

文章编号:1672-3317(2015)03-0040-04

## 山地滴灌下矮化密植枣树氮磷钾施肥效应模式研究

徐福利<sup>1</sup>, 王渭玲<sup>2</sup>, 叶胜兰<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 采用氮、磷、钾三因素 D 饱和最优设计, 研究了黄土高原山地滴灌下矮化密植枣树氮、磷、钾施肥肥效与优化施肥模式。结果表明, 施肥明显促进了枣树地径的增加(单施钾肥除外), 显著提高了红枣坐果率; 施肥促进了新梢的生长, 其中施氮和氮磷钾配施影响显著, 而单施磷、单施钾影响不显著。施肥明显提高红枣产量, 氮、磷、钾肥对红枣产量的影响为氮肥 > 钾肥 > 磷肥; 氮肥与磷肥、氮肥与钾肥之间有正交互作用, 磷肥与钾肥无明显交互作用。山地滴灌工程下矮化密植枣树(1 650 株/hm<sup>2</sup>)目标产量为 20 000~24 000 kg/hm<sup>2</sup> 的优化施肥方案为: N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 施用量分别为 271.36~374.88、128.36~217.94、124.44~228.58 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 山地; 灌溉施肥; 红枣; 产量

中图分类号: S158.3; S665.1

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2015.03.008

徐福利, 王渭玲, 叶胜兰. 山地滴灌下矮化密植枣树氮磷钾施肥效应模式研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(3): 40-43.

红枣经济价值高, 生态效益良好, 近几年栽培面积快速增加, 已成为黄土高原地区特色林果的支柱产业。但该区干旱缺水、土壤贫瘠, 且过量施肥或缺肥现象较为严重, 严重限制了红枣的生产和产业发展。根据作物生长的土壤性状和目标产量, 分析作物对氮、磷、钾的需求规律, 按需定量施肥, 不仅提高养分的有效利用, 也可防止因化肥过量使用造成的环境污染及作物品质下降<sup>[1-3]</sup>。回归函数施肥模式、养分平衡法和人工神经网络等方法已在小麦、玉米、水稻、烟草、花椰菜、黄瓜及棉花等作物上进行了施肥模式研究, 并取得了一些重要结果。但有关枣树施肥模式研究鲜见, 特别黄土高原山地。滴灌可以提高氮肥利用率<sup>[4]</sup>。为此, 采用田间试验, 在分析黄土高原滴灌枣园土壤肥力状况的基础上, 研究矮化密植枣树的氮、磷、钾施肥肥效及优化施肥模式, 以探索该地区枣树的优化灌溉施肥模式, 为黄土高原丘陵区滴灌下山地枣树平衡施肥管理提供科学依据。

## 1 材料与方 法

试验在陕西省榆林市米脂县西北农林科技大学红枣滴灌工程试验示范区进行。该试验示范区面积 36.8 hm<sup>2</sup>, 属典型黄土丘陵沟壑区, 1999 年以前是梯田, 国家实施退耕还林政策后发展成红枣林。由于干旱缺水, 红枣树生长缓慢, 难以发挥经济与生态效益, 2007 年发展山地滴灌工程, 引水上山, 修建蓄水池, 发展山地滴灌工程。该区近 40 年年平均温度 8.9 °C, ≥10 °C 积温 3 470 °C, 无霜期 160~170 d, 日照时数 2 716 h, 年平均降雨量为 420.2 mm, 降水年际变化率为 17.3%, 4—6 月降水量少且多为 10 mm 以下的无效降雨, 而 6—9 月降水量占总量的 74.3% 且多暴雨、强度大。试验期间 2009 年降雨量为 441 mm。试验地土壤为黄绵土, 属粉质沙壤, 土壤体积质量 1.21 g/cm<sup>3</sup>, 土壤基础物化性状见表 1。

收稿日期: 2013-03-11

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD29B04)

作者简介: 徐福利(1958-), 男, 研究员, 博士, 现从事植物营养与施肥原理方面的研究。E-mail: xfl-163@163.com

通讯作者: 王渭玲(1962-), 女, 陕西渭南人。教授, 博士, 主要从事作物高产栽培及植物生态生理方面研究。

E-mail: ylwwl@nwsuaf.edu.cn

表 1 供试土壤理化性质

土层/ cm	颗粒组成/%				有机质量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 质量分数/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O 质量分数/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 质量分数/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N 质量分数/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
	砂粒 (0.05~1mm)	粉砂粒 (0.001~0.05mm)	黏粒 (<0.001mm)	物理性黏粒 (<0.01mm)						
0~20	27.67	68.98	2.51	17.70	4.167	0.17	2.48	145	6.59	11.8
20~40	29.17	68.19	2.44	16.46	3.092	0.12	2.01	116	6.73	9.3
40~60	31.22	65.75	2.46	16.07	2.438	0.9	2.24	122	5.40	5.4

