

叶面肥在葡萄生产中的应用进展

宋长年¹, 周哲¹, 邹典旭¹, 李红月¹, 银海玲¹, 董瑞萍², 汲静³

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏万有引力生态农业科技有限公司, 江苏南京 211599; 3. 句容葡萄研究所, 江苏句容 212499)

摘要 在葡萄生产栽培过程中, 为了提高产量和品质, 需要通过施肥来提供所需要的各种营养元素, 喷施叶面肥是一种十分有效、经济且环保的施肥方式。综述了叶面肥的种类、功能、优缺点, 以及当前叶面肥在葡萄栽培上的应用现状, 分析不同类型的叶面肥对葡萄生长发育的影响, 展望未来的研究趋势。

关键词 葡萄; 叶面肥; 品质; 应用

中图分类号 S 663.1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)19-0011-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.19.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Application Progress of Foliar Fertilizer in Grape Production

SONG Chang-nian, ZHOU Zhe, ZOU Dian-xu et al (College of Horticulture of Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract In the process of grape production and cultivation, in order to improve the yield and quality, it is necessary to provide various nutrient elements through fertilization. Spraying foliar fertilizer is a very effective, economical and environmentally friendly fertilization method. The types, functions, advantages and disadvantages of foliar fertilizers, as well as the current application status of foliar fertilizers in viticulture were reviewed, the effects of different types of foliar fertilizers on the growth and development of grapes were analyzed, and the future research trends were prospected.

Key words Grape; Foliar fertilizer; Quality; Application

葡萄为葡萄科(Vitaceae)葡萄属(Vitis)木质藤本植物, 是我国最早栽培的果树之一, 发展至今已具有众多种质资源。其果实口感酸甜、营养价值高, 深受人们的喜爱, 发展葡萄种植业的作用不仅在于带动果农致富, 更重要的是满足人们对日益提高的生活水平的要求。具有独特香味或色彩的葡萄品种既在口感和营养上满足了人们的需求, 又兼顾了生活中人们对于嗅觉和视觉的享受, 在市场上更容易受到追捧。在葡萄生产栽培过程中为了提高产量和品质, 需要通过施肥来提供所需要的各种营养元素, 除了土壤施肥以外, 叶面施肥在农业生产上也被广泛应用。

1 叶面肥的种类及功能

植物主要通过根系和叶片来摄取外界营养物质。当作物根系因为某种原因(如根系幼小、根系受伤、土壤养分贫瘠、土壤酸性或碱性过高)无法吸收充足的养分时, 为了维持正常的生长发育, 就需要通过叶面喷施养分或刺激剂来保证养分需求。在某些逆境环境条件下(如旱灾、涝灾), 叶面施肥是作物吸收养分或提高植物组织中养分浓度的唯一有效方法^[1]。并且有许多研究表明, 植物通过叶面吸收养分的效率要比从土壤中吸收养分的效率更高^[1-3]。叶面施肥是实现作物田间可持续生产管理的一项重要农艺措施, 营养元素直接喷洒在植物叶片和茎秆表面^[4], 用来补充养分, 特别是微量元素, 如锌、硒、铜、锰等。在叶片上施用微量元素可以提高谷物^[5-6]、果树^[7-8]和蔬菜在内的多种作物的产量和品质^[9]。这种农艺措施比土壤施肥投入少, 操作简单, 并且对环境无害^[10]。

随着对叶面肥的深入研究以及对叶片结构、叶片吸收机理的深度了解, 叶面肥的类型变得不再单一, 除了以大量元素和微量元素为主的营养型叶面肥外^[11], 富含植物生长调节剂(如生长素类、赤霉素类)的调节型叶面肥^[12]; 以杀菌剂(如代森锌、甲基硫菌灵)为主的肥药型叶面肥^[13]; 以天然物质(如海藻、微生物)为主的生物型叶面肥^[14]以及特殊的稀土型叶面肥^[15]和纳米颗粒叶面肥^[16]也都开始应用于各类作物的田间生产管理中, 用来提高作物的产量、品质和抗逆性等。

1.1 营养型叶面肥 营养型叶面肥一般分为以大量元素(氮、磷、钾等)为主的水溶性肥料或以微量元素(铁、锰、锌等)为主的水溶性肥料, 目的是在植物生长发育过程中, 保证养分的充足摄入, 以提高作物的产量和品质。

当根系因为某种原因(如根系受伤、基肥不足等)无法吸收充足的养分来满足作物需求时, 一般采用叶面喷施大量元素型肥料, 来补充养分保证作物的正常生长。郑继亮^[17]研究发现, 叶面喷施大量元素水溶性肥料, 与叶面喷施清水和不进行叶面喷施相比, 籽棉的产量及棉花有效果枝数、单株结铃数显著增多。还有研究表明, 叶面喷施大量元素可以显著提高油菜的品质, 使油菜叶色浓郁, 单株有效角数和千粒重显著增加^[18]。

