

不同施肥技术对不同生态区苹果 产量及品质的影响

赵佐平^{1,2,3}, 段 敏^{1,3}, 同延安²

(1. 陕西理工大学化学与环境科学学院, 陕西 汉中 723001; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 陕南秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心, 陕西 汉中 723001)

摘 要: 连续 3 年在渭北和关中苹果园进行了水肥施肥技术研究。结果表明: 因不同生态区环境条件和果园自身土壤及肥力等存在差异, 水肥施用技术对苹果生产的影响差异较大。渭北旱塬 NPK(W) 水肥处理平均产量为 $41.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较传统 NPK 施肥处理, 增产 7.7%。纯收益为 $22.2 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产值净增 $1.13 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。外观品质分析, 单果重达 244.4 g, 果径大于 80 mm 以上占 71.64%, 糖酸比为 43.96。果实 N、P、K 累积量分别增加 35.9%, 74.4% 和 43.9%。1/2NPK(W) 水肥处理对苹果生产的影响基本不显著。关中试验园 1/2NPK(W) 水肥处理产量高达 $78.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较 NPK 传统施肥增产 11.01%。纯收益为 $53.71 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产值净增 $5.24 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。外观品质分析, 1/2NPK(W) 水肥处理单果重高达 367.7 g, 果径大于 80 mm 以上占 89.95%, 糖酸比为 24.57。果实 N、P、K 累积量分别增加 42.1%, 97.7% 和 59.1%。其他缺素施肥处理(PK, NK, NP), 产量和品质均显著低于水肥处理。渭北旱塬区和关中平原区果园水肥施用技术均能显著提高苹果产量和改善品质, 但其效果存在明显差异, 实践中需因地制宜, 根据果园实际情况, 采用适宜的水肥用量以求达到高产、高效和优质的目标。

关键词: 苹果; 施肥技术; 产量; 品质; 水肥一体化

中图分类号: S147.21 **文献标志码:** A

Effects of different fertilizations on yield and fruit quality of Fuji apple in different ecological regions

ZHAO Zuo-ping^{1,2,3}, Duan Min^{1,3}, TONG Yan-an²

(1. College of Chemical and Environment Science, Shaanxi Sci-Tech University, Hanzhong, Shaanxi 723001, China;
2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Qinba Mountains of Bio-Resource Collaborative Innovation Center of Southern Shaanxi Province, Hanzhong, Shaanxi 723001, China)

Abstract: In order to ascertain the similarities and differences in effects of fertigation on apple production in orchards of different ecological regions, two field experiments with six treatments were selected for orchard in different ecological regions. NPK tradition, NPK fertigation, 1/2NPK fertigation, PK, NK and NP were used to explore the effects of fertigation on apple production, quality and fruit nutrient absorption. The results showed that due to the differences in ecological conditions, soil types and fertility levels of orchards in different ecological regions, the fertigation effects on apple production were obviously distinct. In the Weibei dry-land, compared to NPK (traditional fertilization), the yield by NPK fertigation treatment was $41.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, increased by 7.7%, and the net income was increased by 11.3 thousand yuan per hectare. Sugar acid ratio was increased by 15.1%, the N, P and K uptakes of fruit were increased by 35.9%, 74.4% and 43.9%, respectively. However, no significant increases were noted in apple yield, fruit quality and fruit nutrient uptake under 1/2NPK (W) treatment in Weibei Dry-land. In the Guanzhong plain, compared with traditional NPK fertilization, the yield of 1/2NPK fertigation treatment was $78.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, increased by 11.01%, and the net income was increased by 52.4 thousand yuan per hectare. The N, P and K uptakes of fruit were increased by 42.1%, 97.7% and 59.1%, respectively. However, NPK fertigation merely increased the yield by 2.48%, and nutrient uptake of fruit

收稿日期: 2015-09-19
基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201203045); 农业部农业环境重点实验室开放基金(NO.201501); 陕西省 2011 协同创新中
心项目(QBXT-Z(P)-15-5)
作者简介: 赵佐平(1982—), 男, 陕西旬阳人, 博士, 主要从事环境质量与果树营养研究。E-mail: zhaozuoping@126.com。
通信作者: 同延安, E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn。

was not significantly increased. In conclusion, fertigation management significantly increased yield and fruit quality of apple orchards in different ecological regions in Shaanxi Province. However, the effectiveness of fertigation management differed apparently due to differences in ecological conditions in different regions. Therefore, the use of optimal fertilizer application rates in fertigation management was strongly recommended. The specific conditions of orchards formed the basis of optimal fertilizer application rates for high yields, fruit qualities, fertilizer use efficiencies and economic benefits.

