

田时敏,王璐,袁嘉玮,等.氨基酸肥对苹果光合生理及果实品质的影响[J].山西农业科学,2025,53(3):76-82.
TIAN S M, WANG L, YUAN J W, et al. Effects of amino acid fertilizer on photosynthetic physiology and fruit quality of apple[J].
Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3):76-82.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.03.09

氨基酸肥对苹果光合生理及果实品质的影响

田时敏^{1,2},王璐^{1,2},袁嘉玮^{1,2},张健^{1,2},梁哲军^{1,2},张建诚^{1,2}

(1.山西农业大学棉花研究所,山西运城 044000;2.果树种质资源创制与应用运城城市重点实验室,山西运城 044000)

摘要:以烟富6苹果为试材,采用氨基酸肥叶面喷施的方式,以清水处理为对照(CK),设置不同稀释倍数(50倍、100倍、200倍、300倍、400倍、500倍)氨基酸肥处理,通过相关性分析,探究氨基酸肥对苹果光合生理及果实品质的影响,并通过隶属函数法进行综合评价,确定最适合苹果的氨基酸肥使用浓度,以期为氨基酸肥叶面喷施技术在苹果生产中的应用提供参考。结果表明,与CK相比,经氨基酸肥叶面喷施处理后,苹果叶片净光合速率、胞间CO₂浓度、气孔导度、水分利用效率提升,蒸腾速率降低;叶片SPAD值、百叶质量、比叶重提高;果实单果质量、果实纵径、果实横径提高,果形指数未呈现趋势性变化;果实硬度、可溶性固形物含量、固酸比、抗坏血酸含量提高,可滴定酸含量降低。经相关性分析发现,单果质量与胞间CO₂浓度、水分利用效率存在正相关关系;果实硬度与胞间CO₂浓度、水分利用效率、百叶质量存在正相关关系,与蒸腾速率存在负相关关系;可溶性固形物含量与百叶质量存在正相关关系;可滴定酸含量与SPAD值、百叶质量存在负相关关系;固酸比与SPAD值、百叶质量存在正相关关系;抗坏血酸含量与净光合速率存在正相关关系。借助隶属函数值分析法,筛选出综合表现最优的氨基酸肥稀释倍数为300倍。综上所述,氨基酸肥叶面喷施处理,可有效提高苹果树的光合生理水平、改善果实品质,其中以氨基酸肥稀释300倍的浓度表现最佳。

关键词:苹果;氨基酸肥;相关性分析;隶属函数法;光合生理;果实品质

中图分类号:S661.1 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2025)03-0076-07

Effects of Amino Acid Fertilizer on Photosynthetic Physiology and Fruit Quality of Apple

TIAN Shimin^{1,2}, WANG Lu^{1,2}, YUAN Jiawei^{1,2}, ZHANG Jian^{1,2}, LIANG Zhejun^{1,2}, ZHANG Jiancheng^{1,2}

(1. Institute of Cotton, Shanxi Agricultural University, Yuncheng 044000, China; 2. Key Laboratory of

Fruit Germplasm Resources Creation and Application, Yuncheng 044000, China)

Abstract: In this study, Yanfu 6 apple was used as the test material, the effects of different dilution times (50, 100, 200, 300, 400, and 500 times) on photosynthetic physiology and fruit quality of apple were studied by spraying amino acid fertilizer on leaf surface, taking water treatment as the control, in order to provide technical reference for application of amino acid foliar spraying technology in apple production. The results showed that compared with CK, the net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, stomatal conductance, and water use efficiency were improved after amino acid spraying treatment, while the transpiration rate was decreased. SPAD value, 100-leaf weight, and specific leaf weight were increased. Single fruit weight, longitudinal diameter, and transverse diameter were increased, fruit shape index showed no trend change. Fruit hardness, soluble solid content, solid acid ratio, and ascorbic acid content were increased, titratable acid content was decreased. The correlation analysis showed that single fruit weight was positively correlated with intercellular CO₂ concentration and water use efficiency. Fruit hardness was positively correlated with intercellular CO₂ concentration, water use efficiency, and 100-leaf weight, and negatively correlated with transpiration rate. Soluble solid was positively correlated with 100-leaf weight. There was a negative correlation between titratable acid content and SPAD value and 100-leaf weight. Solid

收稿日期:2024-04-27

基金项目:国家重点研发计划(2021YFD1901102)

