

塔里木盆地西北缘区密植核桃的滴灌水肥适宜用量

付秋萍, 赵经华, 马亮, 马英杰

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: [目的] 确定核桃主产区塔里木盆地西北缘区滴灌条件下核桃水肥适宜用量, 实现核桃园水肥高效利用, 为当地密植核桃滴灌水肥投入量提供指导。[方法] 以9 a生密植新疆“185”核桃树为研究对象, 设置3个灌水量(W_1 : 375 mm; W_2 : 435 mm; W_3 : 495 mm)和3个施肥量(F_1 : 2 250 kg/hm²; F_2 : 4 500 kg/hm²; F_3 : 9 000 kg/hm²)。其中尿素:磷酸一铵 1:1.25, 在新疆阿克苏红旗坡农场新疆农业大学林果实验基地开展滴灌核桃大田试验, 研究滴灌条件下水肥耦合对核桃产量、品质及水肥利用效率的影响, 建立了水肥投入量与产量及灌溉水利用效率的二元回归模型。[结果] 灌水和施肥对核桃硬核期、油脂转化期和成熟期土壤硝态氮、核桃产量、品质和水肥利用率的影响均达显著水平($p < 0.05$); 水肥耦合效应对核桃产量和水肥利用率有显著性影响($p < 0.05$); 硬核期和油脂转化期为核桃的需肥关键期; F_3 处理施肥量造成了土壤硝态氮的累积; W_2 和 W_3 处理对滴灌核桃品质、产量和肥料偏生产力的影响无显著性差异, 均与 W_1 差异显著; 施肥处理对核桃出仁率、产量和水肥利用效率的影响均达显著水平。[结论] 新疆环塔盆地滴灌密植核桃全生育期适宜的水肥投入范围分别为 438~469 mm(包含冬春灌)和 7 074~7 168 kg/hm², 其中尿素 3 144~3 186 kg/hm², 磷酸一铵 3 930~3 982 kg/hm²。

关键词: 滴灌; 核桃树; 产量; 水肥耦合

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0253-07

中图分类号: S275.6, S365, S664.1

文献参数: 付秋萍, 赵经华, 马亮, 等. 塔里木盆地西北缘区密植核桃的滴灌水肥适宜用量[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 253-259. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.037; Fu Qiuping, Zhao Jinghua, Ma Liang, et al. Suitable amounts of water and fertilizer for dense planting of walnut trees under drip irrigation in northwest margin of Tarim Basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 253-259.

Suitable Amounts of Water and Fertilizer for Dense Planting of Walnut Trees Under Drip Irrigation in Northwest Margin of Tarim Basin

Fu Qiuping, Zhao Jinghua, Ma Liang, Ma Yingjie

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: [Objective] The appropriate quantities of water and fertilizer were determined to understand their efficient utilization for walnut trees under drip irrigation in the Northwest Margin of Tarim Basin, which is a main production area of walnuts. The aim was to provide guidance for the extent of irrigation and nitrogen input to be used for drip irrigation for local dense planting of walnut trees. [Methods] The field experiment was conducted in the fruit trees experimental base of Xinjiang Agricultural University. Taking the nine-year-old dense planting of walnut trees (variety “Xinwen 185”) as the research object, three irrigation levels (W_1 : 375 mm, W_2 : 435 mm, W_3 : 495 mm) and three fertilizer doses (F_1 : 2 250 kg/hm², F_2 : 4 500 kg/hm², F_3 : 9 000 kg/hm²) were arranged to study the effects of water-fertilizer coupling on walnut yield, walnut quality, and water and fertilizer utilization efficiency under drip irrigation. Mathematical models of the relationship between water-fertilizer investment and walnut indicators were established through multiple quadratic regression analysis. [Results] The effects of irrigation and fertilizer on the soil NO₃⁻-N in the walnut tree growth periods of hard stone and oil conversion, on the walnut yield, quality, irrigation water use efficiency (IWUE), and partial factor productivity (PFP) reached significant levels ($p < 0.05$). The interaction effects of irrigation and fertilizer on walnut yield, IWUE, and PFP reached significant levels ($p < 0.05$). Hard stone

收稿日期: 2019-12-25

修回日期: 2020-01-02

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目“新疆绿洲灌区核桃滴灌水氮耦合及高效利用研究”(2015211B009); 新疆农业大学博士后流动站资助。

第一作者: 付秋萍(1980—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区奇台县人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉及水肥高效利用方面的研究工作。Email: caufuqiuping@126.com。

and oil conversion periods were the key periods of fertilizer demand for walnut trees. The F_3 treatment resulted in the accumulation of soil nitrate nitrogen. There was no significant difference in the effects of W_2 and W_3 treatments on the quality, yield, and PFP of drip irrigation of walnut trees, which were significantly different from those of W_1 . The effects of fertilizer application on the kernel yield, yield, IWUE, and PFP of walnut trees were significant. [Conclusion] Around Tarim Basin, the suitable ranges of water and fertilizer applications for the whole growth period of walnut trees were, 438 to 469 mm (including winter and spring irrigation) and 7 074 to 7 168 kg/hm², respectively, including 3 144 to 3 186 kg/hm² urea and 3 930 to 3 982 kg/hm² monoammonium phosphate.