Keywords: apple; fertilizer application technology; quality; yield; soil fertility; integration of water and fertilizer

苹果是我国的第一大水果,也是我国的优势农产品之一,种植分布范围广。从 1993 年开始,我国的苹果在栽培面积和产量上就已经位居世界的首位。2013 年统计数据显示,我国的苹果种植面积已达到了 223 万 hm^2 ,年增长率为 7%,目前我国苹果种植面积占世界面积的 46.34%。2014 年中国苹果产量达 3849.1 万 t,同比增长 6.96%。我国用了 60 余年的时间,将苹果产量从 1952 年仅 11 万 t 提高到了 3850 万 t,产量增加了 350 倍。陕西作为中国果树生产第一大省,自 2010 年后苹果栽培面积已经超过 60 万 hm^2 ,苹果产量已超过 960 万 t 以上^[1]。2015 年苹果面积达 69 万 hm^2 ,产量 1000 万 t^[2]。然而,陕西地处西北地区,年蒸发量大,降雨偏少且年内分配不均,同时果园灌溉受限。如何在黄土高原果园生产实践中提高水肥利用率,提高优质高产的果实是亟待解决的重大问题。

水肥一体化施肥技术是滴灌系统发展而成的节水、节肥、高产、高效的农业工程技术^[3],可以实现水分和养分的时空匹配,在作物增产和节水等方面效果显著^[4]。水肥一体化技术已经在提高作物肥料利用率和水分利用率等方面有了较为深入的研究^[5-7],该技术能够实现水分和肥料在时间的同步,空间上的耦合。也取得了良好的试验结果,利用水肥一体化技术可使水分利用效率高达 88%~90%,节肥 30%~50%。另外,水肥一体化技术在改善果树光合特性,提高果实品质,促进果树幼苗和新生枝条生长等方面也均有重要意义^[8-9]。为探明该技术在陕西果园中的实践效果,特选取陕西渭北旱塬和关中平原北部两个生态区苹果园,连续 3 年较为系统地研究了水肥一体化施肥技术对苹果产量、品质、肥料效率及果实养分吸收等方面的影响,旨在为该技术进一步较大范围推行和应用提供实践基础。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2010 年 9 月—2013 年 11 月在陕西渭北旱塬和关中平原北部同时进行。

以红富士苹果为研究对象,渭北旱塬试验园位

于蒲城县罕井镇中山村(109.55°E,35.14°N),自然环境现状为:年均降水量 540 mm,最大蒸发量 1 005.8 mm。平均温度 10.5℃,昼夜温差大,光照充足,果园面积 0.3 hm^2 ,主栽品种为红富士,砧木为八棱海棠(*M. micromalus*. Makino),树龄 6 年,株行距 3.5 m×2.5 m。试验布置前果园土壤基本理化性状为:0~20、20~40 cm 和 40~60 cm 土层有机质含量分别为 10.8、8.5 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 6.2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮含量分别为 53.5、40.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 27.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量分别为 19.5、12.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 4.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量分别为 159.6、112.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 57.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

关中平原区试验园位于凤翔县萧史宫村(107.42°E,34.64°N),年均气温 12.5℃,年均降水 650 mm。果园面积 0.8 hm^2 ,主栽品种为矮化红富士,砧木为八棱海棠(*M. micromalus*. Makino),树龄 10 年,株行距 3 m×2 m。供试土壤为褐土,试验布置前果园土壤基本理化性状为:0~20、20~40 cm 和 40~60 cm 土层有机质含量分别为 12.1、9.2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 7.2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮含量分别为 79.6、54.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 49.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量分别为 43.2、21 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 8.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量分别为 197、144.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 62.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验前选长势一致且无明显病虫害的红富士苹果树为试验材料。共设 6 个处理,分别是水肥处理(NPK(W))、1/2NPK 水肥(1/2NPK(W))、化肥氮磷钾(NPK)、磷钾肥处理(PK)、氮钾肥处理(NK)、氮磷肥处理(NP)。每个处理 6 棵树,3 次重复,采用完全随机排列。施肥量见表 1。NPK 处理施肥和 NPK(W) 水肥处理的肥料用量相同,1/2NPK(W) 水肥处理的肥料用量是 NPK 施肥处理的一半。水肥处理 NPK(W) 和 1/2NPK(W) 均采用简易的水肥一体化施肥技术,即每次施肥前先将肥料溶于水,然后缓慢滴入根冠下四周土壤(滴孔设置在树冠两侧滴水线以内 0.5 m 处);NPK、PK、NK、NP 传统施肥处理采用农民常规施肥方式—沟施后覆土。水肥处理水量分别为渭北旱塬和关中平原每次灌水量分别约为 58~75 $\text{L}\cdot\text{株}^{-1}$ 和 100~130 $\text{L}\cdot\text{株}^{-1}$ 。水肥处理磷、钾肥

源于水溶性较高的磷酸二氢钾,钾肥不足部分以水溶性氯化钾补充。其他处理肥料:氮素为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾素为氯化钾。肥料分四次施入:基肥(10月底,20%);催芽肥(3月初,30%);促果肥(5月初,30%);壮果肥(6月初,20%),施肥方式沟施。连续3年施肥量、施肥时间一致,其它同农户常规管理。