作者简介:田时敏,助理研究员,硕士,主要从事果树栽培研究,E-mail:qxsm@126.com

通信作者:张建诚,研究员,硕士生导师,主要从事作物栽培与有机旱作研究,E-mail:zhangjc@126.com

acid ratio was positively correlated with SPAD value and 100-leaf weight. There was a positive correlation between ascorbic acid content and net photosynthetic rate. By the method of membership function value analysis, the optimal amino acid dilution ratio screened was 300 times. In conclusion, leaf spraying of amino acid fertilizer could effectively improve the photosynthetic physiological level and fruit quality of apple trees, among which the concentration of amino acid fertilizer diluted by 300 times had the best performance.

Keywords: apple; amino acid fertilizer; correlation analysis; membership function method; photosynthetic physiology; fruit quality

苹果是我国最主要栽培的果树之一,国家统计局的统计数据显示,截至2020年底,我国苹果树栽培总面积为1 264.628万 hm^2 ,产量为4 406.61万 $\text{t}^{[1]}$,栽培面积及产量均位居全世界首位,是产区农民经济收入的主要来源,也是产区重要的支柱产业之一。但在苹果生产上,往往由于生产者施肥不当影响苹果树生长发育,造成果实品质下降,使得果品缺乏市场竞争力,最终影响果农收入。因此,如何通过合理施肥提高苹果营养积累、提升苹果品质是当前研究的热点,对促进苹果产业可持续发展具有重要的实践意义。

氮素是植物生长发育过程中不可缺少的重要元素,是构成植物生物膜以及细胞核等细胞结构物质的主要元素,在植物体的物质转换、能量代谢中起到重要的作用,被称为生命元素^[2-3]。合理施用氮肥是提高果树产量和果实品质的重要措施。氨基酸肥作为一种新型氮素有机肥料^[4],具有结构简单、易吸收的特征^[5-6]。通过叶面喷施,氨基酸肥可以快速、高效地被植物利用^[7],直接向植物供应能量并参与植物的生理生化反应^[8]。自BROWN于1906年通过试验首次证明,植物可以吸收利用外源氨基酸进行营养合成,人们逐渐展开了氨基酸肥应用于不同植物的研究^[9]。生产中,氨基酸肥应用在果树上的研究报道较多。有研究表明,对砂糖桔和满天红梨施用氨基酸液体肥后,提升了果实糖酸比,改善了果实风味^[10-11];肖丽珍等^[12]研究表明,喷施氨基酸系列叶面肥,可使葡萄叶片质量及功能得到提升;对枣树的研究表明,氨基酸叶面肥有提高叶片光合作用,增加枣树叶片厚度、叶面积、百叶质量、花序数、枣吊长度及叶片数的作用^[13-14];刘新彩等^[15]对草莓开展氨基酸液肥叶喷试验,结果表明,当稀释倍数为300倍时,最有利于草莓植株的生长和果实品质的提高;对蓝莓的研究表明,喷施高浓度氨基酸肥,可显著抑制植株的生长发育^[16]。目前,针对氨基酸肥的研究主要集中在其他种类的果树上,喷施不同浓度氨基酸肥

对苹果的光合生理及果实品质的影响还未见报道。

本研究以烟富6苹果为试验对象,研究不同浓度氨基酸肥叶面喷施处理对苹果的光合生理及果实品质的影响,以期获得最佳施用浓度,为氨基酸肥在苹果生产中使用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试苹果品种为5年生烟富6,株行距为1.5 m \times 4.0 m,树形为主干形,常规管理。供试肥为奇蕊牌氨基酸液体肥,氨基酸含量 $\geq 10\%$ 。

1.2 试验方法

试验于2022年4—10月在山西省运城市盐湖区山西农业大学棉花研究所杨包农场进行。试验设7个处理,分别为氨基酸肥稀释50倍(T1)、100倍(T2)、200倍(T3)、300倍(T4)、400倍(T5)、500倍(T6),并以清水为空白对照(CK),每个处理重复3次,每个小区3株树,每小区间隔1株树为保护区。果树展叶后4月15日左右开始喷施,喷施时间为晴朗天气9:00,每15 d喷施一次,至9月30日结束,每个处理组均对样本株进行全株叶面双面雾态喷施,以叶面出现汇聚小水滴为宜。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 光合参数测定 在8月中旬选择一晴朗无云天气采用便携式光合仪进行测定。在10:00—11:00,选择样株冠层上部向阳的叶片3片并用记号带标记,每个叶片测定3次数据,取其平均数作为基础数据。根据试验设计的唯一差异性原则,测定过程采用闭路控制环境方式进行,参数设定温度25.0 $^{\circ}\text{C}$,光照强度1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, CO_2 浓度500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。测定项目为净光合速率(P_n)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s),同时计算水分利用效率(WUE)。

