

滴灌施肥技术参数对苹果品质的影响及综合评价

李 灿¹, 胡田田^{1*}, 吴 勇², 钟永红², 罗利华¹, 张绍武¹

(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全国农业技术推广服务中心, 北京 100193)

摘 要:【目的】探究不同滴灌施肥技术参数对苹果品质的影响。【方法】设置一行树单、双行管(P1、P2)、滴头间距 30 cm、50 cm(D1、D2)、施肥间隔期 15 d、30 d(T1、T2), 氮肥形态尿素、尿素硝酸铵溶液(U、UAN), 分析了苹果单果质量、可溶性糖、维生素 C 含量等品质指标随不同滴灌施肥技术参数的变化情况。【结果】滴灌管布置方式和滴头间距对单果质量、纵横径影响显著, 对果形指数影响不显著。滴灌管布置方式对维生素 C 和可溶性糖含量影响显著, 对可溶性固形物、可滴定酸含量等品质指标影响不显著。在对单果质量、纵横径及维生素 C 含量的影响方面, 滴灌管布置方式和滴灌管间距间也存在显著的交互作用。对可溶性糖含量的影响表现为, 一行两管高于一行一管处理。滴头间距对可滴定酸、可溶性糖、维生素 C 含量, 以及糖酸比、硬度影响均显著, 表现为滴头间距 50 cm 高于滴头间距 30 cm(可滴定酸含量、硬度除外)。施肥间隔期对可滴定酸、糖酸比、固酸比和硬度影响显著, 表现为施肥间隔期 15 d 高于施肥间隔期 30 d(可滴定酸除外)。氮肥形态对单果质量、可溶性糖含量、糖酸比、硬度 4 项指标影响显著, 且 UAN 较 U 分别提高 9.71%、42.27%、47.37%、5.25%。【结论】采用基于主客观组合赋权的 TOPSIS 模型进行苹果品质综合评价指标排序, 筛选出综合品质最优的滴灌施肥技术参数为一行两管、滴头间距 50 cm、施肥间隔期 15 d、尿素硝酸铵溶液处理组合。

关键词: 苹果品质; 滴灌管布置方式; 滴头间距; 施肥间隔期; 氮肥形态; 主客观组合赋权法

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)04-0497-12

Effects of drip fertigation technical parameters on apple fruit quality and comprehensive evaluation

LI Can¹, HU Tiantian^{1*}, WU Yong², ZHONG Yonghong², LUO Lihua¹, ZHANG Shaowu¹

(¹Northwest A & F University/Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Regions, Ministry of Education, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²National Agricultural Technology Extension Service Center, Beijing 100193, China)

Abstract: 【Objective】In order to explore the impact of different drip irrigation and fertilization technical parameters on apple fruit quality, the comprehensive evaluation method was used to evaluate the quality of apples, aiming to select the optimal combination of drip irrigation technology parameters and provide a basis for apple water and fertilizer management. 【Methods】Two capillary tube arrangements in one row (P1) or two rows (P2) were set up, and the distance between two drippers of 30 cm (D1) or 50 cm (D2) was set. Two fertilization cycles of 15 days (T1) or 30 days (T2) and two nitrogen fertilizer forms of urea (U) or urea ammonium nitrate solution (UAN) were applied. The anthrone colorimetric method was used to determine the soluble sugar content, the handheld refractometer was used to determine the soluble solid content, the GY-1 hardness tester was used to determine the fruit hardness, the UV spectrophotometer was used to determine the vitamin C content, and the sodium hydroxide titration method was used to determine the fruit titratable acid content. An electronic balance was used to measure the single fruit weight, and a vernier caliper was used to measure the length and breadth of the fruit. The apple fruit weight, soluble sugar content, vitamin C content and other quality indicators were analyzed with different drip irrigation changes in technical parameters. Fruit shape index was the ratio of

收稿日期: 2020-10-10 接受日期: 2020-12-10

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201508)

作者简介: 李灿, 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树水肥一体化技术模式研究。Tel: 13100976285, E-mail: canli@nwfufu.edu.cn

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 18092259095, E-mail: hutiant@nwsuaf.edu.cn

the longitudinal diameter to the transverse diameter of the fruit, the sugar-acid ratio was the ratio of the soluble sugar content to the titratable acid content, and the solid-acid ratio was the ratio of the soluble solid content to the titratable acid content. The statistical software SPSS 24.0 was used to perform variance analysis and Pearson correlation analysis on the experimental data, which were used to calculate the weight of the TOPSIS model of CRITIC method, entropy weight method and CRITIC-entropy weight method.【Results】The results showed that the arrangement of capillary tubes and the distance between the emitters had a significant influence on the weight and vertical and horizontal diameters of a single fruit, but had no significant influence on the fruit shape index. The capillary tube arrangement had a significant effect on Vc and soluble sugar contents, but had no significant effect on quality indicators like soluble solids and titratable acid contents. There was also a significant interaction between the capillary tube arrangement method and the drip irrigation spacing in terms of the influence on the single fruit weight, the vertical and horizontal diameter and the vitamin C content. The results also showed the soluble sugar content with two tubes in one row was higher than that with one tube in one row. The distance between the emitters had a significant effect on titratable acid content, soluble sugar content, vitamin C content, sugar-to-acid ratio, and fruit hardness. The indicators with a 50 cm distance between emitters were higher than those with a 30 cm distance between emitters (except for titratable acid content and hardness). The fertilization cycle had a significant effect on the titratable acid content, sugar-acid ratio, solid-acid ratio and fruit hardness. The 15-day fertilization cycle was higher than the 30-day fertilization cycle (except for titratable acid content). The form of nitrogen fertilizer had significant influence on the four indexes of single fruit weight, soluble sugar content, sugar to acid ratio, and fruit hardness. Compared with U, UAN increased the four indicators by 9.71%, 42.27%, 47.37% and 5.25%, respectively. The form of nitrogen fertilizer had no significant effect on the other appearance quality of apples, but the UAN treatment had a tendency to increase the longitudinal diameter, transverse diameter and fruit shape index. Using the subjective and objective combination weighting method, the weight value obtained by vitamin C accounted for the largest proportion in the evaluation of apple fruit quality, and the others were soluble solids> hardness> titratable acid> sugar to acid ratio> fruit shape index> solid acid ratio> soluble Sugar> single fruit weight> longitudinal diameter> transverse diameter. The Pearson correlation analysis between the comprehensive quality ranking of apple fruits with different treatments and the ranking of single quality indicators obtained by using the TOPSIS method showed that, except for the shape index and hardness, the ranking of other quality indicators was positively correlated with the comprehensive quality ranking. Fruit diameters, soluble sugar content and sugar-acid ratio were significantly and extremely correlated with the overall quality ranking, and were significantly positively correlated with single fruit weight, soluble solids content, and solid-acid ratio. There was a significant positive correlation with the sugar-acid ratio. It showed that the TOPSIS method can be used for the comprehensive evaluation of apple quality. The quality ranking was suitable for the comprehensive evaluation of fruit quality.【Conclusion】The TOPSIS model based on subjective and objective combination weighting was used to sort the comprehensive evaluation indexes of apple quality, and the technical parameters of drip irrigation and fertilization with the best comprehensive quality were that, one row and two tubes were appropriate, the distance between drippers was 50cm, the fertilization period was 15 days, and the form of fertilizer was urea ammonium nitrate.