Keywords: drip irrigation; walnut trees; yield; water-fertilizer coupling

核桃由于其丰富的营养价值深受国内外消费者喜爱。中国核桃种植面积及产量均居世界第一位,其中新疆是核桃的主产区之一^[1]。新疆南疆塔里木盆地西北缘区以其广阔的地域和良好的光热条件等优势成为了核桃种植的优势地区。截止 2018 年底,该地区核桃种植面积已达 3.78×10^5 hm²,年产量达 8.09×10^5 t^[2]。种植核桃已成为该地区促进农业经济发展、农民可持续增收的主导产业,核桃种植面积逐年增加,并逐步往矮密种植模式发展。

新疆由于水资源极度匮乏,且降雨稀少、蒸发强烈,微灌技术得到长足发展。新疆核桃微灌灌溉模式和灌溉制度研究已逐步完善,通过对比分析漫灌、沟灌、低压软管灌、涌泉灌、滴灌以及微喷灌对核桃生长、产量以及品质的影响,得出滴灌灌溉方式节水、增产、提质效果均优于其他灌水方式,并确定了适宜的核桃滴灌灌溉制度^[3-5]。滴灌水肥一体化技术能够根据作物需求,通过滴灌管网适时适量的将水肥施入作物根部,使水肥均匀分布于根区土壤,达到局部集中灌水和施肥效果,大幅度提高肥料利用率。农业部亦将滴灌水肥一体化作为现代化农业的“一号技术”。国内外学者就滴灌条件下作物水肥耦合已开展了许多研究,结果表明滴灌条件下合理的灌溉施肥能显著提高作物产量、水肥利用率,改善产品品质^[6-8]。新疆就滴灌水肥耦合也开展了许多研究,但大多集中在棉花、小麦和玉米等作物上,对核桃水肥研究较少,大多基于地面灌时的施肥模式,肥料施用量偏大且结果不一,且多为水或肥单因素影响分析^[9-12]。部分的水肥耦合研究也仅分析了试验处理^[13],但所谓的适宜灌溉与施肥有可能在所设处理之外。目前,求解作物最优水肥耦合大多采用多元回归方程,建立以水肥投入为自变量,以作物产量、品质、水肥利用率等指标为目标的数学模型,通过求解方程目标极大值获得最优水肥配比^[14-16]。其次,滴灌条件下水肥耦合研究主要集中在核桃的生长、产量及品质的分析上,对土壤剖面养分情况研究较少。

针对上述问题,本研究以核桃产量、水肥利用效

率为目标,利用滴灌水肥一体化技术,研究南疆核桃不同水肥处理对土壤硝态氮含量及核桃产量、品质及水肥利用效率的影响,建立水肥投入量与核桃产量及灌溉水利用率的数学模型,探讨以产量和灌溉水利用率为目标的最佳水肥管理策略,以期为南疆核桃滴灌水肥一体化技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 4—9 月在新疆阿克苏地区红旗坡新疆农业大学林果实验基地(41°30'N,80°34'E)开展。试验区地处新疆天山南麓中段,塔里木盆地的西北缘,海拔 1 130 m 左右,为典型的温带大陆性干旱气候。降水稀少,多年平均降水量 68.4 mm,多年平均蒸发量 2 000 mm 左右(见图 1);日照充足,多年平均日照时数 2 910 h,年平均气温 11.2 °C,全年无霜期 212 d,是新疆优质的果品重点生产区。2016 年 4 月至 9 月试验期间的气象情况见图 1。试验区地下水埋深 6 m 以下。0—60 cm 土层土壤质地为粉砂壤土,容重 1.4 g/cm³ 左右。0—60 cm 土层基础土壤理化性质为:全氮 0.343 g/kg,全磷 0.41 g/kg,全钾 18.898 g/kg,速效氮 48.6 mg/kg,速效磷 5.2 mg/kg,速效钾 155 mg/kg;土壤 PH 值 8.01,有机质含量 7.145 g/kg。

