

不同氮肥追施量下滴灌水量对苹果 产量和品质的影响

唐 龙¹, 曹红霞¹, 李宏礼², 李天星¹, 明 刚²

(1. 西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 洛川县水务局, 陕西 洛川 727400)

摘 要: 为探究不同氮肥追施量下苹果树对滴灌水量的响应机制, 选用 17 a 生富士(长富 2 号)进行田间试验, 果园设 2 个追氮水平(高氮 N_1 1.03 kg·棵⁻¹、低氮 N_2 0.57 kg·棵⁻¹); 采用滴灌灌水方式进行灌溉, 设 3 个灌水量水平(高水 W_1 : 75% θ_f 、中水 W_2 : 70% θ_f 、低水 W_3 : 65% θ_f , 均为灌水上限), 设置 CK(只施肥/ N_1 、 N_2 , 不灌水/ W_0) 为对照, 果园统一追肥时间为 6 月上旬。结果表明: 在苹果生育期内进行灌水可明显提高果树产量, 本试验中在 75% θ_f 下苹果取得最高产量 75 643.20 kg·hm⁻²。各品质指标对水氮的响应存在差异, 具体如下: 在 N_1 水平下, 可溶性糖、可溶性固形物和硬度随灌水量的提高分别先降低 13.80%、4.84% 和 6.33% 后提高 5.27%、3.92% 和 6.32%, 其中 W_1 和 W_3 下的可溶性固形物和硬度均与 W_2 产生显著性差异; V_c 和糖酸比随灌水量的提高而下降, 与 W_3 相比, W_1 下的 V_c 和糖酸比分别降低 44.70% 和 40.83%; 可滴定酸随灌水量的提高而上升, 与 W_3 相比, W_1 下的可滴定酸提高 64.29%。在 N_2 水平下, 可滴定酸和硬度随灌水量的提高而上升, 与 W_3 相比, W_1 下的可滴定酸和硬度分别提高 50.00% 和 6.25%; 可溶性固形物随灌水量的提高先增加 3.44% 后降低 1.29%; V_c 随灌水量的提高显著下降, 与 W_3 相比, W_1 下的 V_c 降低 57.72%。在 N_1 和 N_2 下可溶性糖、 V_c 和糖酸比随灌水的变化趋势一致, 可滴定酸、可溶性固形物和硬度则有所不同, 除 V_c 外 W_1 下的各品质指标基本处于中/高水平。在低灌水量下可溶性固形物、硬度和糖酸比以 N_1 较大, 可滴定酸和 V_c 以 N_2 较大; 在高灌水量下可溶性糖、可溶性固形物、硬度和糖酸比以 N_2 较大, 可滴定酸和 V_c 以 N_1 较大。夏季追施高氮无益于果实综合品质的提高, 而且会导致产量的下降, 本试验中不同灌水量下的产量均表现为: $N_1 < N_2$, 追氮 0.57 kg·棵⁻¹ 时比较适宜果树产量和综合品质的发展。苹果树冠不同位置的果实部分品质指标存在差异, 可溶性糖、可溶性固形物、硬度和 V_c 基本以外幅较大, 树冠外幅平均分别比内幅高 15.03%、7.59%、37.18% 和 9.88%, 可滴定酸和糖酸比则基本相当。

关键词: 苹果; 滴灌; 追氮; 产量; 品质
中图分类号: S275.6; S661.1 **文献标志码:** A

Influence of drip irrigation levels to yield and quality of apple under different amount of nitrogen

TANG Long¹, CAO Hong-xia¹, LI Hong-li², LI Tian-xing¹, MING Gang²

(1. Key Laboratory of Agriculture Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Area of Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shanxi 712100, China;

2. Water Resources Bureau of Luochuan County, Luochuan, Shaanxi 727400, China)

Abstract: In order to explore the response mechanism of apple tree to drip irrigation levels under different amount of nitrogen, selected 17 years Fuji (Changfu 2) for the field experiments. Set up two nitrogen levels (high-nitrogen N_1 1.03 kg·tree⁻¹, low-nitrogen N_2 0.57 kg·tree⁻¹), and three irrigation levels (high – level W_1 : 75% FC, middle – level W_2 : 70% FC, low – level W_3 : 65% FC, total for irrigation upper limitation) in the orchard, put up CK (only applied fertilizer as N_1 and N_2 and no irrigation/ W_0) as control. Topdressing fertilizer was applied in first ten days in June. The results showed that: Irrigation in growing period of apple trees, the production can be significantly increased. In this test,

收稿日期: 2016-07-15 修回日期: 2017-10-14
基金项目: 陕西省水利科技计划项目(2013slkj-48); 陕西省果业发展项目(tg2015-075)
作者简介: 唐 龙(1991—), 男, 安徽宿州人, 硕士, 研究方向为农业节水理论。E-mail: tlwangyixiang@163.com。
通信作者: 曹红霞(1971—), 女, 新疆五家渠人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为节水灌溉理论与技术研究。E-mail: chx662002@163.com。