Key words: Apple quality; Capillary tube arrangement method; Emitter spacing; Fertilization cycle; Nitrogen fertilizer form; Subjective and objective combination weighting method

中国已经成为世界上最大的苹果生产国,苹果种植面积和产量均占世界的50%以上^[1]。陕西渭北黄土高原地区是我国乃至世界苹果规模化种植面积较大生产基地,也是农业农村部确定的中国苹果优势产业带的重点建设区域^[2-3]。该地区果园施肥大多采用开沟土施,采用水肥一体化或滴灌施肥的很少。在实际果园管理中,由于水肥一体化技术应用不合理,如忽视水肥配比、盲目选择滴头间距等,不仅造成水肥资源浪费、经济成本加大,也不利于苹果品质的提升。研究表明,水肥一体化滴灌技术具有操作简便、节水节肥、改善品质、增产增效的优点^[4]。王玉珏等^[5]的研究认为,滴头间距50 cm较30 cm,不仅有助于提升烟叶化学品质,而且可以降低工程成本、提高生产效益。褚福伟^[6]对棉花滴灌一管两行、一管三行滴水与产量的相关性进行分析讨论,得出一管两行在各种土质上都有促进棉花增产的潜力。可见,滴灌施肥的效果与其技术参数的设置有关。

苹果品质包括外观品质、内在品质及风味品质3个方面^[7]。外观品质指标包括单果质量、果形指数、色泽和整齐度等;内在品质指标包括可溶性固形物、可溶性糖和可滴定酸含量等;风味品质包括糖酸比和固酸比等^[8]。果形指数对鲜食苹果品质评价和分级重要,它直接影响消费者的选择^[7-8]。可溶性固形物含量是食品行业常用的技术参数,是包括糖、酸、维生素和矿物质等物质含量的总称^[9]。苹果风味主要取决于糖酸比及固酸比。目前关于苹果品质的研究主要集中在肥料配施、栽培管理等方面。熊丽莉等^[10]的研究认为,每株施用尿素1.4 kg、SPOF 30 kg、过磷酸钙0.83 kg、磷酸二氢钾1.25 kg时,虾肽有机肥和磷肥协同效力最大。梅闯等^[11]的研究认为,套袋可增加苹果果实光洁度及降低可溶性固形物含量。杨晔等^[12]的研究认为,晋西北地区金红苹果最佳栽植密度为840株·m⁻²。

目前关于苹果品质综合评价的研究多集中于不同产区间相同品种的比较,以及相同产地不同苹果品种之间外观品质或内在品质的分析与评价。白沙沙等^[13]运用主成分分析方法对53个中早熟品种苹果的果皮颜色 a^* 值、单果质量、维生素C含量和可滴定酸含量进行了分析比较,最终优选出老笃、克鲁斯和黄魁等苹果品种。王轩等^[14]对不同产地红富士苹果品质进行系统聚类分析,最终筛选出单果体积、固酸比、硬度等8个具有代表性的苹果品质评价因

子。孟永宏等^[15]用主成分分析法获得代表美八苹果品质的综合指标,并依据建立的综合评价模型对苹果进行分级。综合评价中品质指标的赋权是关键。苹果是一种水果,其品质评价既要考虑其化学成分的含量,也要考虑人们食用的喜好,即要综合主观赋权和客观赋权2个方面。关系分析法(G1法)是一种主观赋权法,以其简便、直观、将定性与定量相结合处理复杂决策问题的特点,得到广泛应用,但没有反映观测值的变异程度^[16]。CRITIC法和熵权法是2种常用的客观赋权法,前者考虑了数据的冲突性和对比强度的影响,后者考虑了数据的离散程度,将这2种方法结合能够使权重值更好地反映测定数据的信息。针对此问题,笔者开展了不同滴灌施肥技术参数的田间试验,测定了成熟期新鲜苹果的单果质量、纵径、横径、果形指数,以及可溶性固形物、维生素C、可溶性糖、可滴定酸含量等11项指标,在各项品质指标分析的基础上,运用综合评价方法对苹果品质进行分析评价,旨在筛选出最优滴灌技术参数组合,为苹果水肥管理提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西省延安市洛川县苹果试验站(N35°47'4",E109°21'44"),该地区属于典型的黄土高原沟壑区,平均海拔1100 m,北温带半湿润大陆性季风气候,太阳辐射能量丰富,年均气温9.2℃,日照时数2552 h,日照率达56%,年总辐射554.1 kJ·cm⁻²,日照充足,昼夜温差大,雨热同季,有利于苹果光合作用生产物质的累积和转移。试验区多年平均降雨量为622 mm,主要集中在7、8月份,约占全年降雨量的80%,试验年内降雨量月值见图1;无霜期167 d;土层厚度80~220 m,质地为中壤,通透性强。供试土壤为黑垆土,基本性状为:有机质含量(w ,后同)7.74 g·kg⁻¹,碱解氮40 mg·kg⁻¹,速效磷18.43 mg·kg⁻¹,速效钾199.40 mg·kg⁻¹。供试果树品种为延长红(富士),基砧为新疆野苹果,中间砧为M26,树龄6 a(年),株行距2 m×4 m。

1.2 试验设计

试验始于2017年10月,采用水肥一体化方式灌水施肥,滴头流量为2 L·h⁻¹。试验采用三因素二水平完全随机设计,分别设置一行树单、双行管(P1、P2),滴头间距30 cm、50 cm(D1、D2),施肥间隔期

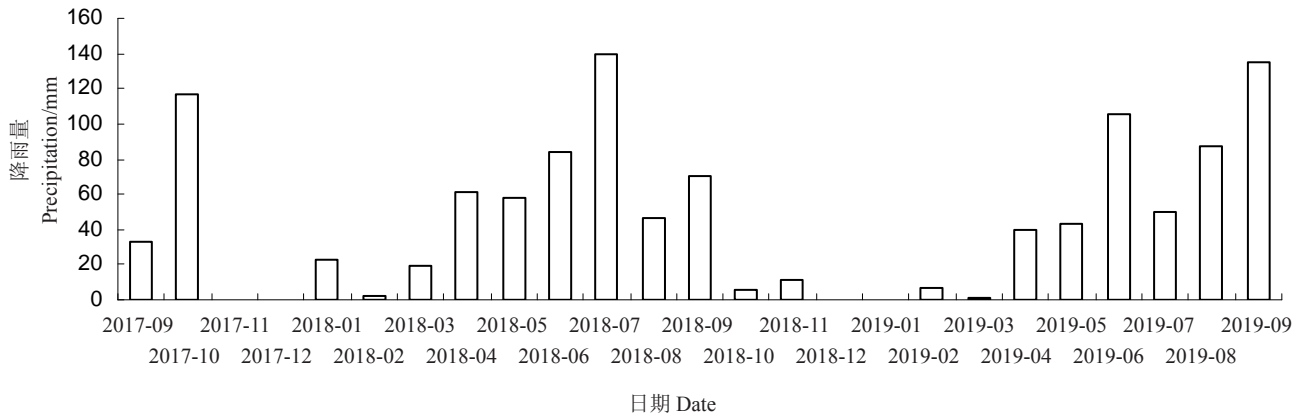


图 1 试验期间降雨量分布

Fig. 1 Rainfall distribution during the experiment

15 d、30 d(T1、T2)共 8 个处理(表 1)。一行两管布置形式为滴灌管铺在树行两侧,距树行 30 cm;一行一管布置形式为滴灌管悬挂在树上。每个试验小区

表 1 滴灌施肥技术参数试验方案

Table 1 Experimental program of drip irrigation fertilization technical parameters