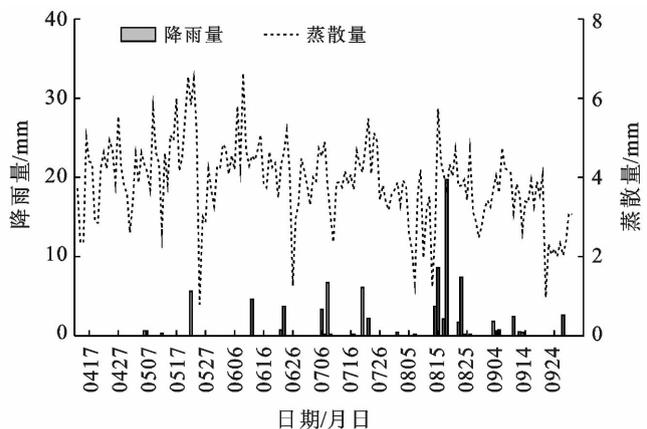


图 1 2016 年新疆阿克苏地区核桃生育期试验站气象要素

1.2 试验设计及过程

试验供试核桃树为9 a龄“温185”,株行距2 m×3 m。核桃生育期具有明显的生长阶段性,根据已有研究^[5]及实际观测,把核桃生长期划分为6个阶段:萌芽期(3月底至4月14日)、开花结果期(0415—0509)、果实膨大期(0510—0603)、硬核期(0604—0705)、油脂转化期(0706—0831)和成熟期(0901—0930)。核桃生育期需灌水及施肥,其中灌溉方式为滴灌,滴头间距50 cm,滴头流量3.75 L/h,一行两管分别布设于核桃树两侧距树50 cm处。试验所用的氮、磷、钾肥分别为尿素(N≥46%)、磷酸一铵(N≥12.2%,P₂O₅≥60.5%)和钾宝(K₂O≥44%)。肥料均随水滴施,过程为先滴水30 min后打开充分溶解好的施肥罐,保证在灌水结束前30 min完成肥

料滴施。每个试验小区均有独立的施肥罐和水表,精确控制水肥量。田间管理同当地核桃园。

试验设置灌水量和施肥量2因素3水平完全处理,每处理3次重复,共27个小区,按核桃树行随机排列。灌水处理:滴灌灌水定额分别为22.5,30,37.5 mm,全生育期共为375,435,495 mm,记为W₁,W₂和W₃。肥料处理:生育期尿素和磷酸一铵按1:1.25比例施入,施入量分别为当地施肥水平的0.5倍(2 250 kg/hm²)、当地施肥水平(4 500 kg/hm²)和当地施肥水平的2倍(9 000 kg/hm²),用F₁,F₂和F₃表示。具体试验方案见表1。钾肥不设梯度,滴施时间与磷酸一铵一致,每次均为666.7 kg/hm²,4次共2 666.8 kg/hm²。核桃园每年均有冬、春灌,灌水定额分别为120,75 mm,灌水方式采用地面灌。

表1 塔里木盆地西北缘区核桃树滴灌灌水与施肥试验方案

生育期	灌水与施肥日期	灌水量/mm			F ₁ /(kg·hm ⁻²)		F ₂ /(kg·hm ⁻²)		F ₃ /(kg·hm ⁻²)	
		W ₁	W ₂	W ₃	尿素	一铵	尿素	一铵	尿素	一铵
萌芽期	0405	75(春灌)			—	—	—	—	—	—
开花结果期	0501*	22.5	30	37.5	750	333	1500	667	3 000	1 333
果实膨大期	0517,0526*	45	60	75	250	250	500	500	1 000	1 000
硬核期	0603,0608,0630*	67.5	90	112.5	—	333	—	667	—	1 333
油脂转化期	0725*,0810	45	60	75	—	333	—	667	—	1 333
越冬期	1110	120(冬灌)			—	—	—	—	—	—
合计		375	435	495	1 000	1 250	2 000	2 500	4 000	5 000

注:表中第二列灌水与施肥日期中,每个日期表示灌水1次,*表示灌水同时滴施肥料,生育期肥料共滴施4次。W₁,W₂和W₃为灌水处理:滴灌灌水定额分别为22.5,30,37.5 mm,全生育期共为375,435,495 mm;F₁,F₂和F₃为肥料处理:生育期尿素和磷酸一铵按1:1.25比例施入,施入量分别为当地施肥水平的0.5倍(2 250 kg/hm²)、当地施肥水平(4 500 kg/hm²)和当地施肥水平的2倍(9 000 kg/hm²)。下同。

1.3 测定项目及方法

(1) 土壤养分。分别于各小区核桃树开花结果期、果实膨大期、硬核期、油脂转化期及成熟期,于施肥前一天打钻取土,每20 cm一层,深度60 cm。采样点为核桃树任一侧滴灌带上距树最近的滴头灌水区域中,垂直于滴灌带并朝着远离树的方向上距滴头20 cm的位置(即距核桃树70 cm左右)。每个处理取3棵树,共3次重复。采用1 mol/L KCL浸提(水土比10:1)—AA3流动注射分析仪测定土壤硝态氮含量^[17]。

(2) 产量及品质测定。从核桃坐果起,选取3棵树,每棵树选取3个核桃并做标记,采用0.01 mm的游标卡尺测定核桃果实纵横径,根据椭球公式计算体积。每5 d测定一次至核桃大小不再变化为止。核桃成熟后按小区收获,每小区选取3棵树测产,记录每棵树核桃个数后脱青皮,测定空壳率,随机选取100颗核桃果实称重测得核桃质量,换算为1 hm²产量。收获后各处理核桃仁送往农业部农产品质量监督检验测试中心(乌鲁木齐,南昌路43号)测定核桃营养品质,其中粗脂肪含量采用压力膜法测定,总蛋白质