因两个不同生态区试验园果树株行距不同,为保证单位面积施肥量基本一致,因此不同生态区单株果树施肥量不同。具体施肥量见表1。

表 1 不同试验区肥料用量

处理 Treatments	施肥量/(kg·株 ⁻¹) Fertilizer rates/(kg·tree ⁻¹)					
	渭北旱塬蒲城 Pucheng			关中北部凤翔 Fengxiang		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NPK	0.6	0.28	0.30	0.4	0.2	0.2
NPK 水肥	0.6	0.28	0.30	0.4	0.2	0.2
1/2NPK 水肥	0.3	0.14	0.15	0.2	0.1	0.1
PK	0	0.28	0.30	0	0.2	0.2
NK	0.6	0	0.30	0.4	0	0.2
NP	0.6	0.28	0	0.4	0.2	0

1.3 测定项目及方法

单株果数、产量、单果重在成熟期(10月下旬)按处理分别对每株果树进行采摘、分级、称重并统计计算。

可溶性固形物用 WYT-4 型糖量计测定^[10];果实硬度用 GY-1 型硬度仪测定;维生素 C 用 2,6-二氯酚法测定^[10];可溶性糖含量用蒽铜比色法测定^[10];可滴定酸用酸碱滴定法测定^[10]。叶片和果实样品切片后烘干至恒重,粉碎过筛(0.25 mm)备用。采用 H₂SO₄/H₂O₂ 消煮,全自动间断化学分析仪(Cleverchem200)测实 N、P 含量,火焰光度计测定 K

含量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析,并进行差异显著性检验,显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同生态区苹果产量及经济效益分析

2.1.1 渭北旱塬苹果园产量及经济效益分析 由连续3年试验结果可知(表2),不同施肥技术对两个生态区苹果生产均有显著的增产效果,但因不同生态区果园管理水平,土壤肥力状况的差异,其效果也不同。渭北旱塬区,3年平均产量显示,NPK(W)水肥处理产量达41.14 t·hm⁻²,较传统 NPK 施肥苹果产量增产7.7%。1/2NPK(W)水肥处理苹果产量有下降的趋势,较传统 NPK 施肥处理下降了4.97%,这可能是由于果园本身肥力低,较低的施肥量限制了产量的提高。3年来,同一处理不同年际间苹果产量存在较大波动,特别在2012年因受当年“倒春寒”的影响,各个处理产量较其他两年均低。但从总体趋势来看,NPK(W)水肥处理和 NPK 处理产量始终高于其他处理。而1/2NPK(W)水肥处理对渭北旱塬苹果园土壤肥力相对较低的果园并不能起到较好的增产增效作用。不同施肥处理苹果产量顺序为:NPK(W) > NPK > NP ≥ 1/2NPK(W) > NK > PK。

不同施肥处理经济效益分析可知,其中 NPK(W)水肥处理收益最高,以2013年当地苹果价格估算为23.87万元·hm⁻²,除去肥料投入(不考虑肥料以外的成本)纯收益为22.2万元·hm⁻²,较传统 NPK 施肥处理纯收益净增1.13万元·hm⁻²,较1/2NPK 水肥处理纯收益净增2.31万元·hm⁻²。其他各处理间产量无差异,因此产值也无差异。

表 2 渭北旱塬苹果产量和经济效益分析

Table 2 Effect of fertigation on apple yield and income in Weibei Dryland								
处理 Treatment	Fruit yield/(t·hm ⁻²)			Average yield /(t·hm ⁻²)	Increased percentage /%	Average value (10 ⁴ yuan·hm ⁻²)	Fertilization investment (10 ⁴ yuan·hm ⁻²)	Net income (10 ⁴ yuan·hm ⁻²)
	2011	2012	2013					
NPK	34.90ab	33.21a	46.41b	38.17b	—	22.14	1.07	21.07
NPK(W)	37.72a	33.83a	51.86a	41.14 a	7.77	23.87	1.67	22.20
1/2NPK(W)	34.43ab	28.94b	45.44b	36.27bc	-4.97	21.03	1.14	19.89
PK	30.44bc	29.12b	44.94b	34.83c	-8.74	20.21	0.83	19.38
NK	32.01bc	23.99c	50.43ab	35.47bc	-7.05	20.57	0.98	19.59
NP	32.80c	30.41b	45.864b	36.36bc	-4.75	21.08	0.88	20.20

注:当地苹果价格5.8元·kg⁻¹(2013);肥料价格N4.78元·kg⁻¹,P₂O₅4.17元·kg⁻¹,K₂O6元·kg⁻¹;该效益分析中不考虑肥料以外的其他成本。同一列中不同字母表示差异显著(P<0.05)。下同。
Note: Apple price is 5.8 yuan·kg⁻¹(2013); Fertilizer price of N, P₂O₅, K₂O are 4.78, 4.17 yuan·kg⁻¹ and 6 yuan·kg⁻¹ respectively; The net income analysis doesn't include other cost except for fertilizer. Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. Hereinafter.