作物在生长发育过程中虽然对微量元素的需求量很少, 但这些元素却是植物体生命活动所必需的, 为了防止作物营养比例失衡, 一般通过叶面喷施微量元素性肥料来维持作物对养分的均衡摄入。有报道称, 叶面喷施微量元素不仅可以提升作物体内微量元素的含量, 也会促进作物吸收大量元素, 刘林等^[19]研究发现, 与喷施清水相比, 叶面喷施微量元素和氨基酸螯合物, 能够显著增加香蕉果实中的氮、钾元素含量以及单产量。

基金项目 江苏省政策引导计划-苏北科技专项(LYG-SZ201804); 句容市农业科技支撑计划项目(NY2018612139)。

作者简介 宋长年(1979—), 男, 安徽怀远人, 讲师, 博士, 从事果树新品种选育和栽培技术推广研究。

收稿日期 2021-11-12

1.2 调节型叶面肥 调节型叶面肥除了含有一些大量元素和微量元素外,还添加了一些调节植物生长的刺激剂,例如生长素类、赤霉素类、细胞分裂素类等,这些刺激剂有的可以被植物直接吸收利用,有的可以刺激植物加强对其他营养物质的吸收或调节自身生理生化代谢过程,从而促进植物的生长发育及提高抗病性。向永生等^[20]在茶叶的试验中发现,喷施调节型叶面肥(含芸苔素内酯 0.016 g/kg)可以显著增加茶叶的产量,提升干茶茶多酚、游离氨基酸总量等内在品质。郭汉菊等^[21]研究发现,在持续高温干旱条件下,叶面喷施调节型叶面肥能够促进柑橘的生长和结果。曹晓霞等^[22]也发现,喷施抗蒸腾剂叶面肥可以显著提高苗木的抗旱性。在冬前喷施调节型叶面肥,能够促进小麦根系生长,进而抑制地上部徒长,还可以提高小麦抗倒性以及抵御冷胁迫的能力^[23]。

1.3 肥药型叶面肥 肥药型叶面肥是指将肥料与杀菌剂、杀虫剂等混合,既能够促进作物养分吸收,改善品质,又可以杀菌杀毒,防止病虫害的侵蚀。在田间生产管理中,杀虫作业与施肥作业一般是分开的,而肥药型叶面肥的研究,可以使这两项合二为一,有效地减少工作量,提高工作效率。瓦热斯·为力等^[24]研究发现,叶面施用生物复合药肥,能够有效防治棉叶螨,并提高棉花产量。还有研究发现,在烟草^[25]、茄子^[26]、香蕉^[27]上施用肥药型叶面肥,可以显著防治病虫害,并且提升产品品质和产量。肥药混合在一定程度上减少了肥料和药剂的使用量,保护了环境,延缓了病虫抗药性的增强。阳廷密等^[28]将杀菌剂乙螨唑、阿维菌素和联苯肼酯减量混于氨基酸水溶性肥料中,研究其叶面喷施对柑橘的影响,发现这种肥药混合方式,可以显著防治柑橘全爪螨,并提高柑橘品质。刘民晓等^[29]在苹果种植过程中,将哒螨灵杀虫剂减量 10%并混入稀释 300~500 倍的鸡粪浓缩液中,进行叶面处理,结果发现可显著防治苹果红蜘蛛,并且在最大程度上能够延缓病虫抗药性的增强。

1.4 生物型叶面肥 在农业方面,由于对可持续性的要求不断增加,人们逐渐将眼光转向了以天然物质作为肥料开发与使用中^[30]。生物型叶面肥中含有大量的有益物质(氨基酸、微生物、代谢产物、核酸等),以微藻为例,微藻是在海洋、淡水或废水中生长的具有不同营养来源的光合微生物^[31],含有多种促进植物生长的物质,如多糖、脂类、蛋白质和植物激素等,Fornes 等^[32]报道,海藻提取物含有多种不同浓度的有益化合物,并以连锁和结合的形式在植物体内起到积极作用^[33-34]。随着研究的深入,发现海藻提取物的作用依赖于触发植物组织中的特定新陈代谢,而不是营养和化合物的简单贡献^[35-37]。海藻可能作为次生代谢的生物激发子,通过苯丙氨酸解氨酶和其他相关酶的活性触发酚类和挥发性化合物的合成^[35-36]。在火龙果^[38]、冬枣^[39]、番茄^[40]等多种作物上得到了广泛应用。