含量采用凯氏定氮法测定。

1.4 核桃灌溉水利用效率与偏肥料生产率计算

(1) 灌溉水利用效率 I_{WUE}。

$$I_{WUE} = Y/I \quad (1)$$

式中:I_{WUE}为核桃水分利用率[kg/(hm²·mm)];Y为不同氮肥处理下核桃产量(kg/hm²);I为灌水量(mm)。

(2) 肥料偏生产力 P_{FP}

肥料偏生产力 P_{FP}采用下式计算:

$$P_{FP} = Y/F \quad (2)$$

式中:P_{FP}为肥料偏生产力(kg/kg);F为施肥量(kg/hm²)。

1.5 数据处理

使用Microsoft Excel 2016对数据处理与计算;应用DPS 7.5统计软件进行双因素方差分析和Duncan新复极差法进行不同处理差异显著性分析^[18];Sigmaplot 12.0作图^[19]。

2 结果与分析

2.1 滴灌水肥处理对核桃土壤硝态氮的影响

滴灌下核桃根系对水肥的吸收区域主要为0—60

cm 土层^[13],因此选取 0—60 cm 土层硝态氮进行分析。核桃生育期不同水肥处理 0—60 cm 土层土壤硝态氮含量方差分析见表 2。由表 2 可以看出,灌水或施肥单因素对核桃硬核期、油脂转化期及成熟期硝态氮含量的影响均达到极显著水平($p < 0.01$);在果实膨大期,施肥单因素对土壤硝态氮含量影响达极显著水平($p < 0.01$),而灌水的影响无显著性差异;在开花结果期,因为还未开始水肥处理梯度试验,因此土壤硝态氮含量无显著性差异;全生育期水肥交互效应对土壤硝态氮含量的影响无显著性差异。在整个生育期,整体上 W_2, W_3 处理与 W_1 处理土壤硝态氮存在显著

性差异,而 W_2 与 W_3 之间基本无显著性差异;3 种施肥水平对土壤硝态氮的影响几乎均达显著性水平。

在同一灌水水平下,随着生育期的推进,土壤硝态氮逐渐降低,灌水量越高,硝态氮量降低的越多,说明了灌水对核桃吸收氮肥的促进作用;在同一施肥水平下, F_1 和 F_2 水平下硝态氮含量亦随着生育期的推进而降低,而 F_3 水平下硝态氮含量有增加趋势,说明 F_3 处理施肥水平造成了土壤硝态氮的累积,该处理肥料投入量过大;核桃在硬核期和油脂转化期土壤硝态氮下降速度较其他生育期快,说明这两个生育期为核桃需肥关键期,需保证氮肥的充分供应。

表 2 0—60 cm 土层土壤硝态氮含量方差分析

因素	水平	硝态氮含量/(mg·kg ⁻¹)				
		开花结果期	果实膨大期	硬核期	油脂转化期	成熟期
灌水	W_1	501.08 ^a	502.11 ^a	474.22 ^a	436.99 ^a	422.80 ^a
	W_2	503.02 ^a	487.01 ^a	450.94 ^{ab}	387.91 ^b	374.89 ^b
	W_3	501.99 ^a	482.22 ^a	436.51 ^b	372.58 ^b	362.23 ^b
施肥	F_1	495.78 ^a	466.44 ^b	408.33 ^c	299.97 ^c	276.82 ^c
	F_2	504.99 ^a	486.98 ^b	439.66 ^b	371.85 ^b	348.81 ^b
	F_3	505.33 ^a	518.00 ^a	513.67 ^a	525.65 ^a	534.28 ^a
p 值	灌水	0.986	0.204	0.01**	0.000**	0.000**
	施肥	0.655	0.001**	0.000**	0.000**	0.000**
	灌水×施肥	0.831	0.865	0.506	0.624	0.295

注:同因素同列数字不同字母表示差异显著($p < 5\%$),*,**表示在 0.05,0.01 水平上的差异显著性。

2.2 滴灌水肥处理对核桃品质的影响

滴灌条件下不同水肥处理对核桃品质的影响见表 3。通过两因素方差分析发现,灌水对核桃的外形品质和营养品质的影响均达到极显著水平($p < 0.01$);施肥对核桃体积、出仁率和脂肪的影响达到极显著水平($p < 0.01$),对单果重和蛋白质存在显著性影响($p < 0.05$);水肥的交互作用只对核桃体积达极显著影响($p < 0.01$),而对其他核桃品质的影响无显著性差异。 W_1 和 W_2 处理除单果重无显著性差异,其他品

质均差异显著,而 W_2 和 W_3 正好与此相反。说明核桃品质随着灌水量的增加而提高,当灌水量达到 W_2 后再增加,核桃品质无显著提高,甚至有降低的趋势。 F_1 和 F_2 处理核桃品质均有显著性差异, F_2 和 F_3 处理下只有单果重和出仁率有显著性差异,且数值相差不大,而 F_2 处理下的蛋白质、脂肪以及单果重数值均大于或等于 F_3 水平,说明核桃品质随着施氮量的增加先提高而后不变或者下降。由此可以推断,在本试验处理条件下, W_2F_2 处理下核桃品质最优。