处理 Deals	滴灌管布置方式 Capillary arrangement	滴头间距 Drinker spacing/cm	施肥间隔期 Fertilization cycle/d
P ₁ D ₁ T ₁	一行一管 One tube per line	30	15
P ₁ D ₁ T ₂	一行一管 One tube per line	30	30
P ₁ D ₂ T ₁	一行一管 One tube per line	50	15
P ₁ D ₂ T ₂	一行一管 One tube per line	50	30
P ₂ D ₁ T ₁	一行两管 Two tubes in one row	30	15
P ₂ D ₁ T ₂	一行两管 Two tubes in one row	30	30
P ₂ D ₂ T ₁	一行两管 Two tubes in one row	50	15
P ₂ D ₂ T ₂	一行两管 Two tubes in one row	50	30

面积约为 124 m²,有苹果树 17 株,测定品质时每个处理取 3 次重复。

氮肥形态试验共设置 2 个处理:尿素(U)、尿素硝酸铵溶液(UAN)。U 处理中的氮肥全部由尿素提供,UAN 处理中的氮肥由尿素和硝酸铵共同提供,二者的质量比为 1:1。滴灌施肥技术参数设置相同,具体为一行一管、滴头间距 30 cm、施肥间隔期 30 d。

各处理间灌水量和施肥量相同。试验年份生育期内降雨量较大以及试验园区采用地布覆盖措施,能够有效抑制土壤水分蒸发,0~80 cm 土壤含水率处于 75%~85%田间持水率水平,没有明显的灌溉需求,故灌水量依据施肥量设定,以满足滴头处液体电导率不超过 3 ms·cm⁻¹。氮、磷、钾肥用量(纯量)分别为 240、195、240 kg·hm⁻²。施肥间隔期 30 d 的 4 个处理,不施肥时正常灌水(表 2)。

表 2 不同施肥间隔期下灌水施肥详情

Table 2 Details of irrigation and fertilization under different fertilization cycles

生育期 Growth period	日期 Date	施肥间隔期 Fertilization cycle/d							
		15				30			
		N/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%	灌水量 Irrigation volume/mm	N/%	P ₂ O ₅ /%	K ₂ O/%	灌水量 Irrigation volume/mm
萌芽期 Infancy	3 月 21 日 Mar. 21	10	7.5	4	6	20	15	8	6
开花期 Flowering period	4 月 6 日 Apr. 6	10	7.5	4	6	0	0	0	6
新梢生长期 New shoot growth period	4 月 22 日 Apr. 22	10	7.5	4	6	20	15	8	6
	5 月 9 日 May 9	10	7.5	4	6	0	0	0	6
	5 月 20 日 May 20	10	7.5	4.5	6	20	15	9	6
	6 月 4 日 Jun. 4	10	7.5	4.5	6	0	0	0	6
幼果期 Young fruit stage	6 月 21 日 Jun. 21	5	8.5	10	6	10	17	20	6
	7 月 4 日 Jul. 4	5	8.5	10	6	0	0	0	6
膨大初期 Early expansion	7 月 20 日 Jul. 20	0	2.5	10	4	0	5	20	4
	8 月 4 日 Aug. 4	0	2.5	10	4	0	0	0	4
膨大中后期 Mid-late expansion	8 月 19 日 Aug. 19	0	2.5	10	4	0	5	20	4
	9 月 4 日 Spet. 4	0	2.5	10	4	0	0	0	4
采收后(基施) Base fertilizer	10 月 27 日 Oct. 27	15	14	7.5	8	30	28	15	8
	11 月 10 日 Nov. 10	15	14	7.5	8	0	0	0	8

1.3 测定项目和方法

不同处理果树树形、修剪及结果量均接近,在栽培管理方面均一致,夏、冬季节均进行统一修剪。于果实成熟期测定果实品质,首先在每个小区选择能代表整体生长和坐果情况的果树3株,在每株树不同方向摘取中间部位上大小和颜色均具代表性的苹果8个,将取样的苹果制成苹果汁^[17]。采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,手持折射仪测定可溶性固形物含量^[17],GY-1型硬度计测定果实硬度^[18],紫外分光光度仪测定维生素C含量,氢氧化钠滴定法测定果实可滴定酸含量,电子天平测定单果质量,游标卡尺测定果实纵横径。果形指数是果实纵径与横径的比值,糖酸比是可溶性糖含量与可滴定酸含量的比值,固酸比是可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值。

1.4 数据处理与分析

1.4.1 综合评价 (1)确定评价矩阵。假设用 n 个指标对 m 个待评对象进行排序,则原始数据就形成了一个 m 行 n 列的矩阵。果实品质指标在评价过程中,需要先将其进行无量纲化处理。本研究采用极值法进行数据无量纲化,将单果质量、可溶性固形物含量、可溶性糖含量等11个指标进行一致化转换,其公式如下:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq j \leq m}(x_{ij})}{\max_{1 \leq j \leq m}(x_{ij}) - \min_{1 \leq j \leq m}(x_{ij})} \quad (1)$$

式中: y_{ij} 为指标 x_{ij} 纲化后的值^[13]。

(2)确定各项指标权重。本文采用关系分析法(G1法)进行主观赋权,采用CRITIC-熵权法进行客观赋权,利用组合赋权法将这2种方法所赋权重进行融合,最终得到一个均衡的单一权重。

采用组合赋权法计算主客观组合权重,公式如下:

$$\omega_{j^*} = \left[\frac{(\omega_1 w_1)^{0.5}}{\sum_{j=1}^n (\omega_j w_j)^{0.5}}, \frac{(\omega_2 w_2)^{0.5}}{\sum_{j=1}^n (\omega_j w_j)^{0.5}}, \dots, \frac{(\omega_n w_n)^{0.5}}{\sum_{j=1}^n (\omega_j w_j)^{0.5}} \right] \quad (2)$$

式中: ω_{j^*} 为指标 j 的优化组合权重, $\omega_{1 \sim n}$ 为指标1~ n 的G1法权重, $w_{1 \sim n}$ 为指标1~ n 的CRITIC-熵权法权重, ω_j 为指标 j 的G1法权重, w_j 为指标 j 的CRITIC-熵权法权重。

(3)基于主客观组合赋权的TOPSIS^[19]综合评价。将无量纲化的数据矩阵乘以主客观组合权重值构造加权评价矩阵 Z_{ij} ,用 $Z=(Z_{ij})_{m \times n}$ 表示加权评价矩阵,有:

$$Z_{ij} = y_{ij} \omega_{j^*} \quad (3)$$

将全部样本中各指标的最大值组成理想样本集合,用 Z^+ 表示;将全部样本中各指标的最小值组成负理想样本集合,用 Z^- 表示。即:

$$Z_j^+ = \max(Z_{ij}), Z_j^- = \min(Z_{ij}) \quad (4)$$

式中: Z_j^+ 表示第 j 个指标的最大值, Z_j^- 表示第 j 个指标的最小值, $j=1, 2, \dots, n$ 。确定理想样本 Z^+ 和负理想样本 Z^- ,并计算每个样本对象与理想样本和负理想样本之间的距离 D_i^+ 和 D_i^- ,公式如下:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2} \quad (5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2} \quad (6)$$

采用样本到理想样本的相对接近度(H_i)作为评价依据^[20],公式如下:

$$H_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

1.4.2 数据处理与统计分析 采用统计软件SPSS 24.0对试验数据进行方差分析和Pearson相关分析,采用Excel 2016对试验数据进行CRITIC法、熵权法及CRITIC-熵权法的TOPSIS模型赋权的计算。不同处理下2019年苹果品质指标呈现规律与2018年相似,文中仅以2018年数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 滴灌施肥技术参数对苹果果实品质的影响