灌溉水源来自于山地沟道,抽水进入山顶蓄水池,然后从蓄水池引水灌溉。水流首先进入过滤器,然后进入管网系统。管网由支管和毛管组成,毛管平行于等高线布置,支管垂直于等高线布置。采用低压滴灌系统,由毛管布置方向的微地形高差,可得到滴头设计工作压力为 0.01 MPa。将水直接供应到红枣施肥试验小区枣树根区,每株每次灌水为 90 L,滴灌时间 25 h,滴头流量为 4 L/h。

施肥试验采用 3 因素(氮、磷、钾肥)D 饱和最优设计,并以不施肥为对照(CK),共 10 个处理,重复 3 次,试验方案详见表 2。氮、磷、钾肥分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 50%)。供试枣树品种为 5 a 生山地矮化密植梨枣,立地条件为山地。栽植密度 2 m×3 m。选择的供试枣树树势基本一致,每棵试验树两旁选择保护树。田间随机排列。试验于 2009 年 4 月 15 日选择规划小区,2009 年 4 月 17 日第 1 次施肥,氮肥为总量的 50%,磷肥、钾肥全部施入,当天灌水 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。2009 年 8 月 4 日于红枣果实膨大期追施剩余的 50%氮肥,再灌 1 次水,灌水量 450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。2009 年 9 月 22 日分区采收,全区单株收获,计算产量。分别于 2009 年 4 月 17 日、9 月 20 日采用游标卡尺测定枣树地径(树干基部直径);红枣新枝生长期,从 5 月 12 日开始每隔 5 d 采用直尺测定枝条生长长度,共测 4 次,在红枣花期及坐果期测定坐果率。

表 2 枣树施肥设计方案

处理	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	编码值	施用量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	编码值	施用量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	编码值	施用量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
CK	-1	0	-1	0	-1	0
N <sub>3</sub>	1	545	-1	0	-1	0
P <sub>3</sub>	-1	0	1	272	-1	0
K <sub>3</sub>	-1	0	-1	0	1	303
P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	-1	0	0.192 5	162	0.192 5	180
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0.192 5	324	-1	0	0.192 5	180
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	0.192 5	324	0.192 5	162	-1	0
N <sub>1</sub> P <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	-0.291 2	220	1	272	1	303
N <sub>3</sub> P <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	1	545	-0.291 2	110	1	303
N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	1	545	1	272	-0.291 2	122

表 3 不同施肥处理下红枣生长状况与产量

处理	地径生长量/cm	Δ地径/%	新梢生长量/cm	Δ新梢/%	坐果率/%	Δ坐果率/%	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	Δ产量/%
CK	6.31±0.32c	—	6.75±0.12c	—	2.42±0.11c	—	13 402.1 ±137.9h	—
N <sub>3</sub>	10.55±0.44a	67.19	9.21±0.31b	36.44	2.78±0.13b	14.88	19 077.1 ±219.1e	42.34
P <sub>3</sub>	6.87±0.36ab	8.87	8.09±0.72c	19.85	3.27±0.15ab	35.12	17 346.5 ±239.6f	29.43
K <sub>3</sub>	6.11±0.21c	-3.17	7.76±0.35c	14.96	3.56±0.24a	47.11	19 729.6 ±88.5d	47.21
P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	10.39±0.43a	64.66	9.14±0.45b	35.41	2.72±0.16b	12.40	16 708.6 ±238.4g	24.67
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	11.63±0.28a	84.31	9.21±0.51b	36.44	3.12±0.08b	28.93	20 791.5 ±310.3b	55.14
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub>	6.72±0.33ab	6.50	9.32±0.23b	38.07	2.83±0.23b	16.94	20 379.8 ±210.1c	52.06
N <sub>1</sub> P <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	7.15±0.54b	13.31	11.91±0.45a	76.44	3.83±0.07a	58.26	21 216. ±315.1a	58.30
N <sub>3</sub> P <sub>1</sub> K <sub>3</sub>	9.23±0.71a	46.28	9.92±0.67b	46.96	3.65±0.21a	50.83	19 328.6 ±89.0e	44.22
N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> K <sub>1</sub>	8.06±0.56b	27.73	9.23±0.65b	36.74	3.01±0.17b	24.38	20 462.2 ±39.3bc	52.68

注 Δ为与 CK 相比的相对增量。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对红枣生长与产量的影响