the 75%FC had obtained the highest yield as $75\,643.20\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. But each quality index still existed different response to water and nitrogen. The details are as follows: Under the level of N_1 , at first the soluble sugar, soluble solid and hardness were decreased 13.80%, 4.84% and 6.33%, respectively and then increased 5.27%, 3.92% and 6.32% respectively with increasing irrigation quantity. Among them the soluble solid and hardness under W_1 and W_3 had produced significant difference compared with W_2 . The Vc and sugar-acid ratio were decreased with increasing irrigation quantity. The Vc, sugar and acid ratios under W_1 were decreased 44.70% and 40.83% respectively, compared with W_3 . However, the titratable acid was increased with increasing irrigation quantity, the titratable acid under W_1 was increased 64.29%, compared with W_3 . Under the level of N_2 , the titratable acid and hardness were increased with increasing irrigation level, under W_1 , the titratable acid and hardness were increased 50.00% and 6.25% respectively, compared with W_3 . The soluble solid was significant increased 3.44% at first and then decreased 1.29% with increasing irrigation level. The Vc was significantly decreased with increasing irrigation level. Under W_1 , the Vc was decreased 57.72%. Under N_1 and N_2 , the soluble sugar, Vc and sugar acid ratio had the same change trend with irrigation change, compared with W_3 . But there were some differences in titratable acid, soluble solids and hardness. Except Vc, each quality index under W_1 was in a medium/high level. Under lower irrigation level, the soluble solids, hardness and sugar acid ratio had a higher value with N_1 , and N_2 , the titratable acid and Vc had a higher value with N_2 . Under higher irrigation level, the soluble sugar, soluble solids, hardness and sugar acid ratio had a higher value with N_1 , and the titratable acid and Vc had a higher value with N_1 . In summer, high nitrogen topdressing was non conducive to improve fruit comprehensive quality, but caused to decrease the production. Under different irrigation levels, the productions were showed as: $N_1 < N_2$, $0.57\text{ kg}\cdot\text{tree}^{-1}$ nitrogen was appropriate for apple tree in this experiment. The fruit quality existed some difference between different location in tree – crown, the soluble sugar, soluble solid, hardness and Vc basically had a larger value at outer tree – crown that were higher than inside tree – crown 15.03%, 7.59%, 37.18% and 9.88%, respectively, the titratable acid and sugar – acid ratio were roughly equal.

Keywords: apple; drip irrigation; topdressing nitrogen; yield; quality

苹果产业是世界四大水果产业之一,也是我国第一大果品产业。根据联合国粮农组织统计数据^[1],2013 年我国的苹果种植面积和产量分别占世界的 46.19%和 49.10%,遥居世界第一。渭北旱塬是我国的优质苹果生产区^[2],光热资源丰富,但地区年降水量少,降水分布不均,地下水埋藏深^[3],因此水资源成为制约苹果产业发展的主要因子。旱区传统农业灌溉方式主要有漫灌、畦灌、沟灌等,但这些灌溉方式存在耗水量大和水分利用率低等问题。随着科技水平的不断提高与日趋严峻的水资源问题,作为高效节水灌溉技术的滴灌越来越受到社会的关注,前人也进行了相关研究,包括对不同灌溉方式的对比分析^[4],滴灌条件下的灌水定额^[5]和不同时期调亏灌溉^[6]、不同深度滴灌^[7]及水肥耦合策略对果树生长^[8]、产量和品质^[9]、氮素^[10]和水分^[11]运移等方面的研究。

氮素作为重要矿物元素,对苹果有着多方面的影响。束怀瑞^[12]指出,在其它营养元素供应充足的情况下,氮素是构成和决定苹果丰产、稳产和优质的重要因素。彭福田等^[13]研究结果表明,施用氮肥可延长果实生长期,进而提高单果重与单株产量,但可

溶性糖含量降低,且果皮中叶绿素与花青苷的比值上升,改变果实色泽。适量施氮对果树的营养生长、花芽分化、光合作用及坐果等均有促进作用^[14]。果树氮素营养时期分为从萌芽到新梢加速生长的大量需氮期、从新梢旺长高潮后到果实采收前的氮素稳定期和从采收到养分回流的氮素储备期三个时期^[15],全年肥料一般据此分三次施用。但氮素施入过多会导致树体旺长,生殖生长受到抑制等^[14,16],然而并无研究指明这是由基施还是追施过多所导致;同时相关研究表明,果实作为优势库在其生长发育过程中的养分需求优先得到满足^[17],且在以果实为生长中心的果实成熟期,其对氮的吸收征调能力最强^[18]。据此在果实形成后适当提高施氮水平将有利于果实的生长发育。

研究表明,水和氮在一定范围内具有协同作用,氮肥可以增加水分的利用效率,水分有助于土壤养分活化,提高植株对氮的吸收能力,二者的协同效应同时可促进作物产量的提高^[19]。但现有相关研究多集中在小麦 – 玉米^[20]、水稻^[21]和番茄^[22]等作物,对多年生果树的研究则相对较少,或不够深入^[23],尤其是在不同氮肥追施量下果树对灌水量的响应有

待深入探讨,为此,本文采用滴灌灌溉方式,在不同追施氮量的基础上探究灌水量对苹果产量和品质的影响,以期为科学合理的苹果栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2015 年在陕西渭北旱塬中部的洛川县(35°21′09″~36°04′12″ N, 109°18′14″~109°45′47″E)进行,该区属暖温带半湿润大陆性季风气候区。多年平均降水量 592.6 mm,主要集中在 7—9 月份,占全年的 58%,年均蒸发量 1 560 mm。年均气温 9.9℃,最热月为 7 月,平均气温 22.0℃;最冷月为 1 月,平均气温 -4.5℃。年平均风速 2.0 m·s⁻¹,年日照时数 2 527.8 h,日照率 58%,年总辐射量 554.1 kJ·cm⁻²,≥10℃的活动积温为 3 200℃。年均相对湿度 62%,无霜期 184 d。该区地势由东北向西南倾斜,海拔高度 650~1 481 m,地貌以黄土残塬为主,塬面地下水埋深在 60 m 以下,欠缺人工灌溉条件,是典型旱作中、晚熟苹果产业带。土壤类型为黄绵土,土壤容重(γ)为 1.36 g·cm⁻³,田间持水量(θ_f)为 21.4%,0~60 cm 土壤有机质 8.27 g·kg⁻¹,速效氮 15.52 mg·kg⁻¹,速效磷 4.96 mg·kg⁻¹,速效钾 426.44 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

选 17 a 生富士(长富 2 号)为试验树,果树均高 272 cm,平均冠幅东西 243 cm,南北 262 cm,株行距 5 m×4 m,南北向种植,面积 3 840 m²。滴灌区毛管(ϕ 16 mm)顺种植行布置,在每棵树附近毛管上伸出滴灌管(ϕ 12 mm),滴灌管环绕每棵树形成半径 70 cm 的圆环,滴灌管滴头间距 50 cm,每棵树布置 10 个滴头。每个灌水小区采用独立水表和水阀控制灌

