

苹果果实喷施“苹果面膜”与套袋的经济效益比较*

白杜娟¹, 牛育华^{2,3}, 白岗栓⁴

(1 杨凌农业高科技发展股份有限公司, 陕西 712100) (2 陕西科技大学化学与化工学院)

(3 陕西省腐植酸农业生态修复工程技术研究中心) (4 西北农林科技大学水土保持研究所)

摘要 为了减少果实套袋用工, 提高经济效益, 连续3年在陕北丘陵沟壑区苹果园进行果实喷施苹果面膜(腐植酸液态膜)试验, 以果实套纸袋为对照, 调查了果实品质、苹果园用工费和经济效益等。结果表明: 与对照相比, 喷施苹果面膜提高了果实的外观品质、贮运性, 产值平均提高261 080元/hm²; 减少果实套袋和去袋用工费24 190元/hm², 减少材料费10 500元/hm²; 苹果园经济效益提高295 770元/hm²。

关键词 苹果面膜; 果实品质; 用工费; 材料费; 增产值

中图分类号: S661.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-8047(2023)09-0006-05

Comparison of economic benefits between spraying “apple facial mask” and bagging of apple fruit

BAI Dujuan¹, NIU Yuhua^{2,3}, BAI Gangshuan⁴

(1 Yangling Agricultural High-Tech Development Co. Ltd., Shaanxi 712100) (2 College of Chemistry & Chemical Engineering,

Shaanxi University of Science & Technology) (3 Shaanxi Humic Acid Agroecological Restoration Engineering Technology

Research Center) (4 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture & Forestry University)

Abstract In order to reduce the labor input of fruit bagging and improve economic benefit of apple orchard, taking fruit bagging (paper bag) as the control, the fruit quality, labor input and economic benefits of apple orchard were investigated by spraying facial mask (humic acid liquid film) on fruit in the hilly-gully region of northern Shaanxi Province for 3 consecutive years. The results showed that compared with the control, spraying facial mask improved the appearance commodity quality, storage and transportation performance of fruit, and the average apple output value increased by 261,080 yuan/hm²; reduce fruit bagging and debagging labor input of 24,190 yuan/hm², reduce material cost of 10,500 yuan/hm²; the economic benefits of apple orchard increased by 295,770 yuan/hm².

Key words apple facial mask; fruit quality; labor input; material cost; increased value

我国苹果产量占世界的一半以上, 陕西省苹果产量约为世界的1/7^[1]。果实套袋可减少病虫害危害, 减少农药残留, 减少冰雹、风沙等自然灾害造成的机械损伤, 提高果面光洁度, 促进果实着色, 提高果实商品价值^[2-5], 已经成为苹果生产中不可缺少的措施。但是, 果实套袋易造成果实缺钙, 易产生裂果及苦痘病等, 降低果实的贮藏运输性能, 且果实套袋及去袋时期相对集中, 短期内用工量大且操作

要求严格, 操作不当易产生日灼, 而农村劳动力却不断减少且劳动力价格不断上升, 难以满足套袋及去袋的需求, 影响优质苹果的生产, 而且果实套袋还会降低果实含糖量, 降低果实风味, 废弃的果袋会污染环境^[6-8]。果实套袋已成为优质苹果生产中的限制因素, 难以适应规模化苹果生产。

“苹果面膜”是陕西科技大学牛育华教授团队研发的一种腐植酸免套袋膜剂^[9-11], 在果实生长期喷

本文于2023-02-15收到, 2023-07-15收到修改稿。

*国家重点研发计划“黄土高原生态修复模式的格局-结构-功能关系”项目(2016YFC0501602); 陕西省重点研发计划“陕北大枣裂果防治关键技术集成与乡村振兴特色产品培育示范研究”项目(2022FP-10); 咸阳市科技计划“苹果免套袋关键技术集成与果品质量提升示范及推广”项目(2021ZDYF-NY-0013)。

白杜娟 E-mail: 616973245@qq.com; 白岗栓为通信作者, E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn。