氨基酸作为构成蛋白质的基本分子,在生物体内是必不可缺少的。有研究表明氨基酸肥在叶面和水培营养液中施用对作物更有益^[41],而氨基酸肥的施用除了可以被植物直接

吸收利用之外,还可以作为生物刺激剂,刺激植物加强对其他营养物质的吸收和调节自身的生理生化代谢过程,从而促进植物的生长发育以及提高抗病性。魏启舜等^[42]发现,冷胁迫下草莓的生长受到抑制,尤其是株高和叶面积,而叶面施用羽毛生物降解的氨基酸肥(游离氨基酸含量 0.364 g/L),可以显著减少冷胁迫的伤害;并且在适宜环境条件下,施用该肥处理的草莓,其叶绿素相对含量、Vc 含量、可溶性固形物含量等均显著高于其他处理。喷施氨基酸肥可以缓解逆境胁迫对植物的影响,例如在干旱胁迫条件下,施用 150 mg/L 的氨基酸肥,不仅能有效缓解干旱胁迫对白菜的破坏作用,还能提高其生长和营养价值^[43]。在高盐胁迫下,番茄的生长受到抑制,叶面施用氨基酸活性物质可以减少高盐对番茄的负面影响^[44]。Ahmad 等^[45]发现,最常用的缓解高盐影响的氨基酸是脯氨酸,脯氨酸的应用对芥菜抵御高盐胁迫有帮助。在冷胁迫下,氨基酸肥处理的生菜植株,气孔导度和鲜重显著提高^[46],并在干旱胁迫下促进了植株生长^[47]。在病虫害的生物胁迫下,锰-氨基酸复合物(包括锰-赖氨酸和锰-蛋氨酸)比硫酸锰更能有效地抑制已处理和新生叶片上的病害^[48]。

2 叶面肥的优缺点

2.1 优点

2.1.1 用量少、环境污染小、经济投入少。在田间生产过程中,由于过度施用化肥,不仅使得土壤污染严重(如土壤板结、盐渍化、重金属污染等),还侵染了地下水源,危害人们的身体健康。而叶面施肥不接触土壤,大大减少了环境污染的可能性^[13]。并且有研究表明,叶面施肥的肥料用量仅为土壤施肥的 1/5 甚至 1/10,用量少,投入相比土壤施肥,所需要的成本更低^[10]。

2.1.2 针对性、目的性强。在作物快速生长期,会表现出对某一元素的依赖,例如大豆种子在开花期和结荚期对铁元素的需求量大,叶面喷施富铁的肥料能够促进大豆种子的生长并显著提高产量^[49];在镉污染严重的土壤上生长的小麦,在其籽粒灌浆初期叶面喷施适宜浓度的锌肥,不仅可以有效降低作物体内镉元素浓度,同时能够提高糙米体内的锌浓度^[50-51]。当土壤养分贫瘠或者因为元素之间的拮抗作用,造成作物吸收某种养分不足时,叶面喷肥可以有针对性的解决这一问题,例如土壤施用的肥料中铁元素极易氧化,使得作物无法从土壤中获得铁元素,叶面喷铁可以满足作物对铁元素的需求^[52];当植物生长在酸性土壤(酸碱度 ≤ 5.5)中时,土壤中存在大量的 Al^{3+} 离子,由于拮抗作用,使得作物对土壤中钙的吸收效率下降^[53],此时,叶面喷施钙肥是解决植物养分间拮抗效应的有效措施;另外,土壤施用的肥料中水溶性磷酸盐容易与土壤中的铁、铝、锰、钙等相互作用生成难溶性磷酸盐,使得植物根系难以吸收磷元素,在这种情况下,叶面施肥,可以满足当前植物对磷元素的需求,是解决土壤肥料使用效率的最佳方式^[54]。研究表明,针对某种生物或非生物胁迫,通过叶面喷肥,可以提高植物的抗性,例如叶面喷施纳米碳酸钙能有效地保护柑橘果实免受柑橘红蜘蛛和东

方果蝇的侵害^[55];叶面喷施硅酸盐(如 K_2SO_3 、 Na_2SiO_3)可降低某些特定物种的感病率,如黄瓜白粉病、水稻稻瘟病等^[56];叶面喷施锰对黄瓜白粉病的防治效果显著,在烟草感染赤星病前叶面喷施锰可以增强植物的防御结构,有助于预防病害的发生^[48];叶面喷施二氧化钛能够显著提升低日照条件下草莓的产量和品质。