$$WUE = P_n / T_r \quad (1)$$

1.3.2 叶片叶绿素含量相对值(SPAD值)测定

光合参数测定的同时,使用便携式 SPAD 叶绿素仪,在每个观测株上均匀选取功能叶片 10 片,并在叶片上随机选取 3 个点(避开叶脉)进行测定,共记录 3 个稳定数据并取平均值。

1.3.3 百叶质量测定 8 月中旬随机选取处理枝上基部粗度、长度基本相同的新梢中部第 6、7、8 片完整无损叶,每处理取 100 片于密封袋,置于恒温箱低温保存,带回实验室,冲洗干净后,用千分之一天平测定百叶质量,重复 3 次。

1.3.4 比叶重测定 百叶质量测定完毕后,在各处理测定百叶质量的叶片中随机选取 10 片叶,用 0.8 mm 打孔器在叶片最宽处主脉两侧中心位置打孔,将 10 个小圆片放入烘样盒中,在 105 °C 杀青 10 min,再 80 °C 烘至恒质量。

$$\text{比叶重}(\text{g}/\text{cm}^2)=\text{总叶干质量}/\text{总叶面积} \quad (2)$$

1.3.5 果实品质测定 果实成熟后,每个处理随机采摘 5 个颜色均匀、无虫害侵染、表皮无机械伤的果实,测定单果质量、果实纵径、果实横径、果实硬度、抗坏血酸含量、可溶性固形物含量、可滴定酸含量,同时计算果形指数和固酸比。

$$\text{固酸比}=\frac{\text{可溶性固形物含量}}{\text{可滴定酸含量}} \quad (3)$$

1.4 数据处理

试验数据采用 SAS 8.2 进行显著性和相关性分析,采用 WPS 2019 进行隶属函数分析。

2 结果与分析

2.1 叶面喷施氨基酸肥对苹果叶片光合参数的影响

由表 1 可知,叶面喷施不同浓度的氨基酸肥后,苹果叶片光合参数发生了改变。叶片的净光合速率得到了提升,在氨基酸肥稀释倍数为 300 倍时达到了最高水平,最高值为 15.80 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,较 CK 提高了 23.4%,T1、T2、T3、T5、T6 处理与 CK 相比,净光合速率分别提高了 4.9%、7.6%、5.5%、7.4%、3.8%。叶片的胞间 CO_2 浓度均得到了提高,并且在氨基酸肥稀释倍数为 50 倍、100 倍时与 CK 相比差异显著($P<0.05$),分别较 CK 提高了 25.3% 和 27.4%,T3~T6 处理与 CK 相比胞间 CO_2 浓度分别提高了 13.3%、7.9%、9.0%、3.8%。叶片的蒸腾速率均有所降低,并且在氨基酸肥稀释倍数为 50~200 倍时与 CK 相比差异显著($P<0.05$),分别较 CK 降低了 27.4%、19.5%、20.5%,T4~T6 处理与 CK 相比,蒸腾速率分别降低了 4.0%、8.6%、14.0%。各处理与 CK 相比气孔导度各有升降,但均未达到显著水平,最大值与最小值分别出现在氨基酸肥稀释倍数为 200 倍和 500 倍时,分别较 CK 提高了 16.6% 和降低了 8.0%。各处理与 CK 相比水分利用效率均得到了提高,且在氨基酸肥稀释倍数为 50 倍时达到了最大值,T1~T6 处理与 CK 相比水分利用效率分别提高了 47.4%、33.6%、31.7%、28.0%、17.5%、21.3%。

表 1 叶面喷施不同浓度氨基酸肥下烟富 6 苹果的光合参数统计

Tab.1 Statistics of photosynthetic parameters of Yanfu 6 apple under different concentrations of amino acid fertilizer sprayed on leaf surface