表 3 不同水肥处理核桃品质方差分析

因素	水平	外形品质			营养品质	
		体积/cm ³	单果重/g	出仁率/%	蛋白质/%	脂肪/%
灌水	W_1	46.75 ^b	12.21 ^a	62.63 ^b	19.46 ^b	65.27 ^b
	W_2	52.67 ^a	11.68 ^a	63.24 ^a	20.40 ^a	66.33 ^a
	W_3	52.35 ^a	10.91 ^b	63.53 ^a	20.46 ^a	66.90 ^a
施肥	F_1	48.10 ^b	11.3 ^b	62.35 ^c	19.71 ^b	65.48 ^b
	F_2	51.59 ^a	12.09 ^a	63.22 ^b	20.30 ^a	66.71 ^a
	F_3	52.07 ^a	11.37 ^b	63.83 ^a	20.30 ^a	66.31 ^a
p 值	灌水	0.000**	0.000**	0.001**	0.000**	0.000**
	施肥	0.000**	0.013*	0.000**	0.017*	0.004**
	灌水×施肥	0.000**	0.322	0.329	0.883	0.069

2.3 滴灌水肥处理对核桃产量及水肥利用效率的影响

不同水肥处理对核桃产量及水肥利用率影响的方差分析如表 4 所示,其中灌水或施肥均对核桃产量

Y ,灌溉水利用率 I_{WUE} 和肥料偏生产力 P_{FP} 的影响达极显著水平($p < 0.01$),水肥交互效应对产量 Y 和 P_{FP} 有极显著影响($p < 0.01$),对灌溉水利用率 I_{WUE} 有显著

影响($p < 0.05$)。W₂和W₃处理下核桃产量无显著性差异,均与W₁处理差异显著;PFP和产量有相同的趋势;灌溉水利用率 I_{WUE} 在3种灌水处理下均差异显著,且W₂的 I_{WUE} 值最高,该处理下产量值亦最高。施肥处理对产量,灌溉水利用率 I_{WUE} 和 P_{FP} 的影响均有显著性差异。相对F₁,F₂和F₃处理下核桃产量分别提高了17.3%,20.1%,灌溉水利用率分别提高了17.2%,20.0%,而氮肥偏生产力分别降低了41.3%,70.0%。3种灌水处理下W₂水平最优;而对氮肥处理而言,虽F₃与F₂处理下产量,灌溉水利用率 I_{WUE} 和 P_{FP} 均差异显著,然从数值上看,F₃产量和灌溉水利用率相对于F₂处理只分别提高了2.42%和2.56%,而氮肥偏生产力却下降了49.1%,而前面业已分析F₃处理造成了土壤硝态氮累积。因此,从节约和环保的角度考虑,F₂施肥处理相对优于F₃。

2.4 滴灌核桃适宜水肥用量分析

以水肥投入量为自变量,以核桃产量,灌溉水利用率 I_{WUE} 和肥料偏生产力 P_{FP} 为目标,分别建立了二元二次回归方程,列于表5。经回归分析可以看出,水肥投入对产量和 P_{FP} 的影响达到了极显著水平($p < 0.01$),对灌溉水利用率 I_{WUE} 的影响达到了显著水平($p < 0.05$),决定系数均在0.95以上。表明二元二次方程能很好的描述水肥投入与产量、 I_{WUE} 和 P_{FP} 的关系。进一步对产量、 I_{WUE} 和 P_{FP} 与水肥投入回归方程验证,对建立的核桃产量、 I_{WUE} 和 P_{FP} 与水肥关系的二元二次方程求解,对模型模拟值与实测值进行相关性分析,具体见图2。预测值与实测值的比较选用标准均方误差NRMSE和决定系数 R^2 评价。研究表

明,NRMSE $< 10\%$ 时模拟结果为优, $10\% \leq \text{NRMSE} < 20\%$ 时模拟结果良好^[20]。从图2可以看出,产量、 I_{WUE} 和 P_{FP} 与水肥的回归模型NRMSE均小于10%,决定系数 R^2 均在0.97以上,模型模拟值与实测值线性相关达极显著水平。因此,建立的数学模型对新疆核桃产量、 I_{WUE} 和 P_{FP} 有很高的准确性,可作为该区核桃水肥投入的依据。