2.1.3 效率高,吸收速度快。土壤施用肥料时营养元素需要先经过土壤吸收,然后被根系以主动或被动吸收方式转移至体内,再通过维管束运输到作用部位,而叶面施肥则可以直接被叶片吸收,运输到作用部位,耗费的时间短,而且效率高^[1-3]。如有研究表明,作物从叶面吸收硒的效率比从土壤中吸收硒的效率更高,因为作物可以直接吸收外源施用的硒,并将其输送到植株的其他部位,特别是作物的食用部位^[57];李燕婷等^[58]研究也得出相同结论,叶面喷施 2% 的过磷酸钙浸提液,5 min 后便可转运至作物各个部位,而经过土壤施用的过磷酸钙需要 15 d 后才能达到同样的效果。

2.2 缺点

2.2.1 单次养分吸收量小。由于叶片大小以及叶片进行物质交换通道的限制,使得养分单次吸收量少,如在草莓生长发育时期需多次重复叶面喷施效果最好^[59]。

2.2.2 养分流动性限制。叶片对于叶面喷施养分的利用效率还取决于养分的流动性,有研究表明流动性差的养分仅在喷洒部位的目标组织中检测到养分^[60]。

2.2.3 元素间的拮抗作用。例如有研究表明,当铜和锰单独喷施于谷物叶片时,产量显著增加,而当两种元素混合喷施时,谷物产量显著下降^[61]。

2.2.4 转运微量元素的限制。有些叶面施用的微量营养素不能有效地向根转移,根可能仍然缺乏^[62],例如,通过叶面施用,铁不会从嫩枝向下转运到根部^[63]。

2.2.5 易受其他因素干扰。Fernández 等^[2]研究发现,叶片吸收养分的效率容易受到干扰,如喷洒离子的浓度和物理化学性质以及植物的生理因素,包括生长阶段、代谢过程等。

3 叶面肥在葡萄上的应用

葡萄是我国重要的果树种植资源,分布范围较广,因为地域、气候、品种等方面的原因,使得葡萄的品质和产量不同,而在田间生产管理中,肥料的施用是提升葡萄品质和产量的有效措施,葡萄施肥原则以秋季土施基肥为主,生长期间追肥为辅,追肥一般冲施水溶性肥,或者叶面喷施肥料。在葡萄萌芽期,主要依靠根系吸收养分,此时土壤肥力的高低决定萌芽的速度及数量,若是秋季施加基肥的量足够,此时不用追肥,若是不足,则需少量追施,但是注意不要伤及根系;在葡萄展叶期,此时枝叶生长迅速,需肥量大,要根据树势来施肥,当新梢生长至 20 cm 以上时,可叶面喷施大量元素和微量元素肥,以高氮、低磷、中钾同时补充微量元素为主,但要注意施加的量,谨防造成徒长枝;在葡萄开花期,也要根据树势来施肥,主要以冲施肥和叶面施肥为主;在葡萄幼果期、膨大期、着色期,也是以冲施肥和叶面施肥为主,要根据田间要求和品种特性合理选择肥料类型及施肥方式。

叶面施肥在葡萄生长发育时期应用的比较多,不同类型的叶面肥对葡萄的影响不同。

3.1 叶面肥对葡萄营养生长的作用 营养器官主要指作物的根、茎、叶,在葡萄生长发育时期,营养器官的生长决定了葡萄植株的长势,以及后期生殖器官的发育。葡萄生长以根系吸收养分为主,根系的生长主要依靠土壤中的养分,但也有研究发现,叶面喷施海藻提取物,也可以有效促进葡萄根系的发育^[64]。葡萄茎干的生长很重要,它起着支撑和输送养分的作用,刘鑫铭等^[65]在“巨峰”葡萄试验中发现,叶面喷施氨基酸水溶性肥,可以促进枝条的成熟老化。叶面施肥对于叶片的影响最为显著,首先是形态方面,有研究表明,叶面喷施黄棕腐殖酸钾可以显著促进叶片的生长,使叶长与叶宽均极显著高于对照(清水)的处理^[66]。叶面喷施氨基酸富硒肥,可以增加葡萄叶片厚度,车俊峰^[67]在新疆 2 个葡萄品种上追施叶面肥,发现可显著增加叶片数量和增大叶片面积。在其他方面的研究主要集中在叶绿素的含量上,叶绿素含量的多少,可以在一定程度上反应叶片的光合作用。例如,车俊峰^[67]试验发现,追施叶面肥可以促进“无核白”“克瑞森无核”2 个品种叶片的叶绿素相对含量和光合速率,通过对气孔导度、细胞间二氧化碳浓度等进一步相关分析发现,光合速率的提升主要是由非气孔因素引起的。还有研究表明,叶面喷施 γ -聚谷氨酸生物菌肥^[68]、氨基酸水溶性肥^[65]、微量元素肥^[69]、微生物菌剂^[70]等都可以显著增加叶片叶绿素相对含量,从而提高光合作用。