处理	Treatment	Pn/ $(\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$	Ci/ $(\mu\text{mol}/\text{mol})$	Tr/ $(\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$	Gs/ $(\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$	WUE/ $(\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$
CK		12.80±0.30c	203.00±3.00c	4.78±0.04a	0.16±0.01a	2.68±0.07b
T1		13.43±2.57bc	254.33±35.01ab	3.47±0.45d	0.19±0.04a	3.95±1.13a
T2		13.77±0.47bc	258.67±28.74a	3.85±0.29cd	0.19±0.01a	3.58±0.17ab
T3		13.50±3.02bc	230.00±28.61abc	3.80±0.32cd	0.19±0.01a	3.53±0.50ab
T4		15.80±2.37a	219.00±14.10bc	4.59±0.29ab	0.19±0.01a	3.43±0.41ab
T5		13.75±0.83bc	221.33±8.73abc	4.37±0.39abc	0.17±0.02a	3.15±0.09ab
T6		13.29±2.02bc	210.67±13.05c	4.11±0.59bc	0.15±0.03a	3.25±0.36ab

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。表 2—4 同。

Note: Different lowercase letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. The same as Tab.2-4.

2.2 叶面喷施氨基酸肥对苹果叶片生理及表型参数的影响

由表 2 可知,叶面喷施不同浓度的氨基酸肥后,

使得苹果叶片生理及表型参数发生了改变。与 CK 相比,各处理叶片 SPAD 值均有所提高,随着氨基酸肥浓度的降低,SPAD 值呈现单峰曲线,在氨基

酸肥稀释倍数为200倍时呈现峰值,在氨基酸肥稀释倍数为50~300倍时与CK相比差异显著($P<0.05$),分别较CK提高了17.6%、39.1%、51.5%、22.7%,其他处理与CK相比无显著差异。各处理百叶质量均显著高于CK($P<0.05$),随着氨基酸肥浓度的降低,百叶质量呈现单峰曲线,在氨基酸肥稀释倍数为200倍时呈现峰值,且T1~T6处理较

CK分别提高了23.5%、22.4%、34.0%、22.24%、14.7%、11.4%。与CK相比,各处理比叶重均得到提高,随着氨基酸肥浓度的降低,比叶重呈现单峰曲线,在氨基酸肥稀释倍数为300倍时呈现峰值,在氨基酸肥稀释倍数为100~300倍时与CK相比差异显著($P<0.05$),分别较CK提高了33.5%、57.7%、66.5%,其他处理与CK间无显著差异。

表2 叶面喷施不同浓度氨基酸肥下烟富6苹果的叶片生理及表型参数统计

Tab.2 Statistics of leaf physiological and phenotypic parameters of Yanfu 6 apple under different concentrations of amino acid fertilizer sprayed on leaf surface

处理 Treatment	SPAD值 SPAD value	百叶质量/g 100-leaf weight	比叶重/(g/cm ²) Specific leaf weight	处理 Treatment	SPAD值 SPAD value	百叶质量/g 100-leaf weight	比叶重/(g/cm ²) Specific leaf weight
CK	51.17±2.09d	67.16±2.82d	0.043 0±0.000 5d	T4	62.77±6.61bc	82.10±2.07b	0.071 6±0.001 6a
T1	60.20±4.53c	82.96±2.71b	0.043 2±0.016 7d	T5	57.50±2.77cd	77.02±1.37c	0.052 8±0.008 0cd
T2	71.17±2.85ab	82.18±0.97b	0.057 4±0.000 6bc	T6	55.10±6.84cd	74.84±2.01c	0.050 8±0.000 8cd
T3	77.50±5.49a	90.01±1.64a	0.067 8±0.002 0ab				

2.3 叶面喷施氨基酸肥对苹果果实外在品质的影响

由表3可知,在各浓度氨基酸肥处理下,苹果果实的外在品质有所变化,但均未呈现显著性差异。苹果单果质量均大于CK,单果质量最大值为氨基酸肥稀释100倍时的300.47 g,较CK增加了11.2%,此外,T1、T3、T4、T5、T6处理与CK相比,

单果质量分别增加了9.5%、5.1%、5.6%、3.4%、2.0%。经过喷施氨基酸肥,各处理苹果果实的纵径和横径均较CK有所增长,果实纵径和横径最大值相比于CK分别提升了4.2%和5.4%。而喷施氨基酸肥后,各处理果形指数较CK各有高低,并未呈现趋势性变化。