表4 不同水肥处理水平下产量、灌溉水利用率 I_{WUE} 和肥料偏生产力 P_{FP} 方差分析

因素	水平	产量/ (kg·hm ⁻²)	I_{WUE} / (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)	PFP/ (kg·kg ⁻¹)
灌水	W ₁	1 965.55 ^b	5.24 ^c	0.49 ^b
	W ₂	2 692.15 ^a	6.19 ^a	0.67 ^a
	W ₃	2 692.02 ^a	5.44 ^b	0.67 ^a
施肥	F ₁	2 178.1 ^c	5.00 ^c	0.97 ^a
	F ₂	2 554.91 ^b	5.86 ^b	0.57 ^b
	F ₃	2 616.71 ^a	6.01 ^a	0.29 ^c
p值	灌水	0.000**	0.000**	0.000**
	施肥	0.000**	0.000**	0.000**
	灌水×施肥	0.007**	0.028*	0.000**

从表5回归方程可以看出,肥料偏生产力回归模型中,肥料的一次项及水肥交互项系数均为负值,说明肥料投入对 P_{FP} 为负效应。产量, I_{WUE} 回归数学模型中的一次项均为正值,表明水肥投入对产量和 I_{WUE} 均有明显的正效应,水肥交互项系数亦为正值,说明水肥投入对产量和 I_{WUE} 存在互相促进作用;而水肥二次项系数均为负值,说明产量和 I_{WUE} 与水肥投入量的关系均为开口向下的抛物面,表明过多的水肥投入会造成核桃减产,灌溉水利用率下降。

表5 水肥投入与产量、灌溉水利用率 I_{WUE} 和肥料偏生产力 P_{FP} 的回归模型

目标变量	回归方程	R^2	p
产量Y	$Y = -0.1W^2 - 2.253 \times 10^{-5}F^2 + 1.472 \times 10^{-4}WF + 92.673W + 0.254F - 19\,490.064$	0.985	0.006
I_{WUE}	$I_{WUE} = -2.358 \times 10^{-4}W^2 - 5.14 \times 10^{-8}F^2 + 9.27 \times 10^{-8}WF + 0.206W + 6.865 \times 10^{-4}F - 40.929$	0.971	0.016
P_{FP}	$P_{FP} = -2.346 \times 10^{-5}W^2 + 1.724 \times 10^{-8}F^2 - 2.208 \times 10^{-7}WF + 0.023W - 1.982 \times 10^{-4}F - 3.99$	0.997	0.000

注: I_{WUE} 为灌溉水利用率; P_{FP} 为肥料偏生产力。下同。

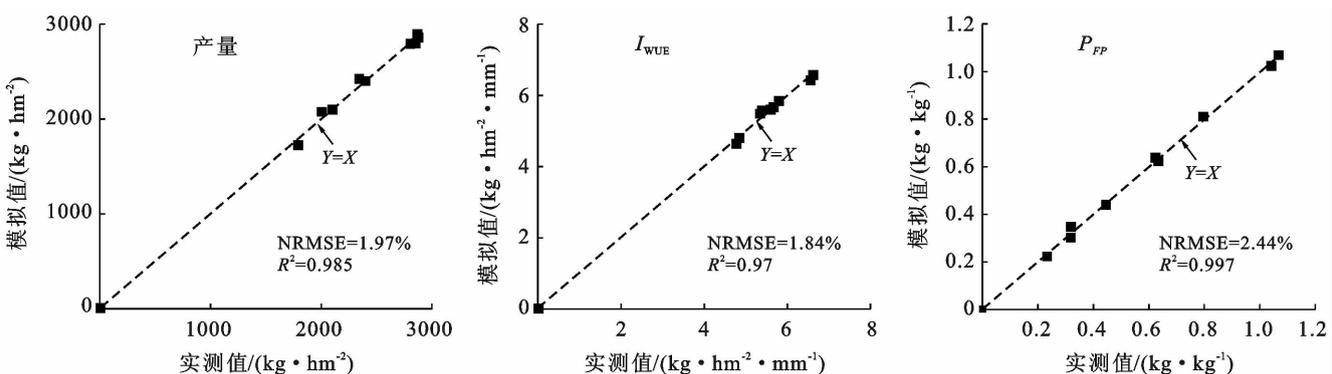


图2 核桃产量、灌溉水利用率 I_{WUE} 和肥料偏生产力 P_{FP} 实测值与模拟值相关性

回归模型反映核桃产量和灌溉水利用率符合报酬递减率。产量和 I_{WUE} 模型分别对水肥求导并令其为零,可分别得出最高产量和最大灌溉水利用率时的水肥投入量以及最高产量和最大灌溉水利用率的值,详见表 6。由此可得,在该地区如追求最高产量,投入滴灌灌水量为 469 mm,施肥量为 7 168 kg/hm²。如追求灌溉水利用率,滴灌灌水量应为 439 mm,施肥量 7 074 kg/hm²。

表 6 核桃最高产量和最大灌溉水利用率 I_{WUE} 时水肥投入量

目标	灌水量/ mm	施肥量/ (kg·hm ⁻²)	产量/ (kg·hm ⁻²)	$I_{WUE}/$ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
产量最高	469	7 168	3 135	6.410
I_{WUE} 最高	439	7 074	3 041	6.767