3.2 叶面肥对葡萄生殖生长的作用 生殖器官主要是花、果实、种子,结花的数量决定了果实的数量,而种子在生产上一般做无核化处理,葡萄主要以扦插根繁育为主。在生殖器官方面的研究有很多报道,首先在成花方面,有促进成花的、也有抑制成花的,针对不同情况,选择不同的叶面肥处理,例如叶面喷施调节型叶面肥(如含有矮壮素、多效唑)可以促进冬芽分化、二次成花、二次结果,打破休眠提高萌芽率、促进成花^[71]。对葡萄果实的影响,Taskos 等^[37]的研究中指出,施加氮肥的前提下,用 1% 浓度的海藻提取物处理可使葡萄产量增加 26%,果皮花青素提取率增加 21%。这与 Frioni 等^[36]和 Salvi 等^[72]的试验结果相似,海藻提取物叶面处理影响了葡萄的次级代谢产物的含量与分配,如酚类物质的合成^[73-74]。在 Frioni 等^[36]的试验中海藻提取物(褐藻)处理,提高了花色苷在所有品种中的积累,并提高了酚类物质的含量,尤其是“桑乔维赛”品种。在 Salvi 等^[72]的试验中海藻提取物叶面处理提高了葡萄果实果皮花青素和黄酮醇含量,但降低了甲氧基化的花青素与非甲氧基化花青素的含量。张超杰等^[75]在以“巨峰”葡萄为材料的试验中,发现叶面喷施氨基酸及富硒叶面肥在不同程度上增加了果实纵横径、单粒重、穗重和可溶性固形物含量,并且显著增加脂类香气物质种类及含量,改善了果实风味。卢精林等^[76]在以“矢富罗莎”“红提”葡萄为试材的研究中也得到相同结论,喷施叶面肥可以显著提高果实单粒重、纵横径、硬度、Vc 含量、可溶性糖含量并使有机酸含量下降。

3.3 叶面肥对葡萄抗逆性的影响 在抗逆性方面也有相关研究,如王瑞雪^[77]研究发现,叶面喷施硒肥,可以提高葡萄幼苗叶片的 POD、SOD、CAT 活性,在一定程度上增强了叶片的抗逆性。针对非生物胁迫,如低温、干旱等情况,有研究发现,叶面喷施植物精油可以提高葡萄体内保护酶的活性以及渗透调节物质的含量,并有效降低作物体内丙二醛的含量,从而提高葡萄抗寒性^[78]。何昊^[79]研究也发现,叶面喷施调节型叶面肥(含有 ABA),能够促进“夏黑”和“红地球”葡萄叶片中脯氨酸和可溶性糖含量的增加,减少 MDA 的积累,使一些与抗逆性相关的酶(如 SOD、POD)的活性上升,进而提高葡萄抗逆性。在生物胁迫方面,霜霉病菌、白粉病菌等是葡萄生产中常见的病害,严重影响葡萄的产量和品质,而有些叶面肥的使用可以提高葡萄本身的抗病性,如叶面喷施植物免疫诱抗剂(本身没有杀虫杀菌效果)可以显著提升葡萄对病虫害的抵御能力^[80]。

4 小结

在葡萄的栽培中,喷施叶面肥是一种十分有效、经济且环保的施肥方式。在进行土壤施肥不便或受到不良环境影响时,喷施叶面肥可以有效补充葡萄生长发育所必需的养分。经过多年的发展,叶面肥的在葡萄栽培上的应用已经取得了巨大进步。尽管当前叶面肥的发展和应用还存在很多不足之处,但未来叶面肥仍具有非常广阔的发展前景,必将得到广泛的推广和应用。