表3 叶面喷施不同浓度氨基酸肥下烟富6苹果的果实外在品质指标统计

Tab.3 Statistics of fruit external quality index of Yanfu 6 apple under different concentrations of amino acid fertilizer sprayed on leaf surface

处理	单果质量/g Single fruit weight	果实纵径/mm Fruit longitudinal diameter	果实横径/mm Fruit transverse diameter	果形指数 Fruit shape index
CK	270.20±13.61a	70.35±4.15a	86.68±1.79a	0.812±0.058a
T1	296.00±32.32a	72.67±1.93a	91.39±6.65a	0.798±0.060a
T2	300.47±20.65a	73.29±5.21a	89.77±1.13a	0.816±0.055a
T3	284.10±19.59a	72.56±3.09a	90.91±0.25a	0.798±0.030a
T4	285.39±24.48a	72.11±3.45a	87.85±3.14a	0.821±0.036a
T5	279.38±2.65a	71.69±3.29a	87.60±1.13a	0.818±0.036a
T6	275.53±11.30a	71.16±6.37a	87.09±5.17a	0.817±0.045a

2.4 叶面喷施氨基酸肥对苹果果实内在品质的影响

由表4可知,经不同浓度的氨基酸肥处理后,果实的内在品质均发生了改变。苹果果实的硬度均得到了提高,在氨基酸肥稀释倍数为50倍时达到了最高水平,为55.2 N/cm²,较CK提高了4.6%,T2~T6处理与CK相比果实硬度分别提高了

3.9%、3.9%、1.5%、1.3%、2.2%。苹果果实可溶性固形物含量与CK相比均有所提升,在氨基酸肥稀释倍数为100倍时达到最高值(14.83%),较CK提高了14.7%,T1、T3、T4、T5、T6处理与CK相比,可溶性固形物含量分别提升了9.0%、12.4%、13.0%、10.6%、8.2%。苹果果实的可滴定酸含量均有所下降,在氨基酸肥稀释倍数为200倍时达到

最低值(0.14%),较CK降低了45.3%,T1、T2、T4、T5、T6处理与CK相比,可滴定酸含量分别降低了8.7%、20%、33.3%、10.7%、5.3%。苹果果实的固酸比均得到了提升,在氨基酸肥稀释倍数为200倍时达到最高值(106.34),较CK提高了105.6%,T1、T2、T4、T5、T6处理与CK相比,固

酸比分别提高了19.4%、43.4%、69.6%、23.8%、14.3%。苹果果实的抗坏血酸含量均得到了提升,在氨基酸肥稀释倍数为300倍时达到了最高,为2.14 mg/100 g,较CK提高了46%,T1、T2、T3、T5、T6处理与CK相比,抗坏血酸含量分别提高了18.8%、21.6%、8.5%、17.6%、3.4%。

表4 叶面喷施不同浓度氨基酸肥下烟富6苹果的果实内在品质指标统计

Tab.4 Statistics of internal quality index of Yanfu 6 apple under different concentrations of amino acid fertilizer sprayed on leaf surface

处理 Treatment	硬度/(N/cm ²) Fruit hardness	可溶性固形物含量/% Soluble solid content	可滴定酸含量/% Titratable acid content	固酸比 Solid acid ratio content	抗坏血酸含量/(mg/100 g) Vc content
CK	52.7±4.82a	12.93±1.61b	0.25±0.16a	51.73±5.07d	1.47±0.23c
T1	55.2±6.53a	14.10±1.01ab	0.23±0.07ab	61.75±8.75cd	1.74±0.14b
T2	54.8±8.01a	14.83±0.45a	0.20±0.07abc	74.17±5.53c	1.78±0.13b
T3	54.8±4.36a	14.53±1.06ab	0.14±0.03d	106.34±18.86a	1.59±0.07b
T4	53.6±4.14a	14.62±0.64ab	0.17±0.01c	87.72±12.03b	2.14±0.26a
T5	53.5±7.27a	14.30±1.64ab	0.22±0.11ab	64.03±8.72cd	1.73±0.24b
T6	53.9±4.62a	14.00±0.30ab	0.24±0.05ab	59.15±12.23cd	1.52±0.18bc

2.5 叶面喷施氨基酸肥下苹果的光合指标及叶片相关指标与果实品质的相关性分析

对不同浓度氨基酸肥处理下光合指标及叶片相关指标与果实品质特征进行相关性分析表明(表5),净光合速率和抗坏血酸含量呈极显著正相关($P<0.01$);胞间CO₂浓度与单果质量呈极显著正相关($P<0.01$),与硬度呈显著正相关($P<$