3 讨论

近几年,随着塔里木盆地西北缘区林果基地的建设,滴灌已在核桃园得到普遍推行。然而,不合理的肥料施入量,造成核桃树徒长枝多,果实贪青晚熟、空壳率高,产量及品质下降,严重制约着当地农业的发展。本文鉴于此,在前人研究的基础上,开展了当地目前主推的密植种植模式下滴灌核桃水肥耦合研究,分析了不同水肥处理对核桃产量、品质及水肥利用率的影响,通过建立灌水量和施肥量与核桃产量及灌溉水利用率的二元回归数学模型,确定了适宜的水肥投入量,以期为当地密植核桃园的水肥管理提供参考。

核桃的产量与品质是决定果农经济效益的首要指标,提高产量与品质是实现高产高效的基础。土壤水分状况和施肥量直接影响作物的生长和产量,灌溉施肥是保障土壤水肥状况的关键^[21]。然而大量的研究证明,水肥投入并不是越多越好,而是存在阈值,低于该阈值,增加水肥投入量具有增产效果;高于阈值,则会造成作物旺长、产量下降^[16,22]。只有协调好水肥用量,才能达到高产高效,提高作物品质。研究表明,过量施氮除阻碍作物产量的形成,降低水肥利用效率外,还可能引起土壤硝态氮累积而淋洗至地下水、增加温室气体 N₂O 的排放等一系列环境问题^[23-24]。本研究中也取得了类似的结果,滴灌条件下,增加灌溉和施肥可以提高核桃产量、品质和水肥利用效率,然而当水肥增加到一定量时,产量和品质增加幅度很小甚至降低,水肥利用效率明显降低。且 F₃ 处理施肥量明显造成了土壤硝态氮的累积,增加污染环境的风险。

水肥耦合对作物产量、品质和水肥利用率的影响符合报酬递减率,大多为开口向下的抛物面。许多学

者为了寻找最大产量、水肥利用率等目标,建立了以水肥投入为自变量的二元二次回归数学模型,由此可以计算出最适宜的水肥投入量,王振华等^[16]建立了红枣产量、品质与水肥的二元回归模型,确定了新疆南疆沙区成龄红枣的水肥适宜用量;吴立峰等^[25]以棉花产量、收益和水分利用效率为目标的水肥二元二次回归方程,给出了多重目标下的棉花水肥投入区间。本试验条件下,滴灌核桃水肥投入量与核桃指标亦符合该规律,建立了水肥投入与核桃产量、灌溉水利用率回归模型,确定了该地区密植核桃模式下滴灌核桃适宜的水肥投入量。但由于本试验只进行了一年,结果的可靠性有待进一步验证。

4 结论

(1) 核桃在硬核期和油脂转化期对肥料的需求高于其他生育期,这两个生育期为核桃需肥关键期,需保证肥料的充分供应。F₃ 水平的施肥量过高,造成了土壤硝态氮的累积。

(2) 本试验条件下,W₂ 和 W₃ 对滴灌核桃品质、产量和肥料偏生产力的影响上无显著性差异,与 W₁ 差异显著,W₂ 处理灌水量较为适宜;除 F₂,F₃ 对滴灌核桃体积、营养品质的影响无显著性差异外,施肥处理对核桃出仁率、产量和水肥利用效率有显著影响。但由于 F₃ 施肥量造成了土壤硝态氮的累积,从节约能源和环境污染的角度考虑,不建议 F₃ 施肥量。综合各指标分析可得出,合理的施肥量应介于 F₂ 与 F₃ 之间。

(3) 综合水肥处理对滴灌核桃土壤硝态氮、产量及水肥利用效率分析,本试验条件下,最优水肥处理为 W₂F₂,即全生育期(包括冬春灌)滴灌灌溉定额 435 mm,施肥量 4 500 kg/hm²,其中尿素 2 000 kg/hm²,磷酸一铵 2 500 kg/hm²;建立了水肥投入量与产量及灌溉水利用效率的二元二次回归模型,并得出该地区滴灌核桃全生育期适宜的灌溉定额为 439~469 mm(包括冬春灌),适宜的施肥量为 7 074~7 168 kg/hm²,即需滴施尿素 3 144~3 186 kg/hm²,磷酸一铵 3 930~3 982 kg/hm²。

[参 考 文 献]

- [1] 李源,马文强,朱占江,等. 新疆核桃产业发展现状及对策建议[J]. 农学学报,2019,9(7):80-86.
- [2] 张翠芳,王世伟,马彬,等.“新新 2 号”核桃果实发育进程中碳水化合物积累与变化[J]. 北方园艺,2019(21):13-19.
- [3] 胡琼娟,马英杰,何纪武,等. 滴灌和微喷对核桃耗水量、产量及坚果品质的影响[J]. 水资源与水工程学报,

