

胡举伟,刘 辉,马秀明,等.壳聚糖的抗菌、诱抗和促生作用及在农业中应用综述[J].江苏农业科学,2018,46(15):1-5.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.001

壳聚糖的抗菌、诱抗和促生作用及在农业中应用综述

胡举伟^{1,2,3}, 刘 辉^{1,2,3}, 马秀明¹, 宋 涛^{1,2,3}

(1.金正大生态工程集团股份有限公司,山东临沂 276700; 2.养分资源高效开发与综合利用国家重点实验室,山东临沂 276700;
3.农业部植物营养与新型肥料创制重点实验室,山东临沂 276700)

摘要:壳聚糖是几丁质脱乙酰化的衍生物,较多研究报道壳聚糖具有抗真菌、抗细菌等病原物活性,还具有促进植物生长的作用。壳聚糖可作为植物抗性激发子,诱导局部和系统的植物抗性反应,壳聚糖是一种在农业中具有广泛潜在用途的活性分子,尤其是在植物病害控制和促进作物生长方面应用潜力较大。近年来,人们使用天然化合物如壳聚糖等环境友好的方法,以控制作物病害、调控作物生长,并替代部分化学农药。本文综述了壳聚糖的抗菌、诱导植物抗病性和促生作用,并展望了壳聚糖在农业中的应用潜力和未来的研究方向。

关键词:壳聚糖;抗微生物活性;激发子;抗性诱导;促生作用

中图分类号: S188 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0001-04

壳聚糖是利用几丁质生产的天然、安全和低成本生物聚合物,几丁质是节肢动物外骨骼和真菌细胞壁的主要组分,也是仅次于木质纤维素类生物物质的第二大可再生碳源^[1]。在工业生产中,将固体几丁质浸泡在质量体积比为 400 ~ 500 mg/mL 的 NaOH 溶液中,这一过程中可脱去几丁质中 80% 的乙酰基,从而将 *N*-乙酰-*D*-葡萄糖胺转变成 β -1,4-*D*-葡萄糖胺。壳聚糖制成品的成分复杂,这是由于壳聚糖脱乙酰的程度、分子量、聚合度、黏性以及解离常数存在差异,壳聚糖这一术语并不是描述 1 种单一化合物,而是描述 1 组具有商业应用价值的共聚物。壳聚糖的不均匀性可极大影响其物理特征,并决定其在生物学领域的应用^[1]。

壳聚糖的生产成本较低,同时壳聚糖还具有其他良好的生物学特性,例如生物降解性、生物相容性和非致敏性。壳聚糖容易被特异性和非特异性的酶降解,而且对人体呈现出低毒性^[2]。壳聚糖所具有的这些特性,使其在多个领域具有很高的应用潜力,如美容、食品、生物技术、药理学和医学^[3-4]。

20 世纪 80 年代随着壳聚糖工业批量生产的实现,人们开始试验壳聚糖在农业中应用的可能。众多结果表明,壳聚糖在控制不同作物采前采后病害中具有显著效果。壳聚糖处理可使植物对大量土传和叶面病原物产生更强耐受力,也可诱导植物根结瘤^[5],因此壳聚糖被认为对于农业可持续发展具有应用价值。壳聚糖巨大的应用价值驱使世界各地的研究者探究壳聚糖及其衍生物在更多领域中的应用。

基于目前壳聚糖在农业中的研究进展和现状,本文综述了壳聚糖在植物病害防控(直接抗微生物活性和间接抗性诱导)、植物生长调控以及采后果实保存中的作用。

收稿日期:2018-12-04

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0222405-7);山东省重点研发计划(编号:2016ZDJQ0701)。