0.05);蒸腾速率与硬度呈极显著负相关($P<0.01$);水分利用效率与单果质量呈显著正相关($P<0.05$),与硬度呈极显著正相关($P<0.01$);SPAD值与可滴定酸含量呈显著负相关($P<0.05$),与固酸比呈显著正相关($P<0.05$);百叶质量与硬度、可溶性固形物含量、固酸比呈显著正相关($P<0.05$),与可滴定酸含量呈显著负相关($P<0.05$)。

表5 叶面喷施不同浓度氨基酸肥下烟富6苹果的光合指标及叶片相关指标与果实品质相关性分析

Tab.5 Correlation analysis of photosynthetic indexes, leaf related indexes and fruit quality of Yanfu 6 apple under different concentrations of amino acid fertilizer sprayed on leaf surface

指标 Index	Pn	Ci	Tr	Gs	WUE	SPAD值 SPAD value	百叶质量 100-leaf weight	比叶重 Specific leaf weight
单果质量 Single fruit weight	0.263	0.971**	-0.721	0.754	0.857*	0.566	0.662	0.032
果形指数 Fruit shape index	0.444	-0.395	0.688	-0.407	-0.486	-0.417	-0.477	-0.278
硬度 Fruit hardness	-0.022	0.870*	-0.968**	0.616	0.932**	0.594	0.807*	0.075
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.591	0.605	-0.468	0.622	0.689	0.630	0.815*	0.259
可滴定酸含量 Titratable acid content	-0.536	-0.226	0.199	-0.719	-0.394	-0.852*	-0.838*	-0.722
固酸比 Solid acid ratio	0.477	0.209	-0.239	0.683	0.401	0.849*	0.846*	0.707
抗坏血酸含量 Vc content	0.952**	0.282	0.081	0.583	0.418	0.217	0.405	0.537

注:*表示在 $P<0.05$ 的水平上显著相关;**表示在 $P<0.01$ 的水平上极显著相关。

Note: * indicated a significant association at the $P<0.05$ level; and ** indicated an extremely significant association at the $P<0.01$ level.

2.6 叶面喷施氨基酸肥下苹果鲜食品质综合评价

从表3、4可以看出,在苹果叶面喷施氨基酸

肥,对苹果果实的主要鲜食品质的提升均有一定促进作用,因此,对不同浓度氨基酸肥处理的苹果鲜食品质的测定结果进行隶属函数值分析。由

表6可知,由平均隶属函数分析可得6种不同稀释倍数氨基酸肥处理对苹果果实鲜食品质的提升效果强弱关系为:稀释300倍氨基酸肥>稀释100倍氨基酸肥>稀释200倍氨基酸肥>稀释50倍氨基

酸肥>稀释400倍氨基酸肥>稀释500倍氨基酸肥。说明稀释300倍氨基酸肥处理效果最好,稀释100倍氨基酸肥和稀释200倍氨基酸肥处理效果次之,稀释500倍氨基酸肥处理效果最差。

表6 叶面喷施不同浓度的氨基酸肥下苹果鲜食品质综合评价

Tab.6 Comprehensive evaluation of fresh food quality of apple under different concentrations of amino acid fertilizer sprayed on leaf surface

处理 Treatment	单果质量 Single fruit weight	果形指数 Fruit shape index	硬度 Fruit hardness	可溶性固形物含量 Soluble solid content	可滴定酸含量 Titratable acid content	固酸比 Solid acid ratio	抗坏血酸含量 Vc content	综合指数 Composite index
CK	0.000	0.620	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089
T1	0.852	0.000	1.000	0.614	0.191	0.183	0.407	0.464
T2	1.000	0.791	0.850	1.000	0.441	0.411	0.469	0.709
T3	0.459	0.017	0.850	0.842	1.000	1.000	0.185	0.622
T4	0.502	1.000	0.333	0.888	0.735	0.659	1.000	0.731
T5	0.303	0.880	0.293	0.719	0.235	0.225	0.383	0.434
T6	0.176	0.808	0.483	0.561	0.118	0.136	0.074	0.337