2.1.1 滴灌管布置方式对苹果果实品质的影响 由表3可知,滴灌管布置方式对苹果单果质量、纵横径影响显著,其与滴头间距的交互作用也达显著水平。在 D_1T_1 、 D_1T_2 情况下,一行一管处理单果质量高于一行两管处理,分别提升6.32%、16.33%; D_2T_1 、 D_2T_2 情况下则相反,一行两管处理单果质量显著高于一行一管处理,单果质量增加31.65%、37.27%。果实纵、横径呈现趋势与单果质量类似。苹果果形指数在0.8左右,形状接近圆形,滴灌管布设方式对苹果果形指数影响不显著。

从表4可以看出,滴灌管布置方式对维生素C、可溶性糖含量影响显著,对可溶性固形物、可滴定酸含量等其他品质指标影响均不显著。滴头间距30 cm条件下,不论施肥间隔期15 d还是30 d,一行一管维生素C含量均高于一行两管,分别提升67.62%、84.39%;滴头间距50 cm条件下,不论施肥间隔期15 d还是30 d,一行两管处理维生素C含量较一行

表 3 不同滴灌施肥处理苹果果实外观品质

Table 3 Appearance quality of apple fruits treated with different fertilizers

处理 Deals	单果质量 Single fruit mass/g	纵径 Longitudinal diameter/mm	横径 Horizontal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index
P ₁ D ₁ T ₁	234.26±23.39 ab	67.33±4.94 ab	79.90±6.50 b	0.845 5±0.06
P ₁ D ₁ T ₂	260.61±25.24 a	69.03±6.09 a	85.29±3.88 a	0.810 5±0.07
P ₁ D ₂ T ₁	176.10±24.81 c	60.98±7.42 cd	73.96±5.66 c	0.823 2±0.06
P ₁ D ₂ T ₂	169.37±20.13 c	60.07±3.53 d	73.33±3.53 c	0.819 9±0.04
P ₂ D ₁ T ₁	220.34±21.49 b	66.61±4.20 ab	80.52±3.34 b	0.827 9±0.06
P ₂ D ₁ T ₂	224.03±19.20 b	63.73±3.54 bc	80.22±4.12 b	0.795 3±0.04
P ₂ D ₂ T ₁	231.85±25.13 ab	65.13±4.91 b	81.50±5.21 b	0.799 6±0.05
P ₂ D ₂ T ₂	232.62±21.11 ab	65.74±3.95 ab	82.34±5.47 ab	0.800 1±0.05
P	0.086*	0.075*	0.084*	0.963ns
D	0.010*	0.004**	0.012*	0.331ns
T	0.282ns	0.663ns	0.752ns	0.794ns
P×D	0.063*	0.065*	0.069*	0.685ns
P×T	0.394ns	0.346ns	0.141ns	0.661ns
D×T	0.311ns	0.151ns	0.462ns	0.302ns
P×D×T	0.076*	0.085*	0.072*	0.490ns

注:同列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著($p < 0.05$)。*、**和***表示分别在 $p < 0.1$ 、 $p < 0.01$ 和 $p < 0.001$ 处表现出显著性水平,ns 表示差异不显著。下同。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant differences between treatments ($p < 0.05$). *, **, and *** indicate significant levels at $p < 0.1$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$, respectively, ns indicates that the difference is not significant. The same below.

表 4 不同滴灌施肥处理苹果果实内在品质及风味品质

Table 4 Different drip irrigation and fertilization treatment apple fruit intrinsic quality and flavor quality

处理 Deals	w(可溶性固形物) Soluble solids/%	w(可滴定酸) Titratable acid/%	w(Vc)/ (mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar/%	糖酸比 Sugar-acid ratio	固酸比 Solid-acid ratio	硬度 Hardness/ (kg·cm ⁻²)
P ₁ D ₁ T ₁	13.03±0.60	0.14±0.03 c	4.09±0.59 bcd	4.66±0.27 d	35.14±3.79 b	99.09±9.62 ab	7.37±0.90 bcde
P ₁ D ₁ T ₂	13.46±0.30	0.35±0.03 a	4.82±0.49 ab	5.71±0.02 bc	23.69±2.33 b	39.13±4.63 c	7.05±0.63 e
P ₁ D ₂ T ₁	12.60±0.62	0.23±0.05 b	3.30±0.93 bcd	5.63±0.49 bc	25.80±2.99 b	58.53±8.93 bc	7.11±0.52 de
P ₁ D ₂ T ₂	13.63±0.38	0.24±0.02 b	5.44±1.19 ab	5.55±0.41 cd	22.09±1.20 b	60.58±5.79 bc	7.16±0.64 cde
P ₂ D ₁ T ₁	13.77±1.41	0.23±0.03 b	2.44±0.62 cd	5.04±0.40 cd	26.31±2.96 b	58.26±2.95 bc	7.65±0.72 a
P ₂ D ₁ T ₂	13.90±0.25	0.29±0.04 ab	2.04±0.52 d	5.87±0.45 bc	20.15±2.04 b	47.63±10.35 bc	7.47±0.65 ab
P ₂ D ₂ T ₁	13.36±0.85	0.13±0.04 c	4.52±1.51 abc	7.75±0.59 a	59.62±9.23 a	123.84±28.11 a	7.42±0.68 abcd
P ₂ D ₂ T ₂	12.83±0.97	0.24±0.02 b	6.55±0.95 a	6.31±0.06 b	16.84±1.94 b	53.47±5.14 bc	6.78±0.45 f
P	0.849ns	0.469ns	0.078*	0.001**	0.191ns	0.777ns	0.167ns
D	0.226ns	0.025*	0.003**	<0.001 ***	0.036*	0.324ns	0.072*
T	0.243ns	0.036*	0.894ns	0.221ns	0.025*	0.049*	0.014*
P×D	0.812ns	0.004**	0.024*	0.004**	0.013*	0.336ns	0.015*
P×T	0.141ns	0.038*	0.814ns	0.001**	0.349ns	0.962ns	0.460ns
D×T	0.635ns	0.023*	<0.001 ***	0.018*	0.126ns	0.405ns	0.005**
P×D×T	0.478ns	<0.001 ***	0.023*	0.044*	0.014*	0.007**	0.072*

一管处理分别提高 36.97%、20.40%。在 2 个施肥间隔期及两个滴头间距下,可溶性糖含量均表现出一行两管处理高于一行一管处理的趋势,且在滴头间距 50 cm 条件下差异达显著水平。

2.1.2 滴头间距对苹果果实品质的影响 由表 3 可

知,滴头间距对单果质量、纵横径影响显著,对果形指数影响不显著。一行一管条件下,不论施肥间隔期 15 d 还是 30 d,均是滴头间距 30 cm 处理单果质量大于滴头间距 50 cm 处理,分别提高 33.03%、53.87%,一行两管条件下,不论施肥间隔期 15 d 还

是30 d,均是滴头间距50 cm处理单果质量大于滴头间距30 cm处理,分别提高5.22%、3.83%。果实纵、横径呈现趋势与单果质量类似。

从表4可以看出,滴头间距对可溶性固形物含量和固酸比影响不显著,对其他各项品质指标影响均显著。可滴定酸含量表现为滴头间距30 cm高于滴头间距50 cm(一行一管、施肥间隔期15 d时除外)。可溶性糖含量表现为滴头间距50 cm高于滴头间距30 cm(一行一管、施肥间隔期30 d除外)。维生素C含量呈现出的趋势与可滴定酸含量相反,即滴头间距50 cm维生素C含量高于滴头间距30 cm(一行一管、施肥间隔期15 d时除外)。在一行两管施肥间隔期15 d条件下,糖酸比、固酸比均表现为滴头间距50 cm显著高于滴头间距30 cm。硬度表现为滴头间距30 cm高于滴头间距50 cm(一行一管、施肥间隔期30 d时除外)。