参考文献

- DEHNAVARD S, SOURI M K, MARDANLU S. Tomato growth responses to foliar application of ammonium sulfate in hydroponic culture[J]. Journal of plant nutrition, 2017, 40(3): 315–323.
- FERNÁNDEZ V, EBERT G. Foliar iron fertilization: A critical review[J]. Journal of plant nutrition, 2005, 28(12): 2113–2124.
- GHASEMI S, KHOSHGOFTARMANESH A H, AFYUNI M, et al. Iron (II)-amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture[J]. Scientia horticulturae, 2014, 165: 91–98.
- FERNÁNDEZ V, BROWN P H. From plant surface to plant metabolism: The uncertain fate of foliar-applied nutrients[J]. Frontiers in plant science, 2013, 4: 1–5.
- CAKMAK I, KALAYCI M, KAYA Y, et al. Biofortification and localization of zinc in wheat grain[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2010, 58(16): 9092–9102.
- HE W L, SHOHAG M J I, WEI Y Y, et al. Iron concentration, bioavailability, and nutritional quality of polished rice affected by different forms of foliar iron fertilizer[J]. Food chemistry, 2013, 141(4): 4122–4126.
- PAPADAKIS I E, SOTIROPOULOS T E, THERIOS I N. Mobility of iron and manganese within two citrus genotypes after foliar applications of iron sulfate and manganese sulfate[J]. Journal of plant nutrition, 2007, 30(9): 1385–1396.
- HASANI M, ZAMANI Z, SAVAGHEBI G, et al. Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals[J]. Journal of soil science and plant nutrition, 2012, 12(3): 471–480.
- ROOSTA H R, MOHSENIAN Y. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system[J]. Scientia horticulturae, 2012, 146: 182–191.
- FERNÁNDEZ V, EICHERT T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization[J]. Critical reviews in plant sciences, 2009, 28(1/2): 36–68.
- 李小明, 龙惊惊, 周悦, 等. 叶面肥的应用及研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(3): 127–130.
- 李永旗, 李鹏程, 刘爱忠, 等. 棉花叶面施肥研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(3): 15–19.
- 王少鹏, 洪煜丞, 黄福先, 等. 叶面肥发展现状综述[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(4): 96–98.
- HERNANDEZ J A, CALDERÍN A, HUELVA R, et al. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production[J]. Agronomy for sustainable development, 2015, 35(1): 225–232.
- 杨惠元, 蒋国柱, 毛树春, 等. 稀土在棉花上的应用效果[J]. 中国棉花, 1988, 15(4): 31–33.
- LARUE C, CASTILLO-MICHEL H, SOBANSKA S, et al. Foliar exposure of the crop *Lactuca sativa* to silver nanoparticles: Evidence for internalization and changes in Ag speciation[J]. Journal of hazardous materials, 2014, 264: 98–106.
- 郑继亮. 大量元素叶面水溶肥对新疆焉耆盆地棉花生长及产量的影响[J]. 南方农业, 2020, 14(11): 190–191.
- 王克孟, 章安康. 油菜喷施叶面肥的效果[J]. 江苏农业科学, 1992, 20(1): 4–6.
- 刘林, 张江周, 王斌, 等. 香蕉果指喷施叶面肥对其外观品质和产量的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(12): 2204–2209.
- 向永生, 孙东发, 王明锐, 等. 沼液与不同类型叶面肥在茶叶上的使用效果[J]. 湖北农业科学, 2006, 45(2): 183–184.
- 郭汉菊, 陈于权, 黄先彪, 等. 高温干旱气候条件下植物调节剂在柑橘上的应用[J]. 湖北植保, 2014(6): 24–26.
- 曹晓霞, 郭建斌, 李文斌, 等. 抗蒸腾叶面肥对苗木抗旱性的调节作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(9): 61–65.
- 蒋明洋, 商涛, 张娟, 等. 植物生长调节剂对超高产小麦生长发育的效果[J]. 山东农业科学, 2012, 44(9): 104–105.
- 瓦赫斯·为力, 艾克拜尔·伊拉洪, 阿不都赛买提·乃合买提, 等. 生物复合药剂对棉叶螨及棉花生长发育的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(9): 1701–1709.
- 王秋萍, 张承, 龙友华, 等. 药肥混用对烟草病害防控及生长、品质产量的影响[J]. 农药, 2019, 58(1): 67–69, 78.
- 胡庆发, 马军伟, 符建荣, 等. 多功能药肥对茄子黄萎病的防治效果及茄子产量品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(2): 315–318.
- 匡石滋, 李春雨, 田世尧, 等. 药肥两用生物有机肥对香蕉枯萎病的防治及其机理初探[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(3): 417–423.
- 阳廷密, 蒋运宁, 王明召, 等. 药肥混用对柑橘全爪螨的田间减量增效作用[J]. 农药, 2020, 59(12): 921–924.
- 刘民晓, 王洪涛, 王英姿, 等. 药肥混用对苹果红蜘蛛的田间防治效果[J]. 农药, 2019, 58(12): 929–931.
- CHIAIESE P, CORRADO G, COLLA G, et al. Renewable sources of plant biostimulation: Microalgae as a sustainable means to improve crop performance[J]. Frontiers in plant science, 2018, 9: 1–6.
- BEHERA B, ACHARYA A, GARGEY I A, et al. Bioprocess engineering principles of microalgal cultivation for sustainable biofuel production[J]. Bioresource technology reports, 2019, 5: 297–316.
- FORNES F, SÁNCHEZ-PERALES M, GUARDIOLA J L. Effect of a seaweed extract on the productivity of ‘de Nules’ clementine mandarin and navelina orange[J]. Botanica marina, 2002, 45(5): 486–489.
- GARCIA-GONZALEZ J, SOMMERFELD M. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*[J]. Journal of applied phycology, 2016, 28: 1051–1061.
- GODLEWSKA K, MICHALAK I, TUHY Ł, et al. Plant growth biostimulants based on different methods of seaweed extraction with water[J]. BioMed research international, 2016, 2016: 1–11.
- BEN SALAH I, AGHROUSS S, DOUIRA A, et al. Seaweed polysaccharides as bio-elicitors of natural defenses in olive trees against verticillium wilt of olive[J]. Journal of plant interactions, 2018, 13(1): 248–255.
- FRIONI T, SABBATINI P, TOMBESI S, et al. Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* on ripening dynamics and fruit quality of grapevines[J]. Scientia horticulturae, 2018, 232: 97–106.
- TASKOS D, STAMATIADIS S, YVIN J C, et al. Effects of an *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract on grapevine yield and berry composition of a Merlot vineyard[J]. Scientia horticulturae, 2019, 250: 27–32.
- 郭蓉, 龚一富, 姜洁, 等. 海藻生物肥对火龙果生长、产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(12): 2455–2461.
- 赵西梅, 陈印平, 夏江宝, 等. 六种叶面肥对冬枣生长发育及果实品质的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(16): 5530–5537.
- DEEPIKA P, MUBARAKALI D. Production and assessment of microalgal liquid fertilizer for the enhanced growth of four crop plants[J/OL]. Biocatalysis and agricultural biotechnology, 2020, 28 [2021-04-27]. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101701.
- YASMEEN A, BASRA S M A, FAROOQ M, et al. Exogenous application