2.1.2 关中北部凤翔苹果园产量及经济效益分析

由表 3 可知,同样的施肥技术在关中凤翔试验区与渭北旱塬蒲城试验区相比,差异较大。与传统 NPK 施肥相比,NPK(W)水肥处理 3 年平均产量为 72.46 t·hm⁻²,较传统 NPK 施肥处理增产 2.48%,未达到显著差异。而当肥料用量减少 50%时(1/2NPK(W))时,苹果产量不但没有减产,反而有增产趋势,平均产量增加了 11.01%,这可能与果园基础肥力较高有关,加之水肥技术促使肥料利用率不断提高,进而提高了产量。同样,同一处理不同年际间苹果产量存在较大波动,受当年气候影响(倒春寒)2012

年产量较其他年份较低,这与渭北旱塬试验区结果相似。但从总体趋势来看,1/2NPK(W)水肥处理始终高于其他处理。PK 处理在试验初期 2011 年其产量与 1/2NPK(W)水肥处理产量几乎相当,说明当年虽然减少氮肥投入,但是由于土壤本身储藏了丰富的养分能够满足作物吸收利用。但是随着时间的推移,持续减氮 3 年,苹果产量减产较大。说明氮肥仍是果实增产增收的最主要因素。不同施肥处理 3 年苹果平均产量顺序为:1/2NPK(W) > NPK > NPK(W) > NK ≥ PK > NP。

表 3 关中北部凤翔试验园苹果产量和经济效益分析

Table 3 Effects of fertigation on apple yield and income in Guanzhong irrigated area

处理 Treatment	Fruit yield/(t·hm ⁻²)			Average yield /(t·hm ⁻²)	Increased percentage /%	Average value (10 ⁴ yuan·hm ⁻²)	Fertilization investment (10 ⁴ yuan·hm ⁻²)	Net income (10 ⁴ yuan·hm ⁻²)
	2011	2012	2013					
NPK	66.63ab	59.61b	85.88b	70.71b	—	49.49	1.02	48.47
NPK(W)	67.34ab	62.41ab	87.65ab	72.46b	2.48	50.72	1.67	49.05
1/2NPK(W)	78.41a	67.78a	89.31a	78.5a	11.01	54.95	1.24	53.71
PK	78.65a	51.98c	70.70d	67.11c	-5.09	46.97	0.83	46.14
NK	63.80c	58.35b	79.29bc	67.14c	-5.03	47.01	0.98	46.03
NP	65.41bc	54.02bc	75.44c	64.95c	-8.13	45.47	0.88	44.59

注:当地苹果价格 7 元·kg⁻¹(2013);肥料价格 N 4.78 元·kg⁻¹,P₂O₅ 4.17 元·kg⁻¹,K₂O 6 元·kg⁻¹;该效益分析中不考虑肥料以外的其他成本。同一列中不同字母表示差异显著(P<0.05)

Note: Apple price: 7 yuan·kg⁻¹(2013), price of N, P₂O₅, K₂O are 4.78, 4.17, 6 yuan·kg⁻¹ respectively,and the net income analysis doesn't include other cost except fertilizer. Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

不同施肥处理经济效益分析可知,其中 1/2NPK(W)水肥处理产量最高,以 2013 年当地苹果价格估算其产值高达 54.95 万元·hm⁻²,纯收益为 53.71 万元·hm⁻²,较传统 NPK 施肥纯收益净增 5.24 万元·hm⁻²。NPK(W)水肥处理产值 50.72 万元·hm⁻²,除去肥料投入(不考虑肥料以外的成本)纯收益为 49.05 万元·hm⁻²,较传统 NPK 施肥处理纯收益净增 0.58 万元·hm⁻²。因 NP 处理产量最低其产值也最低,其他缺素处理间产量差异较小,因此产值差异也较小。

2.1.3 不同生态区苹果产量及经济效益对比分析

结合两个不同生态区域连续 3 年试验结果可知(表 2,3),水肥施肥技术对两个生态区苹果生产均有显著的增产效果,但因不同生态区果园管理水平,栽植密度及果园土壤肥力状况的差异较大,其效果也不同。渭北旱塬区,3 年平均产量显示,NPK(W)水肥处理产量平均达 41.14 t·hm⁻²,较 NPK 传统施肥苹果产量增加 7.7%。关中试验区,与传统 NPK 施肥相比,NPK(W)水肥 3 年平均产量为 72.46 t·hm⁻²,增产 2.48%,未达到差异显著水平。同为