水。采用轮作沟施方式进行施肥,在行间或株间的树冠外围挖沟(沟中心距树干约 80 cm),沟长 40~50 cm,沟宽 20~30 cm,沟深 20~30 cm。3 月初,每棵树施 N 0.56 kg, P₂O₅ 1.12 kg, K₂O 1.05 kg;6 月初追肥时,除 N 素外,每棵树均施 K₂O 0.18 kg, S 0.63 kg。果园进行常规管理。

根据相关研究^[24-25]并结合当地施肥现状,设 2 个追氮水平(高氮 N₁ 1.03 kg·棵⁻¹、低氮 N₂ 0.57 kg·棵⁻¹);采用滴灌灌水方式进行灌溉,滴灌设 3 个灌水量(W₀ 为对照,高水 W₁:75% θ_f 、中水 W₂:70% θ_f 、低水 W₃:65% θ_f ,均为灌水上限),设置 CK(只施肥/N₁、N₂,不灌水/W₀)为对照区。对照区同样设 N₁ 和 N₂ 两个追氮水平,氮肥随其它肥料一次施入,果园追肥时间统一为 6 月上旬。每处理设 3 个重复,重复四周设置保护行,划为 1 个小区,每个小区 15 棵树。共 8 个处理(见表 1)。根据前期试验观测,滴灌和管灌的湿润比分别取 0.30 和 0.45,计划湿润层均为 0.8 m。

灌水定额的确定。每小区在距树干 2 m 位置布设 2~3 个土壤水分观测点,土钻取土,以 0.8 m 深的实际平均土壤含水率作为灌水依据,若其接近 60% θ_f ,则进行灌溉。通过计算其与设计水平的差值确定灌水量。公式为:

$$Q = 666.7PH(\theta_{\text{上}} - \theta_{\text{下}})\gamma/\eta \tag{1}$$

式中, Q 为 666.7 m² 的灌水量(m³); P 为湿润比; H 为计划湿润层(m); $\theta_{\text{上}}$ 为灌水上限(%); $\theta_{\text{下}}$ 为灌水下限(%); γ 为土壤容重(g·cm⁻³); η 为灌溉水利用率(%)。

全生育期共灌水 3 次,分别在 6 月 6 日,7 月 24 日和 8 月 24 日。滴灌的灌溉水利用率为 98%。

表 1 试验处理及灌水量
Table 1 Experiment treatments and irrigation quantity

处理 Treatment	施氮水平 Nitrogen level	灌水量水平 Irrigation level	灌水定额 Irrigation quota/(m ³ ·hm ⁻²)			灌溉定额 Irrigation quota /(m ³ ·hm ⁻²)
			06-06	07-24	08-24	
W ₁ N ₁	N ₁	W ₁	81.60	156.60	184.80	423.00
W ₁ N ₂	N ₂					
W ₂ N ₁	N ₁	W ₂	46.35	120.60	148.95	315.75
W ₂ N ₂	N ₂					
W ₃ N ₁	N ₁	W ₃	15.45	84.60	112.95	213.00
W ₃ N ₂	N ₂					
W ₀ N ₁	N ₁	W ₀				0
W ₀ N ₂	N ₂					

1.3 测定项目及方法

土壤水分测定:采用烘干称重法。土钻取样深度为 2 m,每 10 cm 为 1 层。观测时间为每年果树萌芽前(3 月中旬)至果树落叶休眠期,每 15 d 一次(图 1)。

果径测定:从果实直径 2 cm 左右开始,在树冠外围不同方向选择生长正常的单果,每处理 12 个,每 15 d 测定其生长量,测量部位用记号笔标记,每次在同一位置用游标卡尺测量果径变化,直至果实采收时为止。

产量测定:苹果于 10 月 25—28 日采摘,每小区取 3 棵标准树进行测产,并用分级板对不同大小苹果进行分级。由于苹果数量较多,在统计果实数目时,将标准树不同等级的苹果分别装入统一规格的箱子中,以多个不同等级箱子中苹果的平均重量和个数与装箱数之积作为标准树的总产量和总个数。

品质测定:在果实采摘期,于每小区标准树的树冠外幅光照较好的部位(LO)和树冠内幅靠近主干的光照较差的部位(LI)分别选取 4—5 颗苹果进行品质测定,重复 3 次。Vc 采用钼蓝比色法测定;可溶性糖采用蒽酮比色法测定;可滴定酸含量采用 NaOH 滴定法测定;可溶性固形物采用 WAY—2S 型阿贝折射仪测定;硬度采用 GY—4—J 型水果硬度计测定。糖酸比用可溶性糖含量与可滴定酸含量的比值表示。

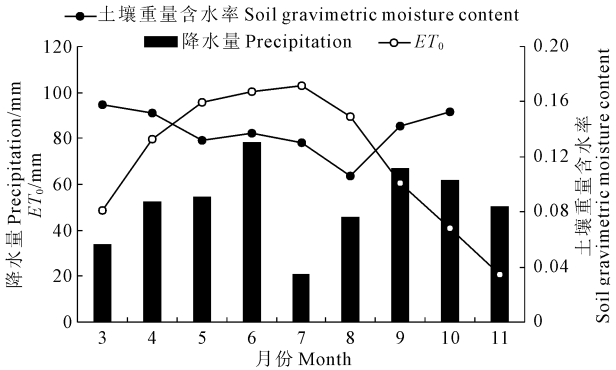


图 1 试验站月降水量、ET₀ 及果园土壤水分状况
Fig.1 Monthly precipitation, ET₀ and orchard soil moisture in experiment station

灌溉水分利用效率(IWUE)(kg·m⁻³)计算公式为:

IWUE = Y/Q (2)

式中,Y 为产量(kg·hm⁻²);Q 为灌水量(m³)。

果形指数(FSI) 计算公式为:

FSI = V/T (3)

式中,V 为纵径(mm);T 为横径(mm)。

增产比(IYP) 计算公式为:

IYP = (Y_a - Y₀)/Y₀ (4)

式中,Y_a 为小区实际产量(kg·hm⁻²);Y₀ 为对照区产量(kg·hm⁻²)。

1.4 数据分析

用 Microsoft Excel 2013 进行数据计算和作图,用 IBM SPSS Statistics 19.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥追施量下滴灌水量对苹果产量和果实大小的影响