- of moringa leaf extract modulates the antioxidant enzyme system to improve wheat performance under saline conditions[J]. Plant growth regulation, 2013, 69(3): 225–233.
- [42] 魏启舜, 赵荷娟, 郭成宝, 等. 羽毛生物降解氨基酸肥对草莓生长和果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(32): 46–52.
- [43] HAGHIGHI M, SAADAT S, ABBEY L. Effect of exogenous amino acids application on growth and nutritional value of cabbage under drought stress[J/OL]. Scientia horticulturae, 2020, 272[2021-04-27]. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109561.
- [44] ALFOSEA-SIMÓN M, ZAVALA-GONZALEZ E A, CAMARA-ZAPATA J M, et al. Effect of foliar application of amino acids on the salinity tolerance of tomato plants cultivated under hydroponic system[J/OL]. Scientia horticulturae, 2020, 272[2021-04-28]. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109509.
- [45] AHMAD P, HASHEM A, ABD-ALLAH E F, et al. Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through antioxidative defense system[J]. Frontiers in plant science, 2015, 6: 1–15.
- [46] BOTTA A. Enhancing plant tolerance to temperature stress with amino acids: An approach to their mode of action[J]. Acta horticulturae, 2012(1009): 29–35.
- [47] GUNES A, POST W N K, KIRKBY E A, et al. Influence of partial replacement of nitrate by amino acid nitrogen or urea in the nutrient medium on nitrate accumulation in NFT grown winter lettuce[J]. Journal of plant nutrition, 1994, 17(11): 1929–1938.
- [48] ESKANDARI S, KHOSHGOFTARMANESH A H, SHARIFNABI B. The effect of foliar-applied manganese in mineral and complex forms with amino acids on certain defense mechanisms of cucumber (*Cucumis sativus* L.) against powdery mildew[J]. Journal of plant growth regulation, 2018, 37(2): 481–490.
- [49] SHARMA S, MALHOTRA H, BORAH P, et al. Foliar application of organic and inorganic iron formulation induces differential detoxification response to improve growth and biofortification in soybean[J]. Plant physiology reports, 2019, 24(1): 119–128.
- [50] WANG H, XU C, LUO Z C, et al. Foliar application of Zn can reduce Cd concentrations in rice (*Oryza sativa* L.) under field conditions[J]. Environmental science and pollution research, 2018, 25(29): 29287–29294.
- [51] SAIFULLAH, SARWAR N, BIBI S, et al. Effectiveness of zinc application to minimize cadmium toxicity and accumulation in wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Environmental earth sciences, 2014, 71(4): 1663–1672.
- [52] GRAHAM R D, WELCH R M, SAUNDERS D A, et al. Nutritious subsistence food systems[J]. Advances in agronomy, 2007, 92: 1–74.
- [53] MOSSOR-PIETRASZEWSKA T. Effect of aluminium on plant growth and metabolism[J]. Acta biochimica polonica, 2001, 48(3): 673–686.
- [54] WITHERS P J A, SYLVESTER-BRADLEY R, JONES D L, et al. Feed the crop not the soil: Rethinking phosphorus management in the food chain[J]. Environmental science & technology, 2014, 48(12): 6523–6530.
- [55] HUA K H, WANG H C, CHUNG R S, et al. Calcium carbonate nanoparticles can enhance plant nutrition and insect pest tolerance[J]. Journal of pesticide science, 2015, 40(4): 208–213.
- [56] BUCK G B, KORNDÖRFER G H, NOLLA A, et al. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control[J]. Journal of plant nutrition, 2008, 31(2): 231–237.