NPK 水肥处理,关中凤翔果园平均产量较渭北蒲城果园高 31.35 t·hm⁻²,这主要与当地果园土壤基础肥力有一定关系;其次,两不同生态区虽都是富士品种,但栽培密度也不同,关中凤翔果园栽培密度高于渭北旱塬区,也是促成产量不同的原因。最后,由于两地的管理水平不同,关中北部凤翔果园可以灌溉,对气候条件影响较小,而渭北旱塬主要靠天气养地,气候影响较大。因此从试验效果上来讲,在渭北旱塬试验效果更为明显。

2.2 不同生态区苹果外观品质比较分析

苹果外观品质包括果形指数、果个大小、单果重等,这些都会影响人们的消费价值取向^[11],也是影响其市场价格的重要因素,普遍受到广大果农的重视。不同施肥处理对苹果果形指数、单果重和果径大小的影响见表 4。在渭北旱塬试验区 NPK(W)水肥处理对果实单果重和果形指数产生了显著的影响,其中 NPK(W)水肥处理,平均单果重达 244.4 g·个⁻¹。对果径分级也有较大影响,NPK(W)水肥处理、1/2NPK(W)水肥处理、传统 NPK 处理其果经大于 80 mm 的均占采收果 70% 以上。而减素处理

(PK,NK,NP)果经大于 80 mm 以上所占比例均小于 70%,且有 10%以上果实果经小于 75 mm。

关中试验园,水肥施肥技术较传统施肥处理对果实单果重和果形指数几乎未产生显著的影响。但两个不同生态区相比,关中北部试验果园单果重均在 300 g·个⁻¹以上,其中 1/2NPK(W)水肥处理,单果重达 367.7 g·个⁻¹。较渭北旱塬平均重 60~70 g·个⁻¹。这与上一节果实产量相一致,由于本身果实单果重大,因此在产量上也较渭北旱塬高。水肥施

肥处理技术对果经分级有较大影响,其中 NPK(W)水肥处理与 NPK 施肥处理其优质果(>80 mm)的比例无差异,而当肥料用量减少 50% 1/2NPK(W)水肥处理时,优质商品果比例却提高了 3.93%。关中试验园果经小于 75 mm 的果实比例均小于 5%,特别是 1/2NPK(W)水肥处理果经小于 75 mm 的果实所占比例不到 1%。仅为 0.34%。可见在关中试验园 1/2NPK(W)水肥处理对果实外在品质有较大影响。

表 4 不同生态区苹果单果重和果径大小分析(3 年平均值)					
Table 4 Effect of fertigation on fruit grading and weight in different ecological regions (average for three years)					
处理 Treatments	果型指数 Index of Fruit shape(H/L)	单果重 Mean fruit weight/g	果径分级 Fruit grading/ %		
			> 80 mm	80 ~ 75 mm	< 75 mm
渭北旱塬 Weibei dry-land					
NPK	0.84ab	234.65ab	70.62ab	23.22a	6.14b
NPK(W)	0.89a	244.40a	71.64a	22.49a	5.86b
1/2NPK(W)	0.87ab	236.29ab	71.15a	22.82a	6.02b
PK	0.83ab	213.15b	62.56 b	21.66a	15.77a
NK	0.83b	219.35b	64.43b	22.01a	13.55a
NP	0.83ab	217.63b	67.61 ab	18.23b	14.16a
关中平原 Guanzhong plain					
NPK	0.81a	344.57a	86.02a	13.01ab	0.97b
NPK(W)	0.88a	353.17a	85.39a	12.10ab	2.50a
1/2NPK(W)	0.78a	367.74a	89.95a	9.70b	0.34c
PK	0.81a	341.07a	85.36a	13.39ab	1.23b
NK	0.82a	309.46b	80.97b	16.46a	2.56a
NP	0.82a	348.09a	82.51b	16.19a	1.29b

注:各处理定级用 100 个样品;果形指数=果实纵径/果实横径。同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Fruit grading use 100 apples as sample; Index of fruit shape = Horizontal diameter/Vertical diameter. Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

2.3 不同生态区苹果内在品质的比较分析

反映苹果品质的主要指标有内在品质,其中内在品质包括可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、糖含量、硬度等^[12]。连续 3 年成熟期苹果品质分析结果见表 5。不同施肥处理对果实品质均有一定影响,不同生态区影响程度不同。

硬度是果实耐储存性的重要指标之一,不论在关中试验园还是渭北旱塬试验园,缺素处理苹果硬度均小于其他处理。特别是 NP 处理其硬度最低。这可能是因为钾肥能够促进果实对 Ca、Mg 等微量元素的吸收,这些元素不仅增加了果实的内在品质,增强了口感,而且提高了果实的耐储性。

可溶性糖含量在同一生态区,不同施肥处理结果发现,在渭北旱塬 NPK(W)水肥可溶性糖含量为 13.87%,显著高于其他处理。而在关中试验园,传统 NPK 施肥处理可溶性糖含量显著高于其他处理,