表 2 是不同追氮水平下灌溉水量对苹果产量和果实大小的影响。结果表明,灌水量对苹果产量、增产比和不同等级果径比例均有极显著影响(P < 0.001),对果形指数无影响;施氮对苹果的产量、增产比和 80 mm 以下果径的所占比例有极显著的影响(P < 0.01),对 80 mm + 果径占比有显著影响(P < 0.05),对果形指数无显著影响;灌水和施氮的交互作用对增产比和不同等级果径比例均有极显著影响(P < 0.01),对果形指数有显著影响(P < 0.05),对产量无显著影响。

在同一施氮水平下,苹果的产量均随灌水量的提高而增加,且与不灌水相比,增加灌水最高增产 80% 以上(W₁N₁),说明增加灌水可以明显提高果树的产量,且其增产效果不受施氮水平的影响。

在灌水量一定的条件下,高追氮量下的苹果产量低于低追氮量(表 2),这表明氮肥追施过多会导致果树减产。同时,随着灌水量的提高,N₁ 和 N₂ 间的产量差值逐渐缩小,这可能是由于灌水的增加稀释了氮肥浓度,从而减小高氮对产量的抑制作用,这表明提高灌水量可以适当缓解由氮素追施过多而产生的负面作用。其中,以 W₁N₂ 下产量最高。

在市场中,果径 70 mm 以上的苹果被定义为优良品。从各级果径的分布比例(表 2)可以看出,不同处理基本表现为:70~80 mm > 80 mm + > 70 mm - ,且随着灌水量的提高,70 mm 以下果径的占比显著减少,80 mm 以上果径的占比显著增加,这表明提高灌水量有利于苹果优果率的增加。同一灌水量下,70 mm 以下果径的占比均表现为 N₁ > N₂,即低氮肥追施量下的次果率较小,这表明适量追施氮肥有利于果实的生长发育,但如果追施量过多,则会适得其反。其中,以 W₁N₂ 下次果率最低。

不同处理中苹果的果形指数在 0.85~0.89 之间,灌水和施氮对果形指数没有影响,但二者的交互作用对其影响显著(P < 0.05),这表明苹果的果形除主要由自身基因所决定外,一定程度上也受到外

界环境的影响,但这种影响较小。

表 2 不同处理下的苹果产量和果实大小
Table 2 The apple yield and fruit size under different treatments

施氮水平 Nitrogen level	灌水量 Irrigation level	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	增产比 Increasing yield proportion/%	各级果径(横径)所占比列 Proportion of different fruit size/%			果形指数 Fruit sharp index
				80 mm +	70 ~ 80 mm	70 mm -	
N ₁	W ₁	66459.60a	84.12a	31.08ab	56.97b	11.95b	0.85a
	W ₂	52152.60b	44.48b	26.9b	56.89b	16.21a	0.85a
	W ₃	43029.45bc	19.21b	17.16c	63.46a	19.38a	0.86a
	W ₀	36095.55c	0	33.35a	61.34ab	5.31c	0.85a
N ₂	W ₁	75643.20a	31.14a	50.16a	47.70c	2.14c	0.87a
	W ₂	67203.30ab	16.51b	17.19c	80.33a	2.48c	0.86a
	W ₃	67086.75bc	10.59b	31.21b	60.81b	7.98a	0.87a
	W ₀	57679.95c	0	16.78c	78.69a	4.53b	0.86a
W	***	***	***	***	***	***	ns
N	***	***	***	*	**	***	ns
W × N	ns	ns	***	**	***	***	*

注: *, **, *** 分别表示在 $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$ 水平上差异显著;同列数值后不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$),下同。
Note: *, ** and *** indicate significant difference at $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$, respectively. Different small letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$), the same as below.

2.2 不同氮肥追施量下滴灌水量对 IWUE 的影响

图 2 是不同水氮处理下的灌溉水利用效率。在施氮量一定的条件下,其表现为: $W_3 > W_2 > W_1$,即随着灌水量的提高果树的 IWUE 显著降低,表明灌水量和 IWUE 间呈负相关关系,其中最大值出现在 N_2 下的 $W_3(314.96 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$ 。在灌水量一定的条件下, IWUE 表现为: $N_1 < N_2$,即低氮肥追施量下的 IWUE 大于高氮肥追施量,表明高氮肥追施量对 IWUE 的提高有抑制作用。由图 2 可以看出,不同灌水量间的 IWUE 变化幅度表现为: $N_1 < N_2$,这表明追氮量较低时, IWUE 对灌水量的响应较为敏感,同时在滴灌下随着灌水量的提高, N_1 和 N_2 之间的差值逐渐缩小,这表明氮肥对产量的抑制作用因灌水的影响而逐渐减弱,即水氮存在协同作用。

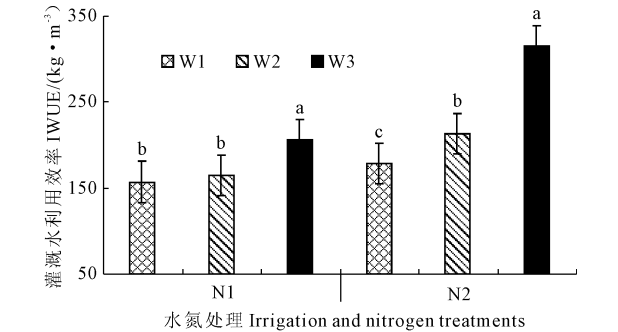


图 2 不同水氮处理下苹果的灌溉水利用效率
Fig.2 Irrigation water use efficiency of apple under different irrigation and nitrogen treatments