作者简介:胡举伟(1988—),男,山东临沂人,博士,工程师,主要从事植物营养生理和新型肥料研究。E-mail:hujuwei@kingenta.com。

通信作者:宋 涛,博士,工程师,主要从事新型肥料研究。E-mail:songtao@kingenta.com。

1 壳聚糖的抗微生物活性

关于壳聚糖对不同种类微生物(真菌、细菌和病毒)较高的直接抗微生物活性,人们进行了大量研究,结果表明壳聚糖是一种抗微生物物质,可以杀死或抑制微生物的生长^[6]。壳聚糖的广谱抗真菌活性已有大量相关研究报道,在离体条件下,壳聚糖可抑制众多病原真菌的生长,如灰霉菌(*Botrytis cinerea*)、链格孢菌(*Alternaria alternata*)、赤叶枯刺盘孢菌(*Colletotrichum gleosporoides*)和匍茎根霉菌(*Rhizopus stolonifer*)。壳聚糖在病原真菌的不同发育阶段(菌丝生长、产孢、孢子萌发)均可对病原真菌表现出抑制作用,同时也抑制真菌毒力因子的产生^[7]。此外,壳聚糖的抗真菌活性也在许多不同的植物-病原物系统中被证实,例如在梨中对苹果链格孢菌和瓶霉属病原菌(*P. piricola*)的抗性^[8],在葡萄和草莓中对灰霉菌的抗性^[9-10],在火龙果中对赤叶枯刺盘孢菌的抗性^[11]。在水稻中壳聚糖对匍茎根霉菌的抗性通过透射电镜观察和致病性试验得到进一步证实^[12]。

壳聚糖也可抑制黄单胞杆菌属(*Xanthomonas*)^[13]、丁香假单胞菌(*Pseudomonas syringae*)^[14]、根癌土壤杆菌(*Agrobacterium tumefaciens*)和欧文氏菌(*Erwinia carotovora*)^[15]等多种病原细菌的生长。然而,壳聚糖对真菌的抗性似乎高于细菌^[16],壳聚糖对革兰氏阳性菌的抗性常常也高于革兰氏阴性菌,这些现象可能是细菌表面不同的结构和细胞壁的组成差异造成的^[17]。

除了对真菌和细菌的抗性,壳聚糖还可抑制病毒和类病毒的复制,从而抑制其对植物的侵染^[18],例如有研究报道低聚壳聚糖可在体外破坏烟草花叶病毒粒体结构,并引起病毒粒子发生凝聚,从而降低其侵染性。也有研究表明,低聚壳聚糖可诱导烟草抗病性,抑制烟草花叶病毒增殖,降低植株体内病毒粒子浓度,并抑制烟草花叶病毒在植物体内的移动,明显减弱病毒系统感染症状^[19-20],但总体来说报道壳聚糖抗病毒活性的研究较少^[21]。

尽管目前研究人员已提出了多种关于壳聚糖抗微生物活

性的作用模型,但壳聚糖直接抗微生物作用的确切机理仍不清楚^[7,17],这些已提出的模型中壳聚糖的主要作用方式都与壳聚糖的正电性有关^[22],不带电的几丁质低聚物无抗真菌活性也支持这些作用模型^[23]。事实上,与壳聚糖不同,聚合物形式的几丁质是天然不带电的,也不表现出显著的抗微生物活性。基于静电相互作用模型,壳聚糖分子氨基质子化所带正电荷与病原物细胞表面组分所带的负电荷相互作用,破坏了细胞膜结构的完整性,引起细胞膜透性增大,导致其屏障功能的丧失、营养物质的流动以及病原物细胞内容物的泄露,从而导致病原物死亡^[24-26]。

另一种作用模型涉及到壳聚糖沉积到病原物细胞表面,引起细胞透性的改变,壳聚糖可以在病原物细胞表面形成不可渗透的聚合物层,从而阻止细胞摄取生长所必需的养分,同时影响代谢产物分泌到细胞外基质^[17]。

第 3 种壳聚糖抗微生物模型是基于壳聚糖可螯合一些细菌和真菌生长所必需的养分、金属离子和微量元素^[17,27],从而抑制毒素产生和微生物生长^[28]。壳聚糖与金属离子结合的能力很强,壳聚糖所带的氨基是与金属离子结合的主要位点,但这不是壳聚糖抗微生物活性的主因,因为壳聚糖上可以与金属离子结合的位点有限,形成复合物容易饱和,同时细菌和真菌生长对金属离子的需要量极低,基本在痕量水平,而且壳聚糖与金属离子的结合是一个动态平衡过程,壳聚糖是否可以与痕量水平的金属离子作用尚不确定^[29-31]。