施“苹果面膜”, 相当于给果实敷了一层膜, 不仅给果实生长提供了营养, 促进果实着色, 减少病虫害及日灼发生, 而且可免除套袋及去袋, 减少用工费和材料费, 提高果园经济效益^[12-14]。为了精准评价喷施苹果面膜对苹果园用工费、材料费和经济效益等的影响, 2020—2022年在陕北丘陵沟壑区进行了喷施苹果面膜试验, 调查了苹果园的经济效益。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试苹果园位于陕北丘陵沟壑区的延安市宝塔区临镇镇(北纬 36°18'11", 东经 110°0'26", 海拔 1 124 m), 年平均气温 9.7 °C, 无霜期 152 d, 平均年降水量 550 mm, 土壤为黄绵土。试验园建于 1998 年, 行株距 5.0 m × 4.0 m, 主栽品种红富士, 砧木为海棠果 (*Malus prunifolia*), 树形为开心形和小冠疏层形, 无灌溉设施, 为雨养果园。

苹果面膜(腐植酸液态膜)的主要成分为腐植酸, 由 A 剂与 B 剂组成, 由陕西科技大学提供。果实袋为洛川县惠林双层纸袋。

1.2 试验方法

试验于 2020—2022 年进行。在落花后 20 d (5 月 20 日)左右开始喷施苹果面膜, 先喷施 A 剂, 后喷施 B 剂, 间隔不超过 5 min, 对果实全面喷施, 6—8 月每月喷施 1 次, 共喷施 4 次。均采用 20 L 的背负式电动喷雾器人工喷施, A 剂黏度较大, 选用喷雾压力大于 0.4 MPa(约为 4 个标准大气压)的喷雾器喷施, B 剂可选用普通电动喷雾器喷施。根据天气预报确定具体喷施日期, 在晴天早上或下午喷施, 喷施后 4~6 d 应无降雨。以果实套袋为对照, 在落花后 20 d 左右开始套袋; 在果实采收前 10 d (9 月 25 日)左右先去除外层纸袋, 然后在果实采收前 6 d (9 月 29 日)左右去除内层纸袋。每个小区面积 0.06 hm², 30 株苹果树, 重复 3 次, 试验共 6 个小区。2 个处理苹果树的施肥、修剪、疏花疏果、留果量和病虫害防治等管理均一致。

1.3 调查项目及方法

(1) 果实品质、产量及产值。2020—2022 年在果实成熟期, 每个小区随机选择 6 株树, 用于测定果实品质、产量, 统计优果率。在树冠东、西、南、北 4 个方向外围中部随机采集 24 个果实, 用百分之一电子天平称量单果重, 用游标卡尺测量横径

和纵径, 并计算果形指数; 用 GY-1 型果实硬度计测定硬度, 用 PR-100 型数字糖度计测定可溶性固形物含量, 用 GMK-835F 果实酸度计测定可滴定酸含量, 并计算固酸比。

目测法测定果实着色面积、果面光洁度和果锈, 计算果面光洁指数和果锈指数。果面光洁度分为 4 级: 1 级, 果面粗糙, 如同未套袋果实; 2 级, 果面粗糙, 色泽较暗; 3 级, 果面较光洁; 4 级, 果面光洁细腻。果锈分为 5 级: 1 级, 果面无锈斑; 2 级, 果面锈斑在 0.5 cm² 以下; 3 级, 果面锈斑为 0.6~1.0 cm²; 4 级, 果面锈斑为 1.1~2.0 cm²; 5 级, 果面锈斑超过 2.0 cm²。

果面光洁指数 = $[\sum(\text{各级果实数} \times \text{相应级数}) / (\text{总果数} \times 4)] \times 100$

果锈指数 = $[\sum(\text{各级果实数} \times \text{相应级数}) / (\text{总果数} \times 5)] \times 100$

实测 6 株树的果实产量; 按照单果重超过 250 g、着色面积超过 95% 的标准, 统计优果率。按照当地果实采收时的销售价格, 根据苹果产量计算产值。

(2) 统计纸袋和苹果面膜的材料费, 果实套袋、去袋和喷施苹果面膜的用工费。材料费均以实际消耗的材料计费或根据材料的单价和数量来计算; 喷施面膜的用工费以单位面积果园的用工数和当地的日工资来计算; 果实套袋和去袋的用工费均以单个纸袋套袋、去袋的用工费和单位面积的套袋数量来计算。