为 10.23%。不同生态区可溶性糖含量差异更大,同一施肥处理在渭北旱塬其可溶性糖含量显著高于关中试验园。这可能与当地的气候条件、海拔高度、昼夜温差等因素有关。

可溶性固形物在一定程度上可以反映糖类物质的量,是确定苹果适收期和水果品质的重要指标^[13]。由结果可知,可溶性固形物与可溶性糖含量趋势相似。不同处理可溶性固形物含量有所差异,纵向比较发现,不论是水肥 NPK(W)还是传统 NPK 施肥处理均能够提高果实可溶性固形物的含量,6 个不同施肥处理结果可知(表 5),在渭北试验园,NPK(W)水肥和 NPK 施肥处理,在采收时可溶性固形物含量分别为 15.95%和 14.65%。而 NP 处理在采收时可溶性固形物含量最低,为 12.91%。在关中试验园发现 1/2NPK(W)水肥和 NPK(W)施肥处理显著高于其他处理,在采收时可溶性固形物含量

分别为 13.14%和 12.75%。而 NP 处理在采收时可溶性固形物含量最低,为 11.04%。这可能与不施

钾肥有关,黄显淦等^[14]2000 年研究发现,钾肥在改善果实品质方面有显著效果。

表 5 不同生态区苹果内在品质分析

Table 5 Effects of fertigation on fruit quality in different ecological regions

处理 Treatments	果实硬度 Hardness /(kg·cm ⁻²)	可溶性糖 Soluble sugar /%	可滴定酸 Titratable acids /%	糖酸比 Sugar acid ratio(S/A)	可溶性固物 Soluble solid /%	维生素 C Vc (mg·100 g ⁻¹)
渭北旱塬 Weibei dry-land						
NPK	9.9b	11.83b	0.25a	38.25ab	14.65ab	12.13a
NPK(W)	11.48a	13.87a	0.23a	43.96a	15.05a	12.61a
1/2NPK(W)	12.0a	11.44b	0.31a	34.20b	14.27ab	13.05a
PK	9.49b	12.09ab	0.25a	39.68ab	12.08c	12.82a
NK	10.67ab	12.13ab	0.28a	31.23c	13.23b	11.91a
NP	7.92c	11.16b	0.28a	36.13b	12.91bc	11.68a
关中平原 Guanzhong plain						
NPK	12.11a	10.23a	0.42a	24.29a	12.45ab	13.1ab
NPK(W)	12.43a	9.87b	0.41a	23.89a	12.75ab	13.6ab
1/2NPK(W)	11.63b	9.84b	0.41a	24.57a	13.14a	14.5a
PK	11.28b	9.57b	0.47a	20.18a	11.54b	12.8ab
NK	9.90c	9.62b	0.44a	21.81a	12.6ab	10.1c
NP	10.96bc	10.16b	0.48a	22.18a	11.04b	11.6b

注:同一列中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

不同生态区不同施肥处理果实在采收时可滴定酸含量差异较大。不同生态区比较可知,同一试验处理在渭北旱塬其可滴定酸含量显著低于关中试验园,在关中试验园 NPK(W)水肥处理可滴定酸含量 0.41%,而同样处理在渭北旱塬可滴定酸含量为 0.23%。其他处理同样呈现关中试验园高于渭北旱塬试验园的现象。而同一试验园相比发现,NPK(W)和 NPK 施肥处理果实可滴定酸含量低于其他处理,在渭北旱塬果实采收时分别为 0.23%和 0.35%,1/2NPK(W)水肥处理在采收时可滴定酸含量最高,为 0.31%。在关中试验园 NPK(W)和 NPK 施肥处理果实可滴定酸含量显著低于其他处理。其中 PK 处理可滴定酸含量最高为 0.47%。

苹果中可溶性固形物含量增加、可滴定酸含量降低时,糖酸比就会升高,进而改善果实的口感风味^[12]。由于在渭北旱塬可溶性糖含量高于关中试验园,而可滴定酸含量又低于关中试验园。因此,在糖酸比指标中渭北旱塬 NPK(W)水肥处理其值达到 43.96,而关中试验区 1/2NPK(W)水肥处理糖酸比最高,为 24.57。

维生素 C(Vc)是果实的营养成分,不同处理果实中均含有 Vc。不同施肥处理果实中维生素 C 含量不同。试验结果显示在渭北旱塬区 Vc 含量在数

值上有一定差异,但均未达到显著水平。而在关中试验区,其 1/2NPK 水肥处理其含量为 0.145 mg·g⁻¹,显著高于其他处理。

2.4 不同生态区苹果果实养分累积量比较分析

不同施肥技术对不同生态区苹果果实养分累积量结果见表 6。由表可知,不同生态区各处理果实含水量无显著差异,而果实中 N、P、K 养分累积量有差异显著。渭北旱塬区果园,NPK(W)水肥处理较传统 NPK 施肥处理,果实中 N、P、K 养分积累分别增加了 35.9%,74.4%和 43.9%。除 N 累积量外,P、K 累积量均达到了 5%的显著性水平。而当肥料用量减少 50%时,即 1/2NPK(W)水肥处理果实养分累积量与传统 NPK 施肥处理果实中 N 累积量无显著差异,而 P 和 K 累积量均达到显著水平。减素处理间差异并不显著。