2 壳聚糖的植物抗性诱导作用

所有植物,无论是抗病的还是易受病原物侵染的,都可通过诱导 1 个协调的信号转导系统来应对病原物侵染,从而导致不同基因产物的积累。植物对病原物侵染的反应可在不同层次上发挥作用:首先,植物识别病原物导致植物中局部细胞快速死亡,也称为过敏反应 (HR),导致侵染部位坏死(局部反应)。随后即使是在植物其他未受侵染部位,也会引发广谱而持久的进一步抵抗病原物侵染的系统抗性表达,这导致活性氧 (ROS) 的产生,同时也伴随着防御相关基因的激活以及与植保素、萜烯类、病程相关蛋白 (PR-蛋白) 和参与防御反应的多种酶 [苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX)] 产生相关的基因表达上调^[32-34]。

可以触发植物防御反应机制的信号分子被称为诱导子或激发子,在植物受病原物侵染部位,激发子可由受侵染植物细胞产生 (内源激发子,植物在与病原菌接触时释放),也可由病原物自身产生 (外源病原激发子)。这些激发子主要包括寡糖、脂类、多肽和蛋白质等多种物质,可在低浓度下作为信号分子诱导植物防御反应^[35]。一旦激发子被植物细胞跨膜受体识别,通过信号转导分子在植物远端组织转运,可诱导局部反应 (在受侵染部位) 和系统的免疫反应^[36]。随着植物对病原物侵染响应机制的研究增多,研究人员发现可以利用具有诱导子功能的外源物质,人为诱导植物自身的抗性,从而使植物获得广谱病害抗性,增强植物对致病病原物抗性。目前关于激发子处理植物,启动植物抗病病原物侵染的诱导抗性已有较多报道^[32]。因此,在农业生产中通过使用激发子提高植物抗性,是一种环境友好的植物病害防控方法,可作为化学农

药防治植物病害的替代方法或补充措施,从而减少化学农药对环境的负面影响。

较多研究结果表明,低分子量壳聚糖是有效的生物源激发子,能够诱导植物防御反应并激活可提高作物对病害抗性的不同信号转导途径^[17,37-38]。目前关于植物对壳聚糖处理的响应中研究最多的是木质素、胍脂质等化学和机械屏障的形成以及参与防御反应有关物质和酶的合成^[17,32]。在某些情况下,壳聚糖引起的过敏反应 (主要是受侵染部位),导致程序性细胞死亡^[39]。同时,这些过敏反应还伴随着植物防御机制的系统反应,这些系统反应主要包括在防御反应中起积极作用的次生代谢物的合成与积累,如木质素、胍脂质、植保素、病程相关蛋白;参与防御反应代谢途径的关键酶活性的调节,如苯丙氨酸解氨酶、过氧化物酶和几丁质酶^[40-43]。

壳聚糖诱导植物抗病性的作用机制和壳聚糖在植物与病原物互作中诱导的反应尚未完全探明。植物通过细胞跨膜受体识别激发子,但识别壳聚糖的特异性受体尚未确定,传递信号到转录因子 (TFs) 的蛋白激酶级联也还未被确定^[32]。目前已有研究提出了不同模型来阐述壳聚糖在激活植物防御基因中的作用,在这些模型中壳聚糖诱导植物防御基因的表达上调涉及壳聚糖与 DNA 的直接相互作用,这些模型认为壳聚糖通过改变 DNA 的结构 (染色结构重组) 诱导防御基因激活,伴随着转录因子高迁移率组蛋白 (HMG A) 减少或与 DNA 聚合酶复合物的相互作用减少^[43-45]。壳聚糖处理诱导的防御反应可能取决于植物-病原物系统差异,即使是同一作物,也会因处理时期和方式的差异而诱导不同防御反应。

3 壳聚糖对植物生长的刺激作用

目前关于壳聚糖在作物生长的应用研究已有较多报道。叶面喷施壳聚糖可提高番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 单果质量和产量^[46],增加黄秋葵 (*Hibiscus esculentus* L.) 的果实产量、株高和叶片数^[47],刺激希腊牛至 (*Origanum vulgare* L.)^[48] 生长,促进罗勒 (*Ocimum basilicum* L.) 组培苗生物量的积累^[49]。土壤添加壳聚糖可提高辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 的株高、冠幅和叶面积^[50]。用壳聚糖拌种或在小麦 (*Triticum aestivum* L.) 不同生长阶段叶面喷施壳聚糖,通过提高产量性状如穗数和穗粒数影响大规模大田试验小麦产量^[51]。此外,壳聚糖可有效增强甘蓝型油菜 (*Brassica napus* L.) 小孢子胚胎发生和植株再生^[52],还可提高组培条件下美味猕猴桃 (*Actinidia deliciosa* A. Chev) 体细胞胚胎发生^[53]。