2.1.3 施肥间隔期对苹果果实品质的影响 从表3

可以看出,施肥间隔期对苹果果实外观品质的影响均不显著。施肥间隔期对苹果果实内在品质及风味品质有一定影响。由表4可知,施肥间隔期对可滴定酸含量、糖酸比、固酸比和硬度影响显著,对其他品质指标影响不显著。可滴定酸含量表现出施肥间隔期30 d高于施肥间隔期15 d,且在滴头间距50 cm条件下差异达显著水平。糖酸比表现为施肥间隔期15 d高于施肥间隔期30 d,且在一行两管、滴头间距50 cm条件下差异显著。固酸比、硬度表现出的趋势相同,即表现为施肥间隔期15 d高于施肥间隔期30 d(一行一管、滴头间距50 cm时除外)。

2.2 不同氮肥形态对苹果果实品质的影响

表5为不同氮肥形态处理下苹果果实外观品质的变化。由表5可知,氮肥形态对单果质量影响显著,UAN处理单果质量较U处理提高9.71%。氮肥形态对苹果其他外观品质影响不显著,但UAN处理对于纵径、横径、果形指数有提高的趋势。

表5 不同氮肥形态苹果果实外观品质

Table 5 Appearance quality of apple fruit with different nitrogen fertilizer forms

处理 Deals	单果质量 Single fruit mass/g	纵径 Longitudinal diameter/mm	横径 Horizontal diameter/mm	果形指数 Fruit shape index
U	236.04±23.43 b	66.02±5.06 a	82.26±6.10 a	0.805 3±0.07 a
UAN	258.95±29.55 a	68.95±6.53 a	84.28±6.12 a	0.822 2±0.10 a

从表6可以看出,不同氮肥形态对苹果果实内在品质及风味品质有一定影响。整体上看,除可滴定酸含量外,UAN处理的各项指标均高于U处理,

其中,可溶性糖含量、糖酸比、硬度等3项指标差异显著,且UAN处理较U处理分别提高42.27%、47.37%、5.25%。

表6 不同氮肥形态处理下苹果果实内在品质及风味品质

Table 6 Intrinsic quality and flavor quality of apple fruits under different nitrogen fertilizer forms

处理 Deals	w(可溶性固形物) Soluble solids/%	w(可滴定酸) Titratable acid/%	w(Vc)/ (mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar/%	糖酸比 Sugar-acid ratio	固酸比 Solid-acid ratio	硬度 Hardness/(kg·cm ⁻²)
U	13.08±1.24 a	0.25±0.01 a	0.89±0.12 a	5.63±0.97 b	22.97±4.04 b	53.23±7.48 a	7.05±0.63 b
UAN	13.57±1.47 a	0.24±0.01 a	1.51±0.15 a	8.01±1.92 a	33.85±7.61 a	57.58±8.63 a	7.42±0.68 a

2.3 指标权重的确定

2.3.1 G1法 (1)果实品质评价指标的分层。苹果果实品质主要包括外观品质、内在品质和风味品质。外观品质主要包括单果质量、纵径、横径、果形指数;内在品质主要包括可溶性固形物、维生素C、可溶性糖、可滴定酸含量;风味品质主要包括硬度、糖酸比、固酸比。根据苹果果实品质指标的基本性质、指标间的相关性及层次隶属关系,绘制苹果果实品质评价指标体系如图2所示。该评价体系分为3层,第一层目标层(S),为苹果品质综合评价模型;

第二层准则层(T),为苹果品质要素;第三层指标层(U),为具体评价指标。

(2)权重计算。根据G1法赋权设计调查问卷,采用线上线下结合方式发放调查问卷,收到有效调查问卷100份。整理回访数据可知,受访者一致认为内在品质比外观品质和风味品质更重要。外观品质中,认为单果质量和果形指数相对重要;内在品质中多数认为维生素C含量更重要,其次是可溶性固形物含量;风味品质中认为糖酸比更重要。

G1法总权重等于各指标层(T)权重乘以对应要

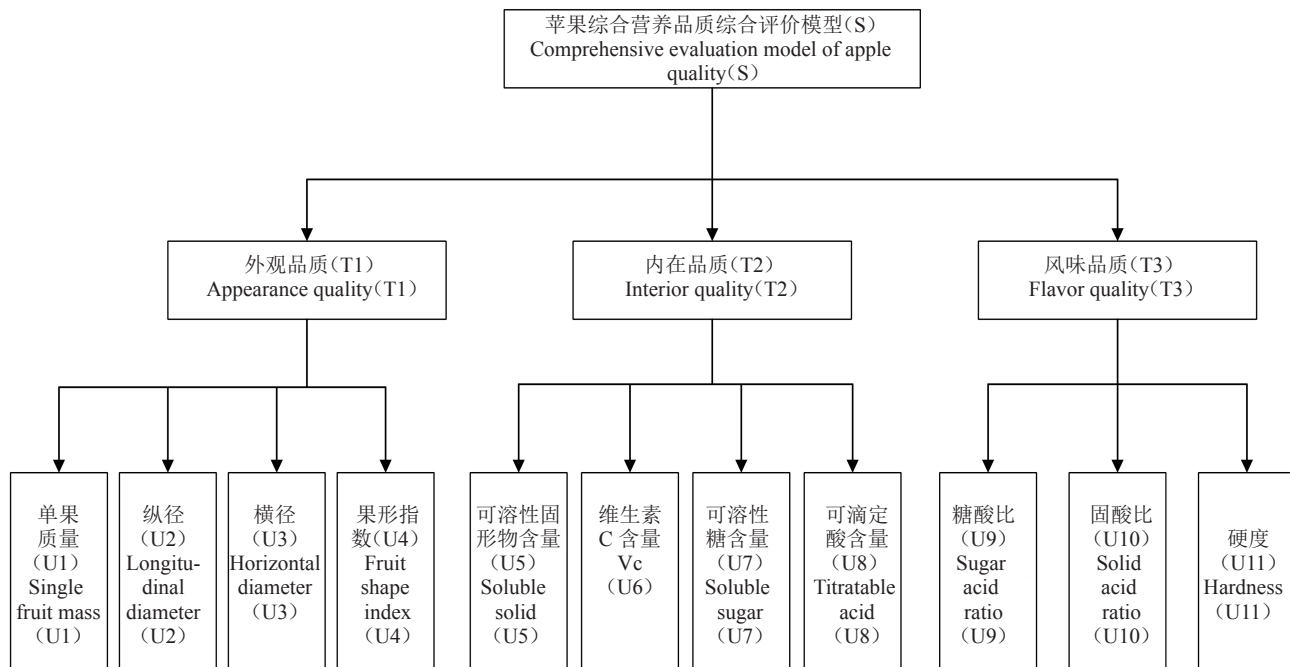


图 2 苹果果实品质评价的指标分层

Fig. 2 The index stratification of apple fruit quality evaluation

素层权重(U)。根据表 7 可以计算出苹果果实各品质指标的权重值,分别为 0.088(单果质量)、0.056(纵径)、0.055(横径)、0.090(果形指数)、0.205(可溶性固形物含量)、0.254(维生素 C 含量)、0.123(可溶性糖含量)、0.116(可滴定酸含量)、0.133(糖酸比)、0.120(固酸比)、0.135(硬度),其中维生素 C 含量的权重值最大,其次是可溶性固形物含量,纵径、横径的权重值较小且数值相差不大。