- 2010,21(1):87-90.
- [4] 李和兵,穆振侠,洪明,等.干旱半干旱地区成龄核桃灌水方式优选[J].节水灌溉,2013(6):36-39,42.
- [5] 赵经华.干旱区成龄核桃微灌技术与根区土壤水分模拟研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.
- [6] 杨小振,张显,马建祥,等.滴灌施肥对大棚西瓜生长、产量及品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(7):109-118.
- [7] Pan Junfeng, Liu Yanzhuo, Zhong Xuhua, et al. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China [J]. *Agricultural Water Management*, 2017,184:191-200.
- [8] Kiani M, Gheysari M, Mostafazadeh-Fard B, et al. Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region [J]. *Agricultural Water Management*, 2016,171:162-172.
- [9] 梁智,邹耀湘,张计峰.新疆南疆核桃树氮磷钾肥料效应试验研究[J].新疆农业科学,2010,47(5):958-963.
- [10] 杜研,杨文忠,孙林琦,等.不同施肥处理对核桃叶片光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2015,50(4):97-102.
- [11] 陈加利,姜喜,张宏,等.不同水肥处理对核桃光合特性和产量的影响[J].新疆农业科学,2015,52(11):2043-2050.
- [12] 王世伟,潘存德,胡珍珠,等.特定土壤条件下“新温185”核桃根施氮磷钾肥细根根长密度效应研究[J].北方园艺,2019(6):54-59.
- [13] 王忠任.滴灌核桃树产量和品质的水肥耦合效应研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.
- [14] 邢英英,张富仓,吴立峰,等.基于番茄产量品质水肥利用效率确定适宜滴灌灌水施肥量[J].农业工程学报,2015,31(S1):110-121.
- [15] 何进宇,田军仓.膜下滴灌旱作水稻水肥耦合模型及组合方案优化[J].农业工程学报,2015,31(13):77-82.
- [16] 王振华,扁青永,李文昊,等.南疆沙区成龄红枣水肥一体化滴灌的水肥适宜用量[J].农业工程学报,2018,34(11):96-104.
- [17] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析方法[M].北京:科学出版社,1983:344-345.
- [18] 李强,史星雲,牟德生,等.凉州灌区酿酒葡萄氮肥施用研究[J].水土保持通报,2018,38(5):336-340.
- [19] 井大炜.灌溉方式对杨树根系分布及硝态氮运移的影响[J].水土保持通报,2014,34(1):70-73,78.
- [20] Dettori M, Cesaraccio C, Motroni A, et al. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy [J]. *Field Crops Research*, 2011,120(1):179-188.
- [21] 沈荣开,王康,张瑜芳,等.水肥耦合条件下作物产量、水分利用和根系吸氮的试验研究[J].农业工程学报,2001,17(5):35-38.
- [22] 刘小刚,张岩,程金焕,等.水氮耦合下小粒咖啡幼树生理特性与水氮利用效率[J].农业机械学报,2014,45(8):160-166.
- [23] 段文学,于振文,张永丽,等.施氮量对旱地小麦氮素吸收转运和土壤硝态氮含量的影响[J].中国农业科学,2012,45(15):3040-3048.
- [24] 杜娅丹,张倩,崔冰晶,等.加气灌溉水氮互作对温室芹菜地 N₂O 排放的影响[J].农业工程学报,2017,33(16):127-134.
- [25] 吴立峰,张富仓,范军亮,等.水肥耦合对棉花产量、收益及水分利用效率的效应[J].农业机械学报,2015,46(12):164-172.

(上接第 252 页)

- [2] 李洪文,高焕文,王小燕,等.农田风蚀对我国北方沙尘暴的影响[C]//中一加保护性耕作论坛论文集.2006,29-38.
- [3] 赵宏亮,侯立白,张雯,等.彰武县保护性耕作防治土壤风蚀效果监测[J].西北农业学报,2006,15(2):159-163.
- [4] 孙悦超,麻硕士,陈智.保护性耕作农田和柠条带状配置草地防风蚀效果的风洞测试[J].农业工程学报,2017,33(11):140-146.
- [5] 李银科,李菁菁,周兰萍,等.河西绿洲灌区保护性耕作对土壤风蚀特征的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(9):1421-1429.
- [6] 李彤,王梓廷,刘露,等.保护性耕作对西北旱区土壤微生物空间分布及土壤理化性质的影响[J].中国农业科学,2017,50(5):859-870.
- [7] 张贵云,吕贝贝,张丽萍,等.黄土高原旱地麦田 26 年免耕覆盖对土壤肥力及原核微生物群落多样性的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(3):358-368.
- [8] 韩亚雄,赵满全,陈智,等.带状间作留茬地表农田抗风蚀效应试验研究[J].农机化研究,2010,32(6):162-164.
- [9] 刘汉涛,麻硕士,窦卫国,等.土壤风蚀量随残茬高度的变化规律研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(4):182-185.
- [10] 陈智,麻硕士,赵永来,等.保护性耕作农田地表风沙流特性[J].农业工程学报,2010,26(1):118-122.
- [11] 严长庚,王立,杨彩红,等.甘肃河西地区保护性耕作对土壤风蚀的影响[J].甘肃农业大学学报,2019,54(5):163-168.