因素之一。本试验中,2 次灌水均在地面蒸发较强时进行,管灌时土壤表面的湿润面积大,使其蒸发量增大,入渗的水分明显减少;滴灌条件下滴头流量小,土壤表面湿润面积小;而涌泉根灌可将水分直接灌到枣树的根部,减少了地面的无效蒸发,从而使灌入的水分发挥了更高效的作用。在灌水定额较高时,灌水虽然较为充足,但影响落果率的主要因素不再是水分而可能是养分、气候等其他因素^[10],致使各灌水方式间的落果率差异不大,但具体原因还有待于进一步深入研究。

从果实产量方面来看,涌泉根灌和滴灌较管灌产量显著增加。分析其原因可能为:一方面,如上所述,灌水方式不同,相同灌水量条件下提供给枣树的有效水分不同,而萌芽展叶期的足量灌水有利于枣树花芽的形成,果实膨大期充足的土壤水分也有利于果实的膨大和产量的增加;另一方面,与管灌相

比,涌泉根灌和滴灌能够降低梨枣的落果率,涌泉根灌还能促进枣吊的生长。也正因为如此,3 种灌水方式下,梨枣产量随灌水定额的变化规律有所不同。本研究结果还表明,随灌水定额的增大,水分利用效率和产量的变化趋势基本一致,当灌水定额增大到一定程度后不再持续增加;灌溉水利用效率的变化趋势则相反,其随灌水定额的增大而减小。这与灌溉水利用效率取决于灌溉水量,水分利用效率取决于耗水量,而不同灌水定额之间耗水量的差异远小于灌水量有关。

4 结 论

- 1)涌泉根灌可以维持或者减少枣树的新梢生长量和落果率。新梢生长量和梨枣落果率随灌水定额的变化规律因灌水方式而不同。
- 2)涌泉根灌可以维持甚至促进枣吊的生长。
- 3)较之管灌,涌泉根灌和滴灌可以显著提高梨枣产量。梨枣产量随灌水定额的变化规律因灌水方式而有所不同。
- 4)灌水方式和灌水定额对水分利用效率的影响规律与其对产量的影响基本类似,均表现为随灌水定额增大到一定程度后不再继续增加,132 m³/hm² 的灌水定额既能满足高产又可实现节水,是一个较优的选择。
- 5)灌水方式对灌溉水利用效率的影响与其对产量和水分利用效率的影响基本一致,但灌水定额的影响却有所不同,整体表现为灌溉水利用效率随灌水定额的增大而减小。

综合考虑灌水方式和灌水定额对枣树生长状况、产量形成和水分利用的影响,与管灌相比,涌泉

根灌能够维持甚至促进枣吊的生长,而且还能降低梨枣的落果率,显著提高梨枣的产量和水分利用效率,与滴灌的增产、节水效果相同,是一种值得推广的灌水技术。

[参考文献]

[1] 吴普特,汪有科,杨荣慧,等. 一种适用于树木的地下涌泉根灌方法:中国,200810150395 [P]. 2008-12-10.
Wu P T, Wang Y K, Yang R H, et al. A kind of surge spring root irrigation suited to trees: China, 200810150395 [P]. 2008-12-10. (in Chinese)

[2] 吴普特,朱德兰,汪有科. 涌泉根灌技术研究与应用 [J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(4): 354-358.
Wu P T, Zhu D L, Wang Y K. Research and application of bubbled-root irrigation [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2010, 28(4): 354-358. (in Chinese)

[3] 黎朋红,汪有科,马理辉,等. 涌泉根灌湿润体特征值变化规律研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 190-194.
Li P H, Wang Y K, Ma L H, et al. Study on eigenvalues of wetted soil under surge root irrigation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(6): 190-194. (in Chinese)

[4] 汪有科,黎朋红,马理辉,等. 涌泉根灌在黄土坡地的水分运移规律试验 [J]. 排灌机械工程学报, 2010, 28(5): 449-454.
Wang Y K, Li P H, Ma L H, et al. Experiment on water migration of surge root irrigation in loess sloping fields [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2010, 28(5): 449-454. (in Chinese)

[5] 张陆军,汪有科,辛小桂,等. 山地枣树涌泉根灌适宜布置方式研究 [J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 27-31.
Zhang L J, Wang Y K, Xin X G, et al. Appropriate surge spring

root irrigation layout of jujube on mountain land [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(1): 27-31. (in Chinese)

[6] 张陆军,汪有科,辛小桂,等. 山地梨枣树涌泉根灌适宜布置方式与灌水量研究 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(3): 211-217.
Zhang L J, Wang Y K, Xin X G, et al. Appropriate surge spring root irrigation layout and irrigation norm of jujube on mountain land [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2010, 38(3): 211-217. (in Chinese)

[7] 胡永翔. 陕北黄土高原坡地枣树灌溉制度及作物系数研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2010.
Hu Y X. Study on irrigation schedule and crop coefficient of drip irrigation jujube on sloping fields of loess plateau [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)

[8] 周玉娥. 枣树落花落果的原因及提高坐果率的措施 [J]. 现代农业科技, 2008(12): 92-93.
Zhou Y E. Studies on reasons of flower drop, fruit drop of jujube and prevention measures [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2008(12): 92-93. (in Chinese)

[9] 崔宁博. 西北半干旱区梨枣树水分高效利用机制与最优调亏灌溉模式研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2009.
Cui N B. Efficient water use mechanism and application patterns of optimized regulated deficit irrigation of perr-jujube tree in the semi-arid region of northwest China [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2009. (in Chinese)

[10] 孙卫卫,宗晓鸿,田世芹. 沾化冬枣坐果率偏低的原因及防治措施 [J]. 落叶果树, 2011(2): 46-48.
Sun W W, Zong X H, Tian S Q. The reasons of the low fruit set rate of Dongzao and prevention measures in Zhanhua area [J]. Deciduous Fruits, 2011(2): 46-48. (in Chinese)