3 结论与讨论

氨基酸是植物体必需的营养物质,作为构成蛋白质的基本单位,参与了植物体的各种生理代谢活动^[17]。植物的生长状态与其可获取的营养有直接关系,氨基酸作为小分子有机物,可以被植物直接吸收利用,通过叶面喷施氨基酸肥,可以快速补充植物所需营养,促进植物生长发育^[18]。

叶片是苹果树进行同化作用的主要场所,能够促进苹果叶片生长发育、提高叶片功能的措施均有利于苹果树光合作用的提升,从而制造更多的有机物^[19]。申明等^[20]研究表明,叶面喷施氨基酸肥,可提高砂梨叶片的叶绿素含量,与本研究结果一致。刘平等^[14]研究认为,在枣树发育前期喷施氨基酸肥,可使叶片厚度、百叶质量、叶面积显著增加,与本研究结果一致。张龙等^[13]研究表明,对枣树喷施氨基酸肥后,叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度获得提升,胞间二氧化碳浓度有所降低,与本研究结果一致。以上结果表明,氨基酸肥作为营养的补充促进了苹果树的生长,使叶片浓绿肥厚,增加了呼吸底物的积累。

果实品质的指标主要通过外在品质和内在品质来反映。果实外在品质主要包括单果质量、果实纵径、果实横径、果形指数等。本研究中,对苹果叶片喷施不同稀释倍数的氨基酸肥,果实纵径和横径增加,但对果形指数影响不明显,这与王振

东等^[21]用氨基酸肥处理梨的结果一致。果实内在品质是果实口感的直接体现。本研究中不同稀释倍数氨基酸肥处理下,苹果果实硬度增加,果实可溶性固形物含量增加,果实可滴定酸含量降低,增大了固酸比,Vc含量也得到了提升,这与前人在桔^[10]、梨^[11]、葡萄^[12]、草莓^[15]上的研究结果一致。这可能是由于氨基酸等物质提高了苹果树自身酶的活性,加快苹果树的新陈代谢,促进果实中同化物质的积累,从而提高了果实风味,改善果实品质。

进一步借助隶属函数值分析法对不同浓度氨基酸肥叶面喷施处理下苹果的鲜食品质进行综合评价,以期评定结果更具合理性。采用隶属函数法对不同浓度氨基酸肥处理下苹果的鲜食品质的各项指标的平均隶属函数值进行计算和综合排序,结果筛选出综合表现最优的氨基酸肥稀释倍数为300倍。

综上所述,叶面喷施氨基酸肥提高了苹果树的光合生理水平,改善了苹果品质,氨基酸肥稀释300倍的处理效果最佳,对苹果各项指标具有明显优势,具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2011. National Bureau of Statistics. China statistical yearbook[M]. Beijing:China Statistics Press,2011.
- [2] 刘奇华,孙召文,尹秀波,等. 化肥优化减施对麦茬旱直播稻强、弱勢粒食味与营养品质的影响[J]. 河南农业科学,2024,53