1.4 数据处理

试验数据用 Student's *t*-test 检验果实套袋与喷施苹果面膜之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 喷施苹果面膜对果实品质的影响

由表 1 可以看出, 3 年喷施苹果面膜的果实单果重、果形指数、着色面积、可滴定酸含量和固酸比均略高于套袋果实, 且均无显著差异。3 年喷施苹果面膜的果实可溶性固形物含量均显著高于套袋果实, 硬度极显著或显著高于套袋果实。不同年份喷施苹果面膜的果面光洁指数均极显著高于套袋果实, 果锈指数均极显著低于套袋果实。喷施苹果面膜的果实外观品质好, 果肉较硬脆, 汁液饱满, 香味浓, 耐贮藏, 土窑洞贮藏的最佳食用期在元旦至春节期间。

表 1 喷施苹果面膜果实与套袋果实的品质

年份	处理	单果重/g	果形指数	着色面积/%	果面光洁指数	果锈指数	硬度 / (kg/cm ²)	可溶性固形物含量/%	可滴定酸含量/%	固酸比
2020	喷施苹果面膜	231.2	0.92	95.1	3.82**	1.62	10.4**	14.0*	0.34	41.18
	套袋	225.4	0.89	94.2	3.48	1.87**	9.3	13.3	0.33	40.30
2021	喷施苹果面膜	232.4	0.93	96.7	3.90**	1.48	10.7**	14.2*	0.35	40.57
	套袋	218.4	0.90	95.4	3.51	1.76**	9.5	13.4	0.34	39.41
2022	喷施苹果面膜	237.4	0.92	95.8	3.81**	1.59	10.6*	14.0*	0.36	38.89
	套袋	223.6	0.90	94.9	3.46	1.90**	9.4	13.2	0.34	38.82
平均	喷施苹果面膜	233.7	0.92	95.9	3.84**	1.56	10.6*	14.1*	0.35	40.21
	套袋	222.5	0.90	94.8	3.48	1.84**	9.4	13.3	0.34	39.51

注: *表示同一年份不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), **表示同一年份不同处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。下表同。

2.2 喷施苹果面膜对果实产量及产值的影响

由表 2 可以看出, 2020 年喷施苹果面膜优果率显著高于套袋果实, 2021、2022 年的优果率和平均产值均极显著高于套袋果实。喷施苹果面膜的留果

量和套袋苹果基本一致, 单果重略高于套袋苹果, 但 2020 年和年份平均的果实产量均显著高于套袋果实, 2021、2022 年均极显著高于套袋果实, 这主要是由于套袋和去袋过程中造成果实脱落。

表 2 喷施苹果面膜果实与套袋果实的产量与产值

处理	2020 年				2021 年			
	产量 / (kg/hm ²)	优果率 / %	单价 / (元/kg)	产值 / (元/hm ²)	产量 / (kg/hm ²)	优果率 / %	单价 / (元/kg)	产值 / (元/hm ²)
喷施苹果面膜	46 700*	49.7*	10.0	467 000**	47 000**	43.6**	10.0	470 000**
套袋	43 600	45.8	6.0	261 160	42 300	36.8	5.0	211 500
处理	2022 年				平均			
	产量 / (kg/hm ²)	优果率 / %	单价 / (元/kg)	产值 / (元/hm ²)	产量 / (kg/hm ²)	优果率 / %	单价 / (元/kg)	产值 / (元/hm ²)
喷施苹果面膜	47 900**	54.0**	13.0	622 700**	47 200*	49.1**	11.0	519 900**
套袋	43 400	44.9	7.0	303 800	43 100	42.5	6.0	258 820

喷施苹果面膜提高了果实的外观品质, 3 年的单价均高于套袋果实, 特别是 2021 年苹果价格下滑, 而喷施苹果面膜的果实价格与 2020 年持平, 2022 年则大幅度提升。喷施苹果面膜 3 年平均果实产值比套袋果实提高 100.87%, 平均增收 261 080 元/hm² (表 2)。