表 7 苹果果实品质评价指标体系中各要素层和指标层的权重

Table 7 The weight of each element layer and index layer in the apple fruit quality evaluation index system

要素层或指标层 Feature layer or index layer	平均值 Average value	要素层或指标层 Feature layer or index layer	平均值 Average value
T1	0.258 91	U5	0.382 34
T2	0.536 40	U6	0.473 93
T3	0.381 41	U7	0.228 82
U1	0.338 38	U8	0.216 78
U2	0.216 33	U9	0.349 11
U3	0.212 10	U10	0.315 78
U4	0.346 84	U11	0.354 52

2.3.2 客观赋权法 CRITIC-熵权法确定的各指标权重见表 8。可以看出,该方法赋权结果为硬度的权重值最大为 0.122,其次是果形指数和可溶性固形物含量,其余指标的权重值较集中且均小于 0.1。

表 8 苹果果实品质指标的客观赋权法权重值

Table 8 The weight of each element layer and index layer in the apple fruit quality evaluation index system

赋值方法 Assignment method	CRITIC-熵权法 CRITIC-Entropy Method	赋值方法 Assignment method	CRITIC-熵权法 CRITIC-Entropy Method
单果质量 Single fruit mass	0.079	可溶性糖含量 Soluble sugar	0.081
纵径 Longitudinal diameter	0.082	可滴定酸含量 Titratable acid	0.086
横径 Horizontal diameter	0.078	硬度 Hardness	0.122
果形指数 Fruit shape index	0.111	糖酸比 Sugar-acid ratio	0.076
可溶性固形物含量 Soluble solids	0.105	固酸比 Solid-acid ratio	0.080
维生素 C 含量 Vc	0.098		

CRITIC-熵权法得到各指标权重排序依次为硬度>果形指数>可溶性固形物含量>维生素 C 含量>可滴定酸含量>纵径>可溶性糖含量>固酸比>单果质量>横径>糖酸比。

2.3.3 主客观组合赋权 根据公式(2)可以计算出苹果品质指标主客观权重值,比例见图 3,从图中可以看出,维生素 C 含量在苹果果实品质评价中最为重要,其他依次是可溶性固形物含量>硬度>可滴定酸含量>糖酸比>果形指数>固酸比>可溶性糖含量>单果质量>纵径>横径。

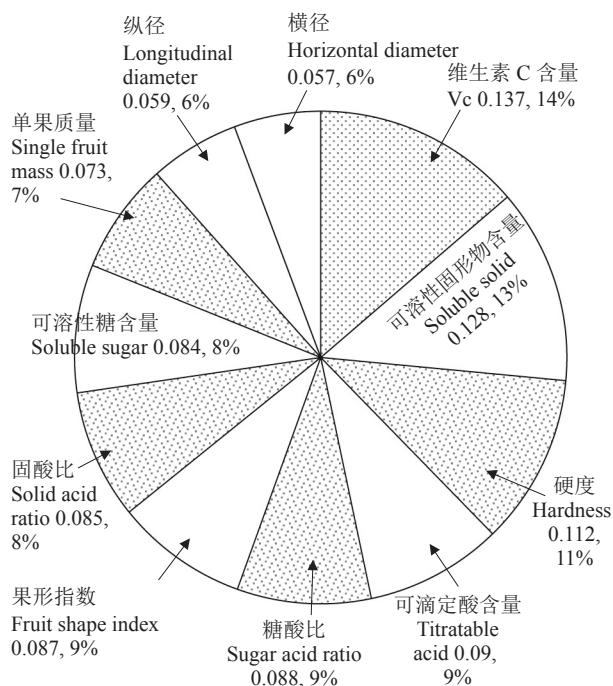


图3 苹果果实品质指标的主客观组合权重值

Fig. 3 Subjective and objective combination weight value of apple fruit quality indicators

2.4 基于主客观组合赋权的TOPSIS综合评价

根据上述主客观组合权重,采用TOPSIS法,得到理想样本和负理想样本集合分别为:

$$Z^+=[0.073, 0.059, 0.057, 0.087, 0.128, 0.137, 0.09, 0.084, 0.088, 0.085, 0.112];$$

$$Z^-=[0.005, 0.006, 0.003, 0.008, 0.023, 0.012, 0.009, 0.010, 0.005, 0.009, 0.029].$$

各样本指标距离理想样本和负理想样本的远近值 D_i^+ 、 D_i^- 以及各样本到理想样本的相对接近度 H_i

及其排序见表9。不同灌水施肥模式下,苹果果实品质越接近于理想值,即 H_i 越大,表明果实综合品质越佳。由表9可以看出,处理 $P_2D_2T_1$ 与理想样本的相对接近度最高为0.6076,其次是处理 $P_1D_1T_2$ 、 $P_1D_2T_2$ 、 $P_2D_1T_1$ 、 $P_2D_2T_2$ 、 $P_1D_1T_1$ 、 $P_2D_1T_2$, 处理 $P_1D_2T_1$ 的相对接近度最低,说明一行两管、滴头间距50 cm、施肥间隔期15 d处理组合下苹果果实综合品质最

表9 不同灌水施肥处理苹果果实品质的综合评价

Table 9 Comprehensive evaluation of apple fruit quality in different irrigation and fertilization treatments

处理 Deals	D_i^+	D_i^-	H_i	排序 Ranking
$P_1D_1T_1$	0.1993	0.1533	0.4348	6
$P_1D_1T_2$	0.1896	0.1811	0.4884	2
$P_1D_2T_1$	0.2422	0.0909	0.2729	8
$P_1D_2T_2$	0.1859	0.1769	0.4876	3
$P_2D_1T_1$	0.1991	0.1818	0.4774	4
$P_2D_1T_2$	0.2272	0.1682	0.4254	7
$P_2D_2T_1$	0.1415	0.2191	0.6076	1
$P_2D_2T_2$	0.2084	0.1883	0.4746	5
U	0.0828	0.0627	0.4311	2
UAN	0.0594	0.0857	0.5905	1

佳。尿素硝铵溶液处理与理想样本的相对接近度高于尿素处理,苹果综合品质优于单纯施用尿素氮。

将运用TOPSIS法得到的不同处理下的苹果果实综合品质排序与单一品质指标排序进行Pearson相关性分析(表10)。由表10可知,除果形指数和硬度外,其他品质指标排序与综合品质排序均呈正相关,其中横径、可溶性糖含量、糖酸比与综合品质排序呈极显著相关,与单果质量、可溶性固形物含量、

表10 不同滴灌模式及施肥间隔期下苹果果实单一品质指标与 H_i 排序的相关性

Table 10 Correlation between single quality index of apple fruit and H_i ranking under different drip irrigation modes and fertilization cycles

品质指标 Quality index	与 H_i 相关性 Correlation with H_i	品质指标 Quality index	与 H_i 相关性 Correlation with H_i	品质指标 Quality index	与 H_i 相关性 Correlation with H_i
单果质量 Single fruit mass	0.468*	可溶性固形物含量 Soluble solids	0.472*	糖酸比 Sugar-acid ratio	0.564**
纵径 Longitudinal diameter	0.384	维生素C含量 Vc	0.352	固酸比 Solid-acid ratio	0.455*
横径 Horizontal diameter	0.513**	可滴定酸含量 Titratable acid	0.359	硬度 Hardness	-0.120
果形指数 Fruit shape index	-0.060	可溶性糖含量 Soluble sugar	0.545**		

注:数字*表示显著性相关($p < 0.05$),**表示显著性极相关($p < 0.01$)。

Note: * after the number indicates a significant correlation ($p < 0.05$), and ** indicates a significant correlation ($p < 0.01$).