关中试验园结果显示,与传统 NPK 施肥处理相比,NPK(W)水肥果实养分累积量均呈现增加趋势,其果实中 N、P、K 养分积累分别增加了 19.3%,27.7%和 10.5%,除果实中 P 累积量达到显著水平,N 和 K 累积量差异不显著。而当肥料用量减少 50%时即 1/2NPK(W)水肥处理,果实中 N、P、K 累积量却分别增加了 42.1%,97.7%和 59.1%。

表 6 不同生态区苹果果实养分累积量分析

Table 6 Effects of fertigation on nutrition absorption of apple fruit in different ecological regions

处理 Treatments	果实含水量 Moisture content of apple/%	果实 N 累积 N uptake /(kg·hm ⁻²)	增长率 Ratio /%	果实 P 累积 P uptake /(kg·hm ⁻²)	增长率 Ratio /%	果实 K 累积 K uptake /(kg·hm ⁻²)	增长率 Ratio /%
渭北旱塬 Weibei dry-land							
NPK	82.84 a	27.5 ab	—	7.3 c	—	74.5 c	—
NPK(W)	82.55 a	37.4 a	35.9	12.8 a	74.4	107.9 a	43.9
1/2NPK(W)	83.20 a	27.2 ab	-1.1	9.6 b	31.5	81.1 b	8.9
PK	82.02 a	26.5 ab	-3.6	8.8 bc	20.5	101.8 a	36.6
NK	82.29 a	27.1 ab	-1.5	10.0 b	37.0	82.5 b	10.7
NP	82.20 a	27.2 ab	-1.1	9.6 b	31.5	81.1 b	8.9
关中平原 Guanzhong plain							
NPK	83.52 a	106.5 b	—	18.8 c	—	111.8 b	—
NPK(W)	83.29 a	127.1 ab	19.3	24.0 b	27.7	123.5 b	10.5
1/2NPK(W)	83.79 a	151.0 a	42.1	37.4 a	97.7	177.7 a	59.1
PK	83.48 a	127.1 ab	19.3	21.9 b	16.5	133.5 b	19.4
NK	83.22 a	121.0 ab	13.6	17.4 c	-7.4	117.7 b	5.3
NP	83.18 a	131.0 ab	23.0	27.4 ab	45.7	115.5 b	3.3

注:同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

3 讨论与结论

同一施肥技术在不同生态区试验结果结果大不相同。渭北旱塬区,NPK(W)水肥处理产量平均达41.14 t·hm⁻²,较传统 NPK 施肥增产 7.7%。而同样是 NPK(W)水肥在关中北部凤翔试验园结果显示,3年平均产量高达 72.46 t·hm⁻²,但是与传统 NPK 施肥处理相比,增产 2.48%,未达到差异显著水平。相同施肥技术方案,关中凤翔果园产量较渭北蒲城果园高出 31.35 t·hm⁻²,这主要与当地果园土壤肥力有一定关系;其次,两不同生态区虽都是富士品种,但栽培密度也不同,关中凤翔果园栽培密度高于渭北旱塬区,也是促成产量不同的原因。最后,由于两地的管理水平不同,关中北部凤翔果园可以灌溉,受气候条件影响较小,而渭北旱塬主要靠天气养地,气候影响较大。但不论是哪个生态区,NPK(W)水肥或者 1/2NPK(W)水肥均利用果实增产增收。这主要是因为该施肥技术水分和养分在时间上的同步和空间上的耦合,有效地解决传统施肥方式下水肥供应不协调和耦合效应差的弊端,可以明显提高养分和水分的利用效率,同时也有助于降低果园的养分流失量^[3,15]。Klein 等^[16]报道,果园采用水肥一体化技术可以节省氮肥约 30%。黄丽华等^[17]指出,应用水肥一体化技术可以使梨单位产量的总氮流失量较常规施肥减少 45.2%~56.4%。本研究结论与其相一致。本研究中,在相同肥料用量的前提下,