- (6):27-36.
LIU Q H, SUN Z W, YIN X B, et al. Effect of optimal reduction of chemical fertilizer on eating and nutritional quality of superior and inferior grains of dry direct-sowing rice in wheat-rice rotation cropping district[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(6):27-36.
- [3] 滑小赞, 程滨, 赵瑞芬, 等. 不同施肥处理对金瑞油桃产量和品质的影响[J]. 山西农业科学, 2024, 52(1):107-114.
HUA X Z, CHENG B, ZHAO R F, et al. Effects of different fertilization treatments on yield and quality of Jinrui nectarine[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(1):107-114.
- [4] 田时敏, 袁嘉玮, 王爱玲, 等. 氨基酸肥在果树生产上的应用研究进展[J]. 绿色科技, 2021, 23(21):92-95, 98.
TIAN S M, YUAN J W, WANG A L, et al. Research progress on the application of amino acid fertilizer in fruit tree production[J]. Journal of Green Science and Technology, 2021, 23(21):92-95, 98.
- [5] 王国庆, 何弘, 陆智明, 等. 氮的吸收及其在农业生产中作用[J]. 上海农业科技, 2008(6):23-24.
WANG G Q, HE H, LU Z M, et al. Nitrogen absorption and its role in agricultural production[J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2008(6):23-24.
- [6] 王莹, 史振声, 王志斌, 等. 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1):6-11.
WANG Y, SHI Z S, WANG Z B, et al. Absorption and utilization of amino acids by plant and application of amino acids on agriculture[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008(1):6-11.
- [7] 马林. 植物对氨基酸的吸收和利用[J]. 西南科技大学学报(自然科学版), 2004, 19(1):102-107.
MA L. Absorption and utilization of amino acids by plants[J]. Journal of Southwest University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2004, 19(1):102-107.
- [8] 郑其峰, 史继东. 果友氨基酸在苹果上的应用试验[J]. 西北园艺(果树专刊), 2009(5):42.
ZHENG Q F, SHI J D. Application test of fruit friend amino acid in apple[J]. Northwest Horticulture(Fruit Tree Special Issue), 2009(5):42.
- [9] 张夫道. 关于植物有机营养的研究[J]. 土壤肥料, 1986(6):15-19.
ZHANG F D. Research on plant organic nutrition[J]. Soils and Fertilizers, 1986(6):15-19.
- [10] 彭智平, 于俊红, 黄继川, 等. 氨基酸液体肥料对沙糖桔产量及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(6):78-79, 109.
PENG Z P, YU J H, HUANG J C, et al. Effects of amino acid fluid fertilizer on yield and quality of Shatangju[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(6):78-79, 109.
- [11] 周瑞金, 张传来, 金新富, 等. 氨基酸液肥对满天红梨品质及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2010, 38(3):203-204.
ZHOU R J, ZHANG C L, JIN X F, et al. Effect of amino acid liquid fertilizer on quality and yield of Mantian red pear[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010, 38(3):203-204.
- [12] 肖丽珍, 鲁会玲, 覃杨, 等. 葡萄喷施氨基酸系列叶面肥试验[J]. 中国林副特产, 2014(5):21-23.
XIAO L Z, LU H L, QIN Y, et al. Experiment of grape spraying amino acid series foliar fertilizer[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2014(5):21-23.
- [13] 张龙, 王森, 刘佳, 等. 氨基酸叶面肥对枣树花期光合作用的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(11):69-75.
ZHANG L, WANG S, LIU J, et al. Amino acid foliar fertilizer effect on *Zizyphus jujube* flowering photosynthesis[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(11):69-75.
- [14] 刘平, 张素维, 周俊义, 等. 枣树生长发育前期高效叶面肥料的筛选[J]. 河北林果研究, 2007, 22(4):376-378.
LIU P, ZHANG S W, ZHOU J Y, et al. Selection of efficient fertilizer for jujube trees in early growth period[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2007, 22(4):376-378.
- [15] 刘新彩, 陈永芳, 郑书旗, 等. 植物氨基酸液肥在温室草莓上应用试验[J]. 河北果树, 2009(1):8, 12.
LIU X C, CHEN Y F, ZHENG S Q, et al. Application of plant amino acid liquid fertilizer on strawberry in greenhouse[J]. Hebei Fruits, 2009(1):8, 12.
- [16] 张龙. 外源氨基酸对蓝莓生长发育的影响研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
ZHANG L. Effects of exogenous amino acids on the growth and development of blueberry[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2017.
- [17] 陈展宇, 陈天鹏, 李慧杰, 等. 植物吸收运转氨基酸的分子机制进展[J]. 分子植物育种, 2017, 15(12):5166-5171.
CHEN Z Y, CHEN T P, LI H J, et al. Research progress in molecular mechanism of amino acids absorption and transport by plants[J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(12):5166-5171.
- [18] 慕康国, 祁瑞, 张强, 等. 氨基酸水溶性肥料[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2021.
MU K G, QI R, ZHANG Q, et al. Amino acid water-soluble fertilizer [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2021.
- [19] 王三根. 高级植物生理教程[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2010.
WANG S G. Advanced plant physiology course[M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2010.
- [20] 申明, 成学慧, 谢荔, 等. 氨基酸叶面肥对砂梨叶片光合作用的促进效应[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(2):81-86.
SHEN M, CHENG X H, XIE L, et al. Effects of amino-acid fertilizers on photosynthesis in leaves of pear cultivars[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2012, 35(2):81-86.
- [21] 王振东, 究攀, 陈奇凌, 等. 氨基酸叶面肥对库尔勒香梨游离氨基酸含量及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2022(15):40-45.
WANG Z D, YAN P, CHEN Q L, et al. Effects of amino acid foliar fertilizer on free amino acid content and fruit quality of Korla fragrant pear[J]. Northern Horticulture, 2022(15):40-45.