固酸比成显著正相关。说明采用 TOPSIS 法可用于苹果品质综合评价。

3 讨 论

目前关于滴灌施肥技术参数的选取对苹果品质的影响研究较少,滴管技术参数包括滴头间距、滴灌管间距、滴灌管长度、滴头流量等^[21-22],本试验主要研究滴灌管布设方式和滴头间距对苹果品质的影响。研究得出一行两管、滴头间距 50 cm、施肥间隔期 15 d 处理苹果的综合品质最好。一行两管的滴灌管布设方式较一行一管而言,左右两侧同时灌水施肥增大了土壤湿润锋半径,同时可有效提高滴水均匀度,提高土壤的保水保肥能力,达到均匀供应水肥的目的,这有利于苹果果实的生长发育,故单果质量、纵横径有所提升。这与段东亮等^[23]研究得出滴灌管布设方式对马铃薯产量影响原理一致。在本研究中,滴头间距 50 cm 处理优于滴头间距 30 cm 处理,这与张秀捷等^[24]分析滴灌带间距和滴头间距对黄瓜产量和经济效益影响的结果一致。有研究指出,在滴头流量相同的条件下,滴头间距越大,轮灌组数越少,因此在满足理想滴头间距的条件下,尽量选择大间距^[25]。

果树生长结果与施肥时期和施肥方式密切相关^[26]。苹果树施肥一般分为基肥和追肥 2 种^[27]。在施肥量相同的条件下,本研究得出施肥间隔期 15 d 处理优于施肥间隔期 30 d 处理,原因在于基肥发挥效用的过程较为缓慢,在果树迅速大量吸收养分的时期,进行补充施肥,才能满足植物生长所需^[28]。施肥间隔期 15 d 处理恰恰缩短了果树补充肥料的时间,不仅能够促进幼果和果树新梢生长,还能促进果树中碳水化合物和蛋白质的形成,提高果树的整体营养水平,改善果实品质^[29]。在等量施肥的条件下,施肥间隔期长时一次供应的养分量增大,会导致氮素等养分发生淋溶逐渐下移或其他损失,不利于果树根系对养分的吸收利用,而少量多次施肥会提高肥料利用效率,避免肥料通过淋溶及气体损失,同时减小污染环境的风险^[30]。

尿素硝铵溶液(UAN),由尿素、硝铵和水配制而成,工业化生产始于 20 世纪 70 年代的美国,目前在美国已得到广泛使用,在中国的推广应用近年来也开始起步^[31]。有研究表明,在玉米上施用尿素硝铵溶液比施用尿素更能提高作物的氮肥吸收量,提高玉米的株高、百粒重等,增产效果明显^[32-33]。与此类

似,本试验得出除可滴定酸含量外,尿素硝铵溶液处理其余各项指标均高于尿素处理。原因可能在于,尿素硝铵溶液是将 3 种氮源集中于一种产品,可以发挥各种氮源的优势。硝态氮可以及时地提供氮源,供果树快速吸收,铵态氮一部分被及时吸收,一部分被土壤胶体吸附,从而延长肥效。而尿素水解需要时间,通常在低温下起到长效氮肥的作用。

4 结 论

滴灌管布置方式、滴头间距对单果质量、纵横径及维生素 C、可溶性糖含量影响显著,且滴灌管布设方式和滴灌间距间存在显著的交互作用。施肥间隔期对可滴定酸含量、糖酸比、固酸比和硬度影响显著。采用基于主客观赋权的 TOPSIS 模型进行苹果品质综合排序,确定了在本试验条件下,一行两管、滴头间距 50 cm、施肥间隔期 15 d 处理的综合品质最好;在氮肥形态方面,尿素硝铵溶液处理综合品质优于尿素处理。

参考文献 References:

- [1] 刘艳武,郭向红,杨凯,续海红,孙西欢,马娟娟,雷涛,贺琦琦. 滴灌条件下不同磷钾肥配比对苹果品质的影响及综合评价[J]. 节水灌溉, 2020(6):33-37.
LIU Yanwu, GUO Xianghong, YANG Kai, XU Haihong, SUN Xihuan, MA Juanjuan, LEI Tao, HE Qiqi. Effects of different ratios of phosphorus and potassium fertilizers on apple quality under drip irrigation and comprehensive evaluation[J]. Journal of Water Saving Irrigation, 2020(6): 33-37.
- [2] 刘芬,王小英,赵业婷. 渭北旱塬土壤养分时空变异与养分平衡研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 110-119.
LIU Fen, WANG Xiaoying, ZHAO Yeting. Spatial and temporal variation of soil nutrient and nutrient balance status in Weibei Rainfed Highland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(2): 110-119.
- [3] 李鹏,王益权,梁化学. 渭北不同树龄苹果品质因子分析与综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 49-54.
LI Peng, WANG Yiquan, LIANG Huaxue. Comprehensive evaluation of fruit quality factors of apple trees at different ages in main growing regions to the North of the Weihe River in Shaanxi Province[J]. Journal of Food Science, 2016, 37(3): 49-54.
- [4] 李鹏峰,谭煌,王嘉航. 滴灌水肥条件对樱桃产量、品质和土壤理化性质的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7): 236-246.
LI Pingfeng, TAN Huang, WANG Jiahang. Effect of water and fertilizer conditions under drip irrigation on yield, quality of cherry and physicochemical properties of soil[J]. Transactions