2.3 喷施苹果面膜及果实套袋的材料费和用工费

苹果面膜的主要成分是腐植酸钾及微量元素, 由表 3 可以看出, 单次喷施需支付 1 875 元/hm² (125

元/667 m²), 试验园每年喷施 4 次, 全年需支付苹果面膜材料费 7 500 元/hm²; 3 年期间苹果面膜的价格没有波动, 每年支付的材料费均为 7 500 元/hm²。试验地每年需套袋 225 000 个/hm², 2020 年纸袋价格为 0.07 元/个, 2021 年为 0.08 元/个, 2022 年为 0.09 元/个, 平均每年需支付纸袋材料费 18 000 元/hm², 较喷施苹果面膜平均多支付 10 500 元/hm², 套袋支付的材料费远高于喷施苹果面膜支付的材料费。

表 3 喷施苹果面膜果实与套袋果实的材料费与用工费

处理	2020 年		2021 年		2022 年		平均	
	材料费	用工费	材料费	用工费	材料费	用工费	材料费	用工费
喷施苹果面膜	7 500	6 400	7 500	7 040	7 500	7 680	7 500	7 040
套袋	15 750	24 525	18 000	31 230	20 250	37 935	18 000	31 230

注: 苹果面膜材料费每年每次均为 1 875 元/hm², 每年 4 次; 纸袋每年均为 225 000 个/hm², 2020—2022 年单价依次为 0.07、0.08、0.09 元/个, 3 年平均 0.08 元/个。喷施苹果面膜每年用工量均为 32 个/hm², 2020—2022 年劳动力日工资依次为 200、220、240 元/个, 3 年平均 220 元/个。套袋 2020—2022 年单价依次为 0.06、0.08、0.10 元/个, 3 年平均 0.08 元/个; 去袋 2020—2022 年单价依次为 0.05、0.06、0.07 元/个, 3 年平均 0.06 元/个, 去袋果实数量约为套袋的 98.0%。

试验园每年喷施4次苹果面膜, 每次需2位果农协同喷施, 每次喷施需8工日/hm², 全年需32工日/hm², 由于每年的日工资均在上涨, 平均每年需支付喷施苹果面膜用工费7040元/hm²。通常情况下, 疏花疏果后的留果量为225000个/hm², 2020年套果袋用工费为0.06元/个, 2021年为0.08元/个, 2022年则为0.10元/个, 平均每年需支付用工费18000元/hm²; 2020年去果袋用工费为0.05元/个, 2021年为0.06元/个, 2022年则为0.07元/个, 平均每年需支付13500元/hm²。套袋、去袋平均每

年需支付用工费31230元/hm², 较喷施苹果面膜平均每年多支付24190元/hm², 远高于喷施苹果面膜(表3)。

2.4 喷施苹果面膜果实与套袋果实果园收益比较

由表4可以看出, 喷施苹果面膜, 不但降低果园用工费和材料费, 提高果实产值, 而且连年喷施, 果园增产值持续提高, 其中2021年较2020年增值26.26%, 2022年较2020年和2021年分别增值55.85%和23.44%, 喷施苹果面膜较果实套袋3年平均增值295770元/hm²。

表4 喷施苹果面膜果实比套袋果实增加的收益

元/hm²

处理	2020年			2021年			2022年			平均		
	果实产值	材料费及 用工费合计	增加收入	果实产值	材料费及 用工费合计	增加收入	果实产值	材料费及 用工费合计	增加收入	果实产值	材料费及 用工费合计	增加收入
喷施苹果面膜	467 000	13 900	232 215	470 000	14 540	293 190	622 700	15 180	361 905	519 900	14 540	295 770
套袋	261 160	40 275		211 500	49 230		303 800	58 185		258 820	49 230	