采用水肥技术显著提高了苹果产量,渭北旱塬区果园和关中平原区果园增幅分别为 7.77%和 2.48%。

当肥料用量减半时,1/2NPK(W)水肥处理在渭北旱塬区并未表现出增产效果,甚至有减产的风险,而在关中平原区苹果产量却显著增加了 11.01%。可见,水肥一体化施肥技术有增产增效的优越性,但因不同生态区自然环境条件、水热状况和果园土壤肥力的差异,导致水肥一体化技术节肥增效潜力的不同。沈荣开等^[18-19]研究均表明,水肥耦合的增产效应存在一个阈值,低于阈值,增加水肥投入增产效果明显;高于阈值,增加水肥互作增产效应不明显,且造成水肥投入的浪费。这与本研究结果相一致,在果园肥力水平较高的关中平原区加之试验开始前果园养分投入较大(调查发现前期氮肥投入高达 900 kg·hm⁻²),水肥一体化技术在肥料用量减少 50%时,短时间内并未影响到果园的养分供应和苹果的生产。一定程度上海显现出可以提高产量,而且有利于果实品质的改善,达到高产优质的效果。渭北旱塬区因土壤较为贫瘠,供肥能力弱,苹果生产对外源化肥投入的依赖性强,所以肥料用量的大幅下降很可能会影响苹果产量。在肥料用量减半时,存在减产的风险。不同生态区苹果生产对水肥一体化响应的差异与二者水热条件、土壤肥力水平等方面的差异密切相关。

水肥施肥技术对苹果光合速率、气孔导度、蒸腾速率等光合特性均有一定影响^[20-21],从而影响果

实的外观品质和内在品质,如果实硬度、果型指数、果实酸度等,但研究结论目前尚不统一。本研究结果显示,渭北旱塬苹果中可溶性糖含量显著高于关
中平原区,渭北旱塬试验区 NPK(W)水肥处理可溶性糖含量最高为 13.87%。而在关中试验区 NPK(W)水肥处理最高为 10.23%。可滴定酸含量与可溶性糖含量有相反的趋势,在关中试验区可滴定酸含量显著高于渭北旱塬。因此,在糖酸比指标中渭北旱塬 NPK(W)水肥处理其值达到 43.96,而关中凤翔试验区 1/2NPK(W)水肥处理最高,仅为 24.57。可见,果实品质不仅和土壤水分、养分的协调供应有关,还可能与产地环境条件、土壤类型、微气候特征等有密切关系,其内在机理还需进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 赵佐平,高义民,刘 芬,等.化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响[J].园艺学报,2013,40(11):2229-2236.
[2] 赵佐平,同延安.不同施肥处理对富士苹果产量、品质及耐贮性的影响[J].中国农业大学学报,2016,21(4):26-34.
[3] 路永莉,白风华,杨宪龙,等.水肥一体化技术对不同生态区果园苹果生产的影响[J].中国生态农业学报,2014,22(11):1281-1288.
[4] 刘虎成,徐 坤,张永征.滴灌施肥技术对生姜产量及水肥利用率的影响[J].农业工程学报,2012,(S1):106-111.
[5] 臧小平,邓兰生,郑良永,等.不同灌溉施肥方式对香蕉生长和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):484-487.
[6] 樊兆博,刘美菊,张晓曼,等.滴灌施肥对设施番茄产量和氮素表观平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):970-976.
[7] 张大鹏,姜远茂,彭福田,等.常规施肥和滴灌施肥对苹果园土

壤硝态氮分布的影响[J].山东农业科学,2011,(10):54-56.
[8] 孙 霞,郑春霞,柴仲平,等.水氮耦合对南疆地区红富士苹果矿质元素含量的影响[J].水土保持通报,2011,31(2):190-192.
[9] 王进鑫,张晓鹏,高保山.水肥耦合对矮化富士苹果幼树的促长促花作用研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):47-50.
[10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000:302-316.
[11] 赵佐平,同延安,刘 芬,等.长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力影响[J].应用生态学报,2013,24(11):3091-3098.
[12] 赵佐平,同延安,高义民,.不同配比施肥对渭北旱源富士苹果产量及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1130-1135.
[13] 刘汝亮,同延安,樊红柱,等.喷施锌肥对渭北旱塬苹果生长及产量品质的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(3):62-65.
[14] 黄显淦,赵天才,王 勤.钾素在我国果树优质增产中的作用[J].果树学报,2000,17(4):309-313.
[15] Hagin J, Lowengart A. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers[J]. Fertilizer Research,1995,43(1/3):5-7.
[16] Klein I, Levin I, Bar-Yosef B, et al. Drip nitrogen fertigation of ‘Starking Delicious’ apple trees[J]. Plant and Soil, 1989,119(2):305-314.
[17] 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):49-53.
[18] 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.
[19] 梁运江,依艳丽,许广波,等.水肥耦合效应对保护地辣椒肥料氮、磷经济利用效率的影响[J].土壤通报,2007,38(6):1141-1144.
[20] 孙 霞,柴仲平,蒋平安,等.水氮耦合对苹果光合特性和果实品质的影响[J].水土保持研究,2010,17(6):271-274.
[21] 孙 霞,柴仲平,蒋平安.滴灌条件下水氮耦合对南疆红富士苹果品质的影响[J].核农学报,2011,25(5):1042-1046.