- of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7): 236-246.
- [5] 王玉珏,薛如君,马二登,赵正雄.滴头间距和施肥方式对烤烟产质量的影响[J].节水灌溉,2019(2):59-63.
WANG Yujue, XUE Rujun, MA Erdeng, ZHAO Zhengxiong. Effects of dripper interval and fertilization on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Water Saving Irrigation, 2019 (2): 59-63.
- [6] 褚福伟.棉花滴灌一管两行与一管三行滴水与产量分析[J].石河子科技,2014(6):9-13.
CHU Fuwei. Analysis of drip irrigation and yield of cotton drip irrigation with one tube, two rows and one tube with three rows [J]. Journal of Shihezi Science and Technology, 2014(6): 9-13.
- [7] 李猛,王雷存,任小林.陕西地区红富士苹果冠层果实品质差异及相关性分析[J].果树学报,2010,27(6):859-863.
LI Meng, WANG Leicun, REN Xiaolin. Diversity and correlation analysis of quality factors for canopy fruit of Fuji apple in Shaanxi area[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(6): 859-863.
- [8] 王静,张磊,杨洋.苹果品质评价指标研究进展[J].宁夏农林科技,2017,58(2):3-5.
WANG Jing, ZHAN Lei, YANG Yang. Research progress of apple quality evaluation index[J]. Journal of Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology, 2017, 58(2): 3-5.
- [9] 马玉娟,赵见军,邓红.陕西洛川富士鲜苹果品质综合评价及分级体系的构建[J].食品科学,2015,36(1):69-74.
MA Yujuan, ZHAO Jianjun, DENG Hong. Construction of comprehensive quality evaluation and grading system for fresh Fuji apple in Luochuan, Shaanxi[J]. Journal of Food Science, 2015, 36(1): 69-74.
- [10] 熊丽莉,段学斌,李进平.虾肽有机肥与磷肥配施对苹果产量和品质的影响[J].园艺与种苗,2020,40(3):40-43.
XIONG Lili, DUAN Xuebin, LI Jinping. Effect of combined application of shrimp-peptide organic fertilizer and phosphatic fertilizer on yield and quality of apple[J]. Journal of Horticulture and Seedlings, 2020, 40(3): 40-43.
- [11] 梅闯,闫鹏,朱燕飞.套袋对阿克苏地区富士苹果品质的影响[J].新疆农业科学,2018,55(9):1626-1632.
MEI Chuang, YAN Peng, ZHU Yanfei. Effects of bagging on fruit quality of Fuji apple in Aksu prefecture[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018, 55(9): 1626-1632.
- [12] 杨晔,陈倩,程子敏.栽植密度对冀西北地区金红苹果生长及果实品质的影响[J].西北林学院学报,2018,33(3):117-122.
YANG Ye, CHEN Qian, CHEN Zimin. Effect of planting density on the growth and fruit quality of *Malus pumila* in Northwestern Hebei[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33 (3): 117-122.
- [13] 白沙沙,毕金峰,王沛.基于主成分分析的苹果品质综合评价研究[J].食品科技,2012,37(1):54-57.
BAI Shasha, BI Jinfeng, WANG Pei. Comprehensive evaluation of apple quality based on principal component analysis[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(1): 54-57.
- [14] 王轩,毕金峰,刘璇.不同产地红富士苹果品质评价因子的选择[J].核农学报,2013,27(10):1501-1510.
WANG Xuan, BI Jinfeng, LIU Xuan. Selection of quality evaluation factors for Red Fuji apple from different producing areas[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(10): 1501-1510.
- [15] 孟永宏,张英,王晓培.基于主成分分析法的美八苹果品质综合评价体系构建[J].食品工业科技,2015,36(9):296-300.
MENG Yonghong, ZHANG Ying, WANG Xiaopei. Establishing comprehensive evaluation system of American No.8 fresh apples based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(9): 296-300.
- [16] 林春荣,杨晓英.基于熵值法和序关系分析法的产品质量评估[J].组合机床与自动化加工技术,2018(10):156-160.
LIN Chunrong, YANG Xiaoying. Product quality evaluation based on entropy method and rank correlation analysis[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2018 (10): 156-160.
- [17] 王光明.金冠苹果食用品质的测定方法:法国核准的标准项目[J].国外农学(果树),1981(2):13-14.
WANG Guangming. Method for measuring the edible quality of Golden Delicious apples: standard items approved by France[J]. Foreign Agriculture (Orchard), 1981(2):13-14.
- [18] 位杰,蒋媛,林彩霞.库尔勒香梨及其芽变和杂交品种(系)果实品质评价因子的选择[J].食品科学,2018,39(11):69-74.
WEI Jie, JIANG Yuan, LIN Caixia. Selection of quality evaluation factors for Korla Fragrant Pear, bud mutants and hybrid varieties (strains)[J]. Journal of Food Science, 2018, 39(11): 69-74.
- [19] 叶霜,李承炎,邱霞.基于组合赋权的TOPSIS模型在果实品质评价中的应用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(10):111-121.
YE Shuang, LI Chengyan, QIU Xia. Application of combination weighting based TOPSIS model in fruit quality evaluation [J]. Journal of Northwest A&F University(Nature Science Edition), 2017, 45(10): 111-121.
- [20] DUTTA B, SINGHA T, GOH M, LAMATA M T, BERDEGAY J L. Post factum analysis in TOPSIS based decision making method[J]. Expert Systems with Applications, 2019, 138: 112806. DOI:10.1016/j.eswa.2019.07.023
- [21] 蔡焕杰,邵光成,张振华.棉花膜下滴灌滴灌管布置方式的试验研究[J].农业工程学报,2002,18(1):45-48.
CAI Huanjie, SHAO Guangcheng, ZHANG Zhenhua. Experimental research on the arrangement of drip irrigation tubes under cotton film[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(1): 45-48.
- [22] 杨立魁,侯新明,高昌珍.涌泉灌溉滴灌管长度与布设方式的确定[J].农机化研究,2014,36(12):119-121.
YANG Likui, HOU Xinming, GAO Changzhen. The length of branch pipe and the best way to decorate in bubble irrigation en-

- gineering design research[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(12): 119-121.
- [23] 段东亮, 吴普特, 汪有科. 沙地马铃薯滴灌滴灌管布设试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 100-102.
DUAN Dongliang, WU Pute, WANG Youke. Experimental study on capillary emplacing of sandland potatoes[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(1): 100-102.
- [24] 张秀捷, 孔清华, 李光永. 滴灌带间距和滴头间距对黄瓜产量的影响及经济效益分析[J]. 节水灌溉, 2010(9): 81-83.
ZHANG Xiujie, KONG Qinghua, LI Guangyong. Impact of drip irrigation belt spacing and emitter spacing on cucumber yield and economic benefit analysis[J]. Journal of Water Saving Irrigation, 2010(9): 81-83.
- [25] 张慧, 时志宇. 滴头流量和间距的优化选择[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(22): 182-183.
ZHANG Hui, SHI Zhiyu. The optimal selection of dripper discharge and spacing of irrigation dripper[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2015, 43(22): 182-183.
- [26] 侯志强, 杨海勇. 土壤施肥时期和方法对果树生长及结果的影响[J]. 农村实用技术, 2019(11): 48-49.
HOU Zhiqiang, YANG Haiyong. The effect of soil fertilization time and method on fruit tree growth and fruiting[J]. Applicable Technologies for Rural Areas, 2019(11): 48-49.
- [27] 杨晓光. 苹果树施肥时期研究[J]. 新农业, 2017(21): 40-41.
YANG Xiaoguang. Study on the fertilization period of apple trees[J]. New Nongye, 2017(21): 40-41.
- [28] 张智, 李曼宁, 杨志, 蔡泽林, 洪婷婷, 丁明. 基于产量、品质、水肥利用效率的草莓水肥耦合综合调控[J/OL]. 农业机械学报, 1-19. [2019-12-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.S.20191218.1312.002.html>. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.12.181
ZHANG Zhi, LI Manning, YANG Zhi, CAI Zelin, HONG Tingting, DING Ming. Coupling regulation of water and fertilizer of strawberry based on comprehensive evaluation of yield, quality and utilization efficiency of water and fertilizer[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1-19. [2019-12-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.S.20191218.1312.002.html>. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.12.181
- [29] 张翠芳, 王世伟, 马彬. ‘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.
ZHANG Cuifang, WANG Shiwei, MA Bin. Carbohydrate accumulation and change during the development of *Juglans regia* ‘Xinxin2’ fruit[J]. Northern Horticulture, 2019(21): 13-19.
- [30] 梁斌, 唐玉海, 王群艳. 滴灌和施用秸秆降低日光温室番茄地氮素淋溶损失[J]. 农业工程学报, 2019, 35(7): 78-85.
LIANG Bin, TANG Yuhai, WANG Qunyan. Drip irrigation and application of straw reducing nitrogen leaching loss in tomato greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(7): 78-85.
- [31] 马彦平. 尿素硝酸铵溶液: 氮肥行业新宠儿[J]. 化工管理, 2014(28): 28-30.
MA Yanping. Urea ammonium nitrate solution: the new darling of the nitrogen fertilizer industry[J]. Chemical Management, 2014(28): 28-30.
- [32] 姚海燕, 杨淑华. 尿素硝酸铵溶液(UAN)对玉米生长及产量的影响[J]. 中国农业信息, 2017(13): 44-45.
YAO Haiyan, YANG Shuhua. Effect of Urea ammonium nitrate solution (UAN) on corn growth and yield[J]. China Agricultural Information, 2017(13): 44-45.
- [33] 侯峰. 硝酸尿素液肥对玉米生长发育的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(1): 72-74.
HOU Feng. Effects of different UAN application on the growth and development of Maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(1): 72-74.