3 讨论

苹果面膜的主要成分是腐植酸, 并含有茉莉酸内酯和氮、磷、钾、钙、硼、铁、锌等其他营养元素^[10-13], 喷施后在苹果表面迅速形成一层高分子膜, 可防御病虫害与日灼危害, 让苹果在阳光的滋润下健康生长。苹果面膜中的腐植酸是一种无定形的天然有机高分子混合物, 富含羧基、醇羟基、酚羟基、甲氧基、酮基、酯基等多种活性官能团, 具有亲水性、界面活性、阳离子交换、酸性、络合作用和吸附分散能力^[15-18], 为作物生长发育提供营养并提高养分利用率, 促进作物生长^[19-23]。腐植酸中的有些生物活性物质可能是生长素类物质, 会刺激、促进作物生长发育^[24-29]。腐植酸能够减少作物叶片气孔开张度, 减少水分蒸腾, 增强作物抗旱性, 同时可抑制真菌生长发育, 减少病害发生; 腐植酸能够改变细胞膜的渗透性, 促进无机养分吸收; 腐植酸能够与微量元素络合或螯合, 增加微量元素从根部向作物其他部位的运转能力, 提高酶的活性, 加速各种代谢, 促进果实丰满、香味浓郁^[27,30-34]。低分子量腐植酸, 可直接作为营养物质被植物吸收利用, 参与植物体内代谢, 积累更多的碳水化合物^[35-38]。喷施苹果面膜, 相当于给苹果叶片和果实补充了有机营养、氮、磷、钾、钙、硼、铁、锌等其他营养元素, 提高叶片光合速率, 促进叶片营养物质向果实运转^[31,33]。苹果面膜在雨季溶胀后自行脱落于地表,

可被地面微生物分解为土壤有机质, 提高土壤营养且对土壤环境无污染。喷施苹果面膜, 对促进果实生长、提高叶片光合、减少病虫害发生、促进树体营养平衡等具有积极的作用, 故喷施苹果面膜提高了苹果产量和品质, 而苹果品质与苹果价格密切相关, 在价格提高及产量提高的基础上, 苹果产值得到显著提高。喷施苹果面膜较果实套袋去袋, 可节约大量用工费和材料费。若喷施苹果面膜采用大型机械或无人机喷施, 可进一步减少果园用工费, 增加果园经济产值。

4 结论

在陕北丘陵沟壑区, 与果实套袋相比, 喷施苹果面膜每年可减少用工费24190元/hm², 节约材料费10500元/hm²。喷施苹果面膜提高了优果率, 提高了果实外观商品价值和贮藏运输性能, 提高果实销售价格, 果品产值提高261080元/hm², 果园收入增加295770元/hm²。

参考文献

- [1] 白杜娟, 刘艳玲, 白岗栓. 渭北旱塬苹果果量更新修剪技术及其研究进展. 安徽农业科学, 2022, 50(8): 1-6.
- [2] Feng F J, Li M J, Ma F W, et al. The effects of bagging and debagging on external fruit quality, metabolites, and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in 'Jonagold' apple (*Malus domestica* Borkh.). Scientia Horticulturae, 2014, 165(22): 123-131.
- [3] Liao G L, He Y Q, Li X S, et al. Effects of bagging on fruit flavor quality