2.3 不同氮肥追施量下滴灌水量对不同部位苹果品质的影响

表 3 是灌水量、追氮量以及采样位置对苹果品质的影响。从表中可以看出,采样位置对可溶性固形物、Vc 和硬度均有极显著影响 ($P < 0.001$),对可溶性糖有显著影响 ($P < 0.05$),对可滴定酸和糖酸比无显著影响;灌水量对可滴定酸、Vc 和糖酸比有极显著影响 ($P < 0.01$),对可溶性糖、可溶性固形物和硬度有显著影响 ($P < 0.05$);追氮除对 Vc 有极显著影响外 ($P < 0.001$),对其它品质指标均无显著影响;采样位置和灌水量的交互作用对可溶性固形物有极显著影响 ($P < 0.001$),对 Vc 有显著影响 ($P < 0.05$),对其它品质指标无显著影响;采样位置和追氮的交互作用对可溶性固形物和 Vc 有极显著影响 ($P < 0.001$),对可滴定酸和糖酸比有显著影响 ($P < 0.05$),对其它品质指标影响不显著;灌水和施氮的交互作用对可溶性固形物和 Vc 有极显著影响 ($P < 0.001$),对硬度有显著影响 ($P < 0.05$),对其它品质指标无显著影响;采样位置、灌水量和追氮的交互作用对可溶性固形物、可滴定酸和硬度有极显著影响 ($P < 0.01$),对可溶性糖、Vc 和糖酸比无显著影响。

2.3.1 不同氮肥追施量下滴灌水量对苹果品质的影响 灌水与施氮对果实品质的影响较大。由表 3 可以看出,在 N_1 水平下,可溶性糖、Vc 和糖酸比均以 W_0 下最大,可滴定酸以 W_0 下最小。灌水条件下可溶性糖、可溶性固形物和硬度均表现为: $W_3 > W_1$

> W₂; Vc和糖酸比均表现为: W₃ > W₂ > W₁; 可滴定

表 3 不同处理下苹果的品质
Table 3 Apple quality under different treatments

施氮水平 Nitrogen level	灌水水平 Irrigation level	可溶性糖 Soluble sugar /%			可滴定酸 Titratable acids /%			可溶性固形物 Soluble solid brix/%			Vc /(mg·100g ⁻¹)			硬度 Hardness /kg			糖酸比 Sugar-acid ratio /%		
		均值 Mean	LO	LI	均值 Mean	LO	LI	均值 Mean	LO	LI	均值 Mean	LO	LI	均值 Mean	LO	LI	均值 Mean	LO	LI
N ₁	W ₁	10.19b	10.55	9.83	0.46a	0.57	0.35	15.92ab	16.40	15.43	2.66d	2.91	2.41	7.40a	7.38	7.41	23.46c	18.52	28.40
	W ₂	9.68b	11.08	8.27	0.30b	0.31	0.28	15.32c	15.90	14.73	3.36c	3.93	2.79	6.96b	7.43	6.48	32.70bc	26.46	38.93
	W ₃	11.23ab	11.65	10.80	0.28b	0.27	0.30	16.10a	16.10	16.10	4.81b	5.00	4.62	7.43a	7.61	7.24	39.65b	43.48	35.81
	W ₀	13.16a	14.03	12.28	0.20c	0.23	0.17	15.59b	13.30	16.30	5.16a	6.19	5.03	7.12ab	7.71	6.53	67.08a	62.06	72.10
N ₂	W ₁	10.81ab	12.27	9.34	0.45a	0.44	0.45	16.03b	16.03	16.03	2.41c	2.79	2.03	7.48a	8.03	6.92	24.55c	28.18	20.92
	W ₂	8.64b	9.47	7.81	0.37ab	0.44	0.29	16.24a	17.67	14.80	5.03b	6.17	3.89	7.20ab	7.31	7.09	24.32c	21.74	26.90
	W ₃	11.84b	11.16	12.51	0.30bc	0.31	0.29	15.70c	16.27	15.13	5.70b	6.84	4.56	7.04bc	7.64	6.43	39.40b	35.69	43.10
	W ₀	12.21a	12.99	11.42	0.21c	0.17	0.24	15.54d	16.47	14.60	7.67a	9.89	5.44	6.67c	7.24	6.09	62.56a	77.53	47.59
L		*			ns			* * *			* * *			* * *			ns		
W		*			* * *			*			* * *			*			* *		
N		ns			ns			ns			* * *			ns			ns		
L×W		ns			ns			* * *			*			ns			ns		
L×N		ns			*			* * *			* * *			ns			*		
W×N		ns			ns			* * *			* * *			*			ns		
L×W×N		ns			* *			* * *			ns			* *			ns		

注:以 LO 与 LI 的平均值比较分析不同氮素水平下灌水量的影响。
Note: Using the average of LO and LI to analyze the influence of irrigation under different nitrogen level.

酸表现为:W₃ < W₂ < W₁。即可溶性糖、可溶性固形物和硬度随灌水量的提高先降低后上升,其中各灌水量间的可溶性糖差异不显著,可溶性固形物和硬度在 W₁ 和 W₃ 处理间差异不显著,但与 W₂ 差异显著;Vc 和糖酸比随灌水量的提高而下降,但相邻灌水量间的糖酸比差异不显著;可滴定酸随灌水量的提高而上升,但 W₂ 与 W₃ 差异不显著。在 N₂ 水平下,可溶性糖、Vc 和糖酸比均以 W₀ 下最大,可滴定酸、可溶性固形物和硬度均以 W₀ 下最小。灌水条件下可溶性糖和糖酸比均表现为:W₃ > W₁ > W₂;可滴定酸和硬度表现为:W₃ < W₂ < W₁,可溶性固形物表现为:W₃ < W₁ < W₂,Vc 表现为:W₃ > W₂ > W₁。即可溶性糖和糖酸比随灌水量的提高先降低后上升,但差异不显著;可滴定酸和硬度随灌水量的提高而上升,但相邻灌水量间的差异不显著;可溶性固形物随灌水量的提高先增加后下降,差异显著;Vc 随灌水量的提高显著下降。综上可知,在 N₁ 和 N₂ 下可溶性糖、Vc 和糖酸比随灌水量的变化趋势相同,可滴定酸、可溶性固形物和硬度则有所不同,除 Vc 外,W₁ 下的各品质指标均处于中/高水平。