不同施肥处理下,枣树生长状况与产量如表 3 所示。从表 3 可看出,施肥明显促进了枣树地径的增加

(K<sub>3</sub> 处理除外),促进了枣树树体的生长发育,以 N<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理更加明显,分别比 CK 增加 67.19 % 和 84.31%。施肥促进了新梢的生长,其中施氮和氮磷钾配施影响显著,以 K<sub>3</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub> 处理对新梢生长影响最显著,分别比 CK 增加 14.96%和 76.44%,而单施磷、单施钾处理与 CK 差异不显著。施肥提高了红枣坐果率,且与 CK 差异显著,尤其是 K<sub>3</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub> 处理,分别比 CK 增加 47.11%和 58.26 %;氮、磷、钾肥配施下产量显著高于 CK,且产量随配施比不同而有差异;不同施肥处理增产效果表现为:N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub> 处理>N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理>N<sub>3</sub>P<sub>3</sub>K<sub>1</sub> 处理>N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 处理>K<sub>3</sub> 处理>N<sub>3</sub>P<sub>1</sub>K<sub>3</sub> 处理>N<sub>3</sub> 处理>P<sub>3</sub> 处理>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理>CK。可见,山地滴灌条件下,不同施肥处理对密植枣树生长与红枣产量影响明显。

## 2.2 肥效反应模式的建立及检验

根据试验资料,采用 DPSv7.05 软件统计分析数据,拟合氮、磷、钾肥的三元二次多项式为:

$$Y = 19\,994.1 + 1\,384.1X_1 + 545.6X_2 + 814.1X_3 - 2\,444.8X_1^2 + 763.3X_2^2 + 448.1X_3^2 - 265.2X_1X_2 - 1\,188.2X_1X_3 - 1\,161.4X_2X_3 \quad R^2 = 0.991\,97, \quad (1)$$

式中: $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  分别为 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 用量编码值;Y 为枣树产量(kg/hm<sup>2</sup>)。F=394.61>F<sub>0.01</sub>(9,20)=3.46,达极显著水平。故所建立的肥效反应模式模拟效果较好,可用于预测。根据各偏回归系数的 F 检验可知,F(1)=820.23,F(2)=127.45,F(3)=283.76,F(1,1)=688.16,F(2,2)=67.08,F(3,3)=23.12,F(1,2)=21.28,F(1,3)=427.25,F(2,3)=408.18,均大于 F<sub>0.01</sub>(1,20)=8.10,达极显著水平。

## 2.3 肥效反应模式分析

由于氮、磷、钾肥对红枣产量的回归方程已经过无量纲编码代换,故直接比较各偏回归系数绝对值的大小,可反映各因子的重要程度。从式(1)可知,氮、磷、钾肥的一次项绝对值系数分别为 1 384.1、545.6、814.1,说明在滴灌条件下氮肥对山地红枣产量的影响最大,钾肥其次,磷肥最小。

### 2.3.1 氮、磷、钾单因素效应分析

采用降维法<sup>[4]</sup>,将式(1)中 3 个自变量中的任意 2 个固定在 0 水平,得到 2 组单因子效应方程,即氮、磷、钾肥与红枣产量的单因子效应方程:

氮肥对枣树产量的肥效反应模式为:  $Y=19\,994.1+1\,384.1X_1-2\,444.8X_1^2$ 。

磷肥对枣树产量的肥效反应模式为:  $Y=19\,994.1+545.6X_2+763.3X_2^2$ 。

钾肥对枣树产量的肥效反应模式为:  $Y=19\,994.1+814.1X_3+448.1X_3^2$ 。

一次项回归系数反应不同因子对红枣产量的效应大小,故施肥对红枣产量的影响表现为氮肥>磷肥>钾肥。其中,氮肥对红枣产量影响最为明显,呈开口向下的抛物线,随着氮施用量的增加而快速增加,但施氮量超过 349.5 kg/hm<sup>2</sup>(编码值 0.283)后产量开始下降,符合米采利希(E. Mitscherlich)提出的肥料效应报酬递减定律。

### 2.3.2 二因素间交互作用分析

采用降维法,将式(1)中任意 1 个自变量编码值固定为 0 水平,得到其他 2 个因素的互作效应方程:

氮、磷交互效应方程:  $Y=19\,994.1+1\,384.1X_1+545.6X_2-2\,444.8X_1^2+763.3X_2^2-265.2X_1X_2$ 。

氮、钾交互效应方程:  $Y=19\,994.1+1\,384.1X_1+814.1X_3-2\,444.8X_1^2+448.1X_3^2-1\,188.2X_1X_3$ 。

磷、钾交互效应方程:  $Y=19\,994.1+545.6X_2+814.1X_3+763.3X_2^2+448.1X_3^2-1\,161.4X_2X_3$ 。