- and related gene expression of AsA synthesis in *Actinidia eriantha*. *Scientia Horticulturae*, 2019, 265(15): 108511.
- [4] Zhou H J, Yu Z F, Ye Z W. Effect of bagging duration on peach fruit peel color and key protein changes based on iTRAQ quantitation. *Scientia Horticulturae*, 2019, 246(27): 217–226.
- [5] Wang X Q, Wei Z W, Ma F W. The effects of fruit bagging on levels of phenolic compounds and expression by anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in red-fleshed apples. *Process Biochemistry*, 2015, 50(11): 1774–1782.
- [6] 翟浩, 王贵平, 李晓军, 等. 苹果无袋栽培对果实品质和安全性的影响. *中国果树*, 2015(1): 29–32.
- [7] 马巧荣, 张开祥, 徐福利. 苹果套袋与免套袋栽培比较分析. *安徽农学通报*, 2021, 27(21): 69–70, 95.
- [8] 王贵平, 薛晓敏, 王金政. 我国苹果套袋技术应用研究进展及发展趋势. *河北农业科学*, 2021, 25(4): 44–48.
- [9] 张梅. —“片”苹果“面膜”的诞生. *陕西日报*, 2022-09-27(06).
- [10] 牛育华, 宋洁, 薛瑜瑜, 等. 多功能腐植酸型水果免套袋膜剂的制备与性能研究. *腐植酸*, 2022(6): 28–33.
- [11] 宋洁, 李楠, 牛育华, 等. 一种腐植酸型果实增色膜剂及其制备方法和应用: 115433038A. 2022-12-06.
- [12] 刘增照, 郝明德, 牛育华, 等. 腐植酸叶面肥对苹果品质和产量的影响. *北方园艺*, 2019(6): 28–33.
- [13] 刘增照, 郝明德, 牛育华, 等. 施用腐植酸肥料对猕猴桃果实品质和产量的影响. *西北农业学报*, 2019, 28(2): 219–224.
- [14] 樊秀芳, 刘旭峰, 杨海, 等. 液膜果袋对苹果果实生长发育的影响. *果树学报*, 2003, 20(4): 328–330.
- [15] Xing B S, Liu J D, Liu X B, et al. Extraction and characterization of humic acids and humin fractions from a black soil of China. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 1–8.
- [16] Gordon M K, John F P. Equilibrium parameters for the sorption of copper, cadmium and zinc ions onto peat. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology (United Kingdom)*, 1998, 69(3): 309–320.
- [17] Marcelo A, Kevin J W. Disaggregation kinetics of a peat humic acid: mechanism and pH effects. *Environmental Science and Technology*, 2003, 36(23): 5100–5105.
- [18] Cieslewicz J, Gonet S S. Properties of humic acids as biomarkers of lake catchment management. *Aquatic Sciences*, 2004, 66: 178–184.
- [19] Zandonadi D B, Canellas L P, Façanha A R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 2007, 225(6): 1583–1595.
- [20] Nardi S, Pizzeghello D, Gessa C, et al. A low molecular weight humic fraction on nitrate uptake and protein synthesis in maize seedlings. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(3): 415–419.
- [21] Albayrak S, Camas N. Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Journal of Agronomy*, 2005, 4(2): 130–133.
- [22] 周丽平, 袁亮, 赵秉强, 等. 不同用量风化石腐植酸对玉米根系的影响. *中国农业科学*, 2019, 52(2): 285–292.
- [23] Rasouli F, Nasiri Y, Asadi M, et al. Fertilizer type and humic acid improve the growth responses, nutrient uptake, and essential oil content on *Coriandrum sativum* L. *Scientific Reports*, 2022, 12: 7437.
- [24] Marino G, Righi V, Simoni A, et al. Effect of a peat humic acid on morphogenesis in leaf explants of *Pyrus communis* and *Cydonia oblonga*. *Metabolomic analysis at an early stage of regeneration. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(21): 4979–4987.
- [25] Azcona I, Pascual I, Aguirreola J, et al. Growth and development of pepper are affected by humic substances derived from composted sludge. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2011, 174(6): 916–924.
- [26] Canellas L P, Piccolo A, Dobbss L B, et al. Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid. *Chemosphere*, 2010, 78(4): 457–466.
- [27] Ei-Ghamry A M, Abd K M, Ghoneem K M. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. *Australian Journal of Basic Applied Sciences*, 2009, 3(2): 731–739.
- [28] Pizzeghello D, Francioso O, Ertani A, et al. Isopentenyladenosine and cytokinin-like activity of different humic substances. *Journal of Geochemical Exploration*, 2013, 129(6): 70–75.
- [29] Canellas L P, Olivares F L, Aguiar N O, et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 2015, 196(9): 15–27.
- [30] 裴瑞杰, 袁天佑, 王俊忠, 等. 施用腐植酸对夏玉米产量和氮效率的影响. *中国农业科学*, 2017, 50(11): 2189–2198.
- [31] 张水勤, 袁亮, 林治安, 等. 腐植酸促进植物生长的机理研究进展. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(4): 1065–1076.
- [32] Fan H M, Wang X W, Sun X, et al. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae*, 2014, 177(5): 118–123.
- [33] 李燕婷, 李秀英, 肖艳, 等. 叶面肥的营养机理及应用研究进展. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 162–172.
- [34] Yildirm E. Foliar and soil fertilization of humic acid affect productivity and quality of tomato. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B—Soil & Plant Science*, 2007, 57(2): 182–186.
- [35] Nardi S, Pizzeghello D, Muscolo A, et al. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1527–1536.
- [36] Nardi S, Pizzeghello D, Reniero F, et al. Chemical and biochemical properties of humic substances isolated from forest soils and plant growth. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 639–645.
- [37] Malcolm R E, Vaughan D. Humic substances and phosphatase activities in plant tissues. *Soil Biology and Biochemistry*, 1979, 11(3): 253–259.
- [38] Li Y, Fang F, Wei J L, et al. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. *Scientific Reports*, 2019, 9: 12014.