灌水量不同时各品质指标的平均值对氮素的响应不同。由表 3 可知,可溶性糖在 W₀ 和 W₂ 下表现

为:N₁ > N₂,在 W₁ 和 W₃ 下表现为:N₁ < N₂;可滴定酸在 W₁ 下表现为:N₁ > N₂,在 W₀、W₂ 和 W₃ 下表现为 N₁ < N₂;可溶性固形物和硬度在 W₀ 和 W₃ 下表现为:N₁ > N₂,在 W₁ 和 W₂ 下表现为:N₁ < N₂;Vc 在 W₁ 下表现为:N₁ < N₂,在 W₀、W₂ 和 W₃ 下表现为:N₁ > N₂;糖酸比在 W₁ 下表现为:N₁ < N₂,在 W₀、W₂ 和 W₃ 下表现为:N₁ > N₂。即在低灌水量下高追氮处理可溶性固形物、硬度和糖酸比较大,低追氮处理可滴定酸和 Vc 较大;在高灌水量下低追氮处理可溶性糖、可溶性固形物、硬度和糖酸比较大,高追氮处理可滴定酸和 Vc 较大。这表明果实品质指标对氮素的响应受灌水量的影响,不同的品质指标对不同水氮耦合水平的响应不同,即使在同一水氮水平下,也同样存在差异。且相邻灌水量间各品质指标差值的平均值均比不同施氮水平间各品质指标差值的平均值大,这表明相对于氮素而言,灌水量对品质指标的影响更大。一定灌溉水平下增施氮素可以促进果实内含物的积累,但随着灌水量的提高,氮素的这种作用受到抑制,这可能与水的稀释作用有关。

可溶性糖和可滴定酸属于果实的风味因子,糖酸比是果实酸甜度的体现,试验表明灌水增加使苹

果的甜度下降酸度上升,果实风味趋酸;灌水减少则使苹果的甜度上升酸度下降,果实风味趋甜;糖酸比在 20~60 间苹果的酸甜适度^[26],风味优良, W_0 下的糖酸比大都在适宜范围值之外,说明雨养条件下不适宜果实风味品质的形成。 V_c 能够反映苹果营养品质的高低,其含量越高营养价值越高,试验中灌水量的提高虽然使 V_c 的含量显著下降,但与 W_0 相比,在 W_3 和 W_2 下其降幅低于 W_1 。硬度能够反映果实耐贮性,其值越高越有利于贮藏,本研究中苹果硬度在不同水氮水平下不同,其中以 W_0N_2 最小, W_1N_2 最大,表明适当灌水施氮可以显著提高果实的耐贮性。除 V_c 和糖酸比外, W_1 的其它品质指标均高于 W_2 ,即 W_1 的综合品质优于 W_2 ,这表明适当灌水不仅不会造成果实综合品质的下降,反而会对其产生促进作用。

2.3.2 不同氮肥追施量下滴灌水量对不同部位苹果品质的影响 从表 3 可以看出,由于采样位置的不同,苹果的品质指标呈现差异。可溶性糖、可溶性固形物、硬度和 V_c 基本以 LO 较大,树冠外幅平均分别比内幅高 15.03%,7.59%,37.18%和 9.88%,糖酸比 LO 与 LI 基本相当,这表明树冠外幅苹果的综合品质优于树冠内幅,但由于糖酸比相当,果实的风味差别较小。但各品质指标的整体变化规律仍遵循其对不同灌水和氮素水平的响应,这表明采样位置、灌水量和施氮水平对苹果的品质指标既有各自独立的影响,又存在相互交叉的作用,但不同指标对不同关系的响应存在差异。

3 讨 论

彭福田等^[13]研究了不同负载量下氮素对苹果果实的生长发育的影响,结果表明对重疏果树而言,施氮与否对果实生长速率无显著变化;而不疏果树,施氮可提高果实 SS 活性和生长速率,使均果重增加。门永阁等^[18]研究了苹果不同负载量对碳氮分配利用的影响,结果表明负载量的增加可促进叶片制造的¹³C 同化物向果实中转移,减少其向根系的运输,但降低了对¹⁵N 的吸收利用。适量施氮对果树的营养生长、花芽分化、光合作用及坐果等均有促进作用^[14,27],但施氮过多不仅会造成果树旺长,而且会导致果实品质的下降,还可能使果树的病虫害加重^[14,16]。作为多年生植物,苹果树可对营养元素进行选择吸收,但由于其在固定位置生长,如果管理不当,很容易造成土壤养分不均及树体生长受限等问题^[28]。研究表明,富士苹果的单果质量主要受土壤有机质、碱解氮、有效磷、钾、铁、锌和硼含量的相

互影响^[29]。本试验中高氮素供应导致产量下降,原因可能是:(1) 追施较多氮肥导致果树的营养生长和生殖生长失衡,果树吸收的养分被大量用于营养生长,从而使生殖生长受到抑制,营养生长过旺,最终导致果树减产。(2) 由于氮素与其它元素的协同和拮抗作用,在较高氮素水平下可能出现树体对它其它营养元素吸收和利用的抑制作用。(3) 土壤中过高的氮素抑制了根系活力,使根系的吸收能力下降。但试验中高追氮处理的果树新梢生长量与低氮处理相当(数据未展示),说明高氮未造成果树旺长;同时在果实采摘期发现高追氮处理下的果实出现返青状况,果实返青是由于氮源的增加使得果皮中的叶绿素被大量合成而成青色^[13],这表明高氮处理下树体的氮含量可能高于低氮处理。另外,较高的氮肥追施量可能导致烧根,进而减产,但施肥前后试验地的雨水十分充沛(图 1),这能够减少较高氮肥浓度对根系的负面作用;同时,在打钻取土过程中也并未发现根系异常。因此,果树产量下降的原因可能是由氮素对它其它营养元素的吸收产生抑制而导致。除外界环境因素的影响外,果实的大小主要由基因决定,这也表明树体对各营养成分的需求量是一定的,当某养分吸收超出其合理范围时,就会成为抑制因子,对果树的生长发育产生不利影响。