- [57] DENG X F, LIU K Z, LI M F, et al. Difference of selenium uptake and distribution in the plant and selenium form in the grains of rice with foliar spray of selenite or selenate at different stages[J]. Field crops research, 2017, 211: 165–171.
- [58] 李燕婷, 李秀英, 肖艳, 等. 叶面肥的营养机理及应用研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 162–172.
- [59] ERDAL I, KEPENEK K, KIILGÖZ İ. Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars[J]. Turkish journal of agriculture and forestry, 2004, 28(6): 421–427.
- [60] FAGERIA N K, FILHO M P B, MOREIRA A, et al. Foliar fertilization of crop plants[J]. Journal of plant nutrition, 2009, 32(6): 1044–1064.
- [61] CASTILLON P, LE SOUDER C. Fertilisation des céréales: Evitez les cocktails d'oligo-éléments[J]. Perspectives agricoles, 2011(376): 46–47.
- [62] RENGEL Z, BATTEN G D, CROWLEY D E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops[J]. Field crops research, 1999, 60(1/2): 27–40.
- [63] HU J, GUO H Y, LI J L, et al. Interaction of γ -Fe₂O₃ nanoparticles with *Citrus maxima* leaves and the corresponding physiological effects via foliar application[J]. Journal of nanobiotechnology, 2017, 15(1): 1–12.
- [64] MUGNAI S, AZZARELLO E, PANDOLFI C, et al. Enhancement of ammonium and potassium root influxes by the application of marine bioactive substances positively affects *Vitis vinifera* plant growth[J]. Journal of applied phycology, 2008, 20(2): 177–182.
- [65] 刘鑫铭, 陈婷, 刘锡铭, 等. 含氨基酸水溶性肥料对巨峰葡萄的影响[J]. 福建农业学报, 2019, 34(7): 782–789.
- [66] 韩晋, 杜海平, 李斌, 等. 黄棕腐植酸钾有机肥在葡萄上的施用效果[J]. 山西农业科学, 2020, 48(7): 1106–1109.
- [67] 车俊峰. 叶面追肥对新疆两个葡萄品种产量和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [68] 闫可, 申海林, 邹利人, 等. 叶面喷施 γ -聚谷氨酸生物菌肥对葡萄生长发育的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017(4): 40–43.
- [69] 史祥宾, 王孝娣, 王宝亮, 等. 叶面肥添加微量元素对设施葡萄生长发育的影响[J]. 中国果树, 2020(4): 47–50.
- [70] 莫定鸣, 梁士寿, 黄胜, 等. 微生物菌剂在葡萄生产中的效果研究[J]. 中国果菜, 2017, 37(11): 20–22, 29.
- [71] 路贵龙, 土旦吉热. 中国葡萄二次结果技术研究进展[J]. 农学报, 2018, 8(12): 68–72.
- [72] SALVI L, BRUNETTI C, CATALDO E, et al. Effects of *Ascochyllum nodosum* extract on *Vitis vinifera*: Consequences on plant physiology, grape quality and secondary metabolism[J]. Plant physiology and biochemistry, 2019, 139: 21–32.
- [73] DENG Q X, XIA H, LIN L J, et al. SUNRED, a natural extract-based biostimulant, application stimulates anthocyanin production in the skins of grapes[J]. Scientific reports, 2019, 9(1): 1–8.
- [74] GUTIÉRREZ-GAMBOA G, GARDE-CERDÁN T, MARTÍNEZ-LAPUENTE L, et al. Phenolic composition of Tempranillo Blanco (*Vitis vinifera* L.) grapes and wines after biostimulation via a foliar seaweed application[J]. Journal of the science of food and agriculture, 2020, 100(2): 825–835.
- [75] 张超杰, 刘坤坤, 徐维华, 等. 氨基酸及富硒叶面肥对“巨峰”葡萄果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2014(15): 183–186.
- [76] 卢精林, 张禧仁, 许耀照. 不同叶面肥对葡萄果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(23): 27–28.
- [77] 王瑞雪. 叶面喷施对葡萄生长和结果的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [78] 陈剑. 植物精油对提高葡萄抗寒性的影响研究[J]. 现代园艺, 2020, 43(24): 5–7.
- [79] 何昊. 脱落酸对葡萄抗逆性和果实品质的影响研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [80] 刘艾英, 同彦成, 王春利, 等. 植物免疫诱抗剂在葡萄上的使用效果初报[J]. 西北园艺(综合), 2017(2): 53–55.