可见,氮磷、氮钾对红枣产量的交互效应图都呈现为开口向下的抛物曲面,且在试验范围内有极大值。氮、磷对红枣产量的正交互作用显著,氮、钾也有明显的正交互效应,当施肥量增加到一定程度,红枣产量下降。氮、磷交互效应对产量的极值区域施肥量:N 施用量为 299.75~354.25 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 施用量为 122.40~149.60 kg/hm<sup>2</sup>;氮、钾交互效应中极值区域施肥量:N 施用量为 299.75~354.25 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 施用量为 166.56~196.95 kg/hm<sup>2</sup>;磷、钾之间有负交互效应,产量极值区域施肥量:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 施用量为 122.40~149.60 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 施用量为 166.56~196.95 kg/hm<sup>2</sup>。

## 2.4 山地滴灌条件下矮化密植枣树肥效反应模式寻优结果分析

根据式(1),设定山地滴灌工程下矮化密植(1 650 株/hm<sup>2</sup>)枣树施肥目标产量下的寻优结果见表 4。从表 4 可看出,矮化密植枣树目标产量为 20 000~24 000 kg/hm<sup>2</sup> 时,氮、磷、钾优化施肥方案为:N 肥用量为 271.36~374.88 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 用量为 128.36~217.94 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 用量为 124.44~228.58 kg/hm<sup>2</sup>。

表4 枣树目标产量为20 000~24 000 kg/hm<sup>2</sup>的优化施肥方案

肥料	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		
	出现次数	出现频率/%	出现次数	出现频率/%	出现次数	出现频率/%	
编码设计值	-1	0	0	4	17.39	5	21.74
	-0.2912	7	30.43	3	13.04	4	17.39
	0.1925	12	52.17	6	26.09	5	21.74
	1	4	17.39	10	43.48	9	39.13
编码优化值	平均值	0.185 7		0.273 1		0.165 1	
	标准误差	0.439 3		0.761 6		0.794 8	
	95%置信区间	-0.004 2~0.375 7		-0.056 2~0.602 5		-0.178 6~0.508 8	
	最佳施肥量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	271.36~374.88		128.36~217.94		124.44~228.58	

### 3 结 论

1)建立了山地滴灌枣树氮磷钾施肥优化施肥模式(灌水量为900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),氮肥对山地红枣产量的影响最大,钾肥其次,磷肥最小。

2)氮、磷、钾肥对红枣产量的单因素效应表现为氮肥>磷肥>钾肥,氮肥对红枣产量影响最为明显。氮、磷、钾肥二因素交互作用表现为:氮、磷对红枣产量的正交互作用显著,氮、钾也有明显的正交互效果,磷、钾有负交互效应。

3)灌水量为900 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>时,山地矮化密植(1 650 株/hm<sup>2</sup>)枣树在目标产量为20 000~24 000 kg/hm<sup>2</sup>的优化施肥方案为:N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O施用量分别为271.36~374.88、128.36~217.94、124.44~228.58 kg/hm<sup>2</sup>。

试验时间较短,考虑因素相对较少。因此,关于山地滴灌下长期施肥对山地红枣林土壤肥力、土壤生物学特性和土壤环境的影响有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 杨平,孙向阳,王海燕,等.施肥对台湾青枣营养生长的影响[J].北京林业大学学报,2007,29(6):211-214.
- [2] 王斌,张月华,王玉奎.氮磷钾施肥比例对枣幼树生长和结果的影响[J].园艺学报,2007,34,(2):473-476.
- [3] 马晓蕾,范广博,李永玉,等.精准施肥决策模型与数据库系统[J].农业机械学报,2011,42(5):193-197.
- [4] 黄丽华,沈根祥,钱晓雍,等.滴灌施肥对农田土壤氮素利用和流失的影响[J].农业工程学报,2008,24(7):49-54.

## Fertilizer Efficiency and Fertilizer Mode of N, P, K for Drarf Close Planting Chinese Jujube under Drip Irrigation in Mountainous Region

XU Fuli<sup>1</sup>, WANG Weiling<sup>2</sup>, YE Shenglan<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Life Science of College, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The field experiment was conducted, using the three-factor of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer, D saturated with the optimal design, to research the fertilizer effects and establish the optimum fertilization mode for drarf close planting Chinese jujube under drip irrigation in mountainous region of Loess Plateau. The results showed that application of fertilizer increased the ground warp of jujube tree obviously except only application of K, and improved the fruit-set of jujube significantly; Application of fertilizer promoted the develop of young sprout, and the effect of application of N as well as the application of N, P, K was obvious while the effect of only applicaton of P as well as only application of K was not significant. Application of fertilizer improved the yield significantly with the effect of fertilizer on yield of N>K>P. There was obvious interaction of N and P as well as N and K while there was no obvious interaction of P and K. The optimum fertilization mode for jujube was that N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O were 271.36~374.88, 128.36~217.94, 124.44~228.58 kg/hm<sup>2</sup> respectively when the aimed yield of drarf close planting jujube was 20 000~24 000 kg/hm<sup>2</sup> under drip irrigation in mountainous region.

**Key words:** mountainous region; fertigation; jujube; yield