此外,果实中碳水化合物的累积受碳、氮代谢平衡的影响。在一定范围内增施氮素可以增加叶面积、促进光合作用,提高植株的碳水化合物水平,但由于氮代谢所需的碳源和能量由碳代谢提供,氮素水平的提高促进植株蛋白质和氨基酸增加的同时,碳水化合物的比例下降^[30]。此种变化同样可能是高追氮量下产量较低的原因。

果树对氮素的响应不仅取决于氮肥管理,还受到灌水的影响。灌水既可以促进果树对氮素的吸收^[20-22],提高氮素利用率,又可因灌水不当造成氮素淋失^[31],污染环境。试验中虽然同一灌水量下高氮处理的产量低于低氮,但随着灌水量的提高不同氮水平间的差异逐渐缩小,这表明适当提高灌水量可以促进氮素的吸收利用,但不能消除这种差异,这也表明灌水只能适当缓解氮素的负面作用,而且灌水过多容易造成氮素的淋失^[31],间接导致氮素利用率的下降,这同时表明在一定程度上氮素对产量的影响权重比灌水更大。灌水对果树产量与品质均产生影响。周罕觅^[32]的研究表明增加灌水量可以提高苹果着色指数,但降低了果形指数。张永丽^[33]的研究表明适当增加灌水量可显著提高小麦的产量,水分利用效率随灌水量的增加显著下降,同时小麦

品质也受到影响。本试验结果也表明灌水量的增加在提高苹果产量的同时使得灌溉水利用率下降,各品质指标随灌水量的增加同样产生变化,但对不同氮素水平下灌水的响应存在差异。灌溉水的利用效率不仅受到灌水量的影响,同时也受到氮素的影响,邢英英^[22]的研究表明水分利用效率与灌水量存在负相关关系,适宜的施氮水平有助于提高水分利用效率,本试验同样有类似结果,即灌水量的提高使灌溉水利用率下降,且在 N_2 下的灌溉水利用效率高于 N_1 。孙霞^[23]通过对滴灌条件下的水氮耦合研究发现,水氮耦合对苹果品质有一定影响,适当提高灌水和施氮可提高果树产量,但对改善果形无益;高氮不利果实内含物的积累,可滴定酸随灌水和施氮量的增加而增加,水分和氮素过高均不利于果实品质的形成。这与本试验部分研究结果一致,试验中同样表明灌水的增加可以提高果树产量,但增加施氮量则对果树产量产生负作用,灌水和施氮的交互作用对果形指数有显著影响,施氮量不同对果实品质无显著影响,但可滴定酸随灌水的增加而减少。同时,孙霞的研究也表明适量施氮可促进可溶性糖的累积,而彭福田^[13]的研究结果则表明可溶性糖随施氮量的增加而降低。本试验条件下,在 W_0 和 W_2 时以高施氮处理下的可溶性糖较大,在 W_1 和 W_3 时则以低施氮处理下的较大。这种差异一方面可能是由于试验的立地条件^[34]和试材不同,另一方面可能是水氮耦合作用的不同导致。本试验中相邻灌水处理间的部分品质指标差异不显著,这可能与灌水量差异较小有关。

果树的透光和郁闭状况同样影响苹果的产量和品质,张强^[35]的研究表明在树冠同一水平高度上,果实的单果质量、可溶性固形物含量和糖酸比多数为透光树大于郁闭树,可滴定酸含量为郁闭树高于透光树。本试验中的可溶性固形物含量表现出相同的变化趋势,基本以树冠外幅较大,但可滴定酸表现出相反规律,这可能是因为其对透光树枝的修剪量较大,使树体生长发育不同导致;同时本试验为同一树体不同位置的比较,其则是不同树体间的比较。树冠不同位置温度和光照的不同对苹果也有较大影响^[36],Dumas^[37]的研究表明果实中 Vc 含量主要受光照的影响,Harris^[38]的研究显示在同一植株上,外侧光照条件较好的果实的 Vc 含量要高于内侧阴蔽处,本研究结果也表明树冠内外幅苹果的品质指标均存在差异,果实 Vc 含量外幅较高。这可能是由于其接受的温度和光照不同而导致,外幅光照充分温度较高,内幅则光照相对较弱温度较低。

由于气候暖干化及生产不断扩大等方面的影响,黄土高原土壤干燥化程度不断加深^[30],加之渭北旱塬 80% 属雨养果园^[39],苹果生产出现频繁的年际波动,这可能是由于受到年际降水变化的影响^[40]。此外,苹果蒸腾耗水作用强烈,如果不进行适时适量的补充灌溉,不仅影响果树的生长和产量的提高,而且会导致土壤干燥化进一步加剧^[30],不利于苹果产业的可持续发展和生态环境的保护。在水资源匮乏的旱区果园采用滴灌灌溉方式,不但可以从一定程度上缓解农业用水问题,而且可使有限的水资源获得更大的经济效益。目前苹果价格变化较大,如何使农民在不同生产年份均以较低水肥投资成本获得较高的经济收益将是后续研究的重点内容。

4 结 论

1) 在苹果生育期内进行灌水可明显提高果树产量,本试验中在 75% θ_f 下苹果取得最高产量 75 643.20 kg·hm⁻²。

2) 各品质指标对水氮的响应存在差异。在 N_1 水平下,可溶性糖、可溶性固形物和硬度随灌水量的提高分别先降低 13.80%、4.84% 和 6.33% 后提高 5.27%、3.92% 和 6.32%,其中 W_1 和 W_3 下的可溶性固形物和硬度均与 W_2 差异显著;Vc 和糖酸比随灌水量的提高而下降,与 W_3 相比, W_1 下的 Vc 和糖酸比分别降低 44.70% 和 40.83%;可滴定酸随灌水量的提高而上升,与 W_3 相比, W_1 下的可滴定酸提高 64.29%。在 N_2 水平下,可滴定酸和硬度随灌水量的提高而上升,与 W_3 相比, W_1 下的可滴定酸和硬度分别提高 50.00% 和 6.25%;可溶性固形物随灌水量的提高先增加 3.44% 后降低 1.29%;Vc 随灌水量的提高显著下降,与 W_3 相比, W_1 下的 Vc 降低 57.72%。在 N_1 和 N_2 下可溶性糖、Vc 和糖酸比随灌水量的变化趋势一致,可滴定酸、可溶性固形物和硬度则有所不同,除 Vc 外 W_1 下的各品质指标均处于中/高水平。在低灌水量下可溶性固形物、硬度和糖酸比以 N_1 较大,可滴定酸和 Vc 以 N_2 较大;在高灌水量下可溶性糖、可溶性固形物、硬度和糖酸比以 N_2 较大,可滴定酸和 Vc 以 N_1 较大。

3) 夏季追施高氮无益于果实综合品质的提高,而且会导致产量的下降。本试验中不同灌水量下的产量均表现为: $N_1 < N_2$,追氮 0.57 kg·棵⁻¹时比较适宜果树产量和综合品质的发展。

4) 苹果树冠不同位置的果实部分品质指标存在差异。可溶性糖、可溶性固形物、硬度和 Vc 基本以外幅较大,树冠外幅平均分别比内幅高 15.03%,

7.59%,37.18%和9.88%,可滴定酸和糖酸比则基本相当。

参 考 文 献:

[1] FAOSTAT[DB]. <http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC>. [2016-5-20].

[2] 高义民. 陕西渭北苹果园土壤养分特征时空分析及施肥效应研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

[3] 王力, 邵明安, 张青峰. 陕北黄土高原土壤干层的分布和分异特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 436-442.

[4] 李巧珍, 郝卫平, 龚道枝, 等. 不同灌溉方式对苹果园土壤水分动态、耗水量和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 128-133.

[5] 李怀有, 王斌, 梁金战. 苹果滴灌灌水定额试验研究[J]. 节水灌溉, 1999, (6): 23-25.

[6] 武阳, 王伟, 雷廷武, 等. 调亏灌溉对滴灌成龄香梨果树生长及果实产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 118-124.

[7] 阎红丽, 邹养军, 马锋旺, 等. 不同深度滴灌对苹果幼苗生长及生理特性的影响[J]. 节水灌溉, 2012, (3): 29-32.

[8] 张大鹏. 不同滴灌施肥方案对苹果生长及吸收、分配和利用的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2012.

[9] 路永莉, 高义民, 同延安, 等. 滴灌施肥对渭北旱塬红富士苹果产量与品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013, (1): 48-52.

[10] 习金根, 周建斌. 不同灌溉施肥方式下尿素态氮在土壤中迁移转化特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 271-275.

[11] 刘晓英, 杨振刚, 王天俊. 滴灌条件下土壤水分运动规律的研究[J]. 水利学报, 1990, (1): 11-21.

[12] 束怀瑞, 顾曼如, 黄化成, 等. 苹果氮素营养研究 I 施氮效应[J]. 山东农学院学报, 1981, (2): 23-31.

[13] 彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 等. 不同负荷水平下氮素对苹果果实生长发育的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(6): 690-694.

[14] 李文庆, 张民, 束怀瑞. 氮素在果树上的生理作用[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2002, 33(1): 96-100.

[15] 顾曼如, 张若杼, 束怀瑞, 等. 苹果氮素营养研究初报—植株中氮素营养的年周期变化特性[M]. 园艺学报, 1981, 8(4): 22-28.

[16] 张绍铃. 施氮量对不同树势红富士苹果生长和品质的影响[J]. 河南农业科学, 1993, (5): 28-30.

[17] 彭福田, 姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 361-367.

[18] 门永阁, 安欣, 许海港, 等. 不同负载量对苹果¹³C和¹⁵N分配、利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 702-708.

[19] 王小彬, 代快, 赵全胜, 等. 农田水氮关系及其协同管理[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 7001-7015.

[20] 吕丽华, 董志强, 张经廷, 等. 水氮对冬小麦—夏玉米产量及氮利用效应研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(19): 3839-3849.

[21] 孙永健, 孙园园, 徐徽, 等. 水氮管理模式对不同氮效率水稻氮素利用特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(9): 1639-1649.

[22] 邢英英, 张富仓, 张燕, 等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(4): 713-726.

[23] 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.

[24] 刘侯俊, 巨晓棠, 同延安, 等. 陕西省主要果树的施肥现状及存在问题[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 38-44.

[25] 赵佐平, 同延安, 刘芬, 等. 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1003-1009.

[26] 贾定贤, 米文广, 杨儒琳, 等. 苹果品种果实糖、酸含量的分级标准与风味的关系[J]. 园艺学报, 1991, 18(1): 9-14.

[27] 彭福田. 氮素对苹果果实发育与产量、品质的调控[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2001.

[28] 王小英, 同延安, 刘芬, 等. 陕西省苹果施肥状况评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 206-213.

[29] 张强, 魏钦平, 刘惠平, 等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1654-1661.

[30] 曹裕, 李军, 张社红, 等. 黄土高原苹果园深层土壤干燥化特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 72-79.

[31] 吕殿青, 杨进荣, 马林英. 灌溉对土壤硝态氮淋吸效应影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 307-315.

[32] 周罕觅, 张富仓, Roger Kjelgren, 等. 水肥耦合对苹果幼树产量、品质和水肥利用的效应[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12): 173-183.

[33] 张永丽, 于振文. 灌水量对小麦氮素吸收、分配、利用及产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 870-878.

[34] 魏钦平, 程述汉, 唐芳, 等. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 289-292.

[35] 张强, 魏钦平, 王小伟, 等. 乔砧富士苹果树冠枝梢数量和分布对产量与品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1205-1212.

[36] 张建光, 李英丽, 刘玉芳, 等. 高温、强光对苹果树冠不同方位果皮的氧化胁迫研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1976-1980.

[37] Dumas Y, Dadomo M, Di Lucca G, et al. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes[J]. J. Sci. Food Agric, 2003, 83: 369-382.

[38] Harris R S. Effects of agricultural practices on the composition of foods[C]//Harris, R S, Karmas, E. Nutritional Evaluation of Food Processing, 2nd edn. AVI, Westport; CT, 1975: 33-57.

[39] 张社红, 李军, 王学春, 等. 渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟[J]. 生态学报, 2011, 31(13): 3767-3777.

[40] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 7-13.