壳聚糖也能促进花卉生长如壳聚糖处理可提高石斛兰 (*Dendrobium formosum* Roxb.) 的种子萌发率^[54];壳聚糖处理唐菖蒲 (*Gladiolus communis* L.) 球茎可促进球茎发芽并增加小球茎数量,同时延长瓶插寿命^[55]。同样,在小苍兰 (*Freesia echl. ex Klatt*) 球茎的培养中应用壳聚糖可提高株高,促进叶、芽、花和球茎的生长^[56]。壳聚糖处理现代月季 (*Rosa chinensis* Jacq.) “法国红”切花可延长了其瓶插寿命^[57]。

关于壳聚糖对水果类作物生长发育影响的研究最多,叶面喷施壳聚糖可促进咖啡 (*Coffea arabica* L.) 植株生长^[58],也可促进智利草莓 (*Fragaria chiloensis* L.) 营养成长并提高产量^[59]。葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 扦插枝条浸在壳聚糖溶液中可促进生根,增加茎节数量^[60]。在草莓植株不同发育阶段喷施

壳聚糖,可增加所结果实的保质期^[61]。壳聚糖处理也可提高番茄植株产量^[62]。

壳聚糖也可用来处理果实,通过包膜或浸蘸的方式延长蔬菜、水果的货架期并延缓其变质^[63]。壳聚糖在果实表面形成保护层减少水分损失、抑制气体交换、减少养分流失,并防止微生物在果实表面生长^[63]。最近的研究结果表明,壳聚糖可延长具有重要商业价值的热带水果如番木瓜 (*Carica papaya* L.)、芒果 (*Mangifera indica* L.) 等的贮藏期并减少其腐烂^[64]。壳聚糖处理柠檬 (*Citrus limon* L.) 后,由青霉属 (*Penicillium* spp.) 植物病原真菌引起的柠檬青霉病发病率降低^[65]。茉莉酸甲酯与壳聚糖处理智利草莓可保持其较高的果实硬度和花色素苷含量,同时显著延缓其腐烂^[61]。壳聚糖包膜处理可延长猕猴桃的货架期^[66]。壳聚糖和肉桂醛包膜处理可增强甜瓜 (*Cucumis melo* L.) 结构的完整性以及抗氧化代谢^[67]。壳聚糖包膜处理可提高采后枇杷 (*Eriobotrya japonica* Lindl.) 果实品质和营养品质^[68]。壳聚糖和水杨酸处理可通过提高黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 果实中的水杨酸水平和抗氧化酶活性,减轻冷储过程中黄瓜冷害的发生^[69]。

4 展望

壳聚糖作为来源广的生物聚合物,可以诱导植物产生大量生理响应,如胁迫抗性以及生产力提高,但这些生理响应是否发生,与壳聚糖的化学组成以及处理的时间和频率有关,总体来说壳聚糖在可持续农业实践以及在食品生产和保存中拥有较大发展前景,尤其是壳聚糖在替代杀菌剂等对环境存在污染的化学农药等方面具有较大的应用潜力,在有机农业中由于缺乏有效的方法控制植物病害,壳聚糖的应用前景较大。目前有机农业中植物病害的控制,特别是真菌和细菌病原物引起的植物病害,主要是使用波尔多液等铜制剂防治。然而,由于使用铜制剂存在对环境造成重金属污染的风险,因此寻找环境友好的替代物是必须的。壳聚糖则代表了一种创新的生态友好的措施,可用来控制植物病害并减少或取代铜制剂的使用。较多研究已经表明,壳聚糖可通过直接或间接的作用保护植物免受生物胁迫的伤害,但是壳聚糖与病原物和植物的相互作用机制还未彻底探明。未来须要进一步从转录组学和蛋白质组学角度研究植物防御基因和蛋白,从而充分了解壳聚糖介导的复杂生理响应,以期为在植物病害防治中更好地运用壳聚糖提供参考。同时,在实践方面,壳聚糖在大田条件下具体使用方法和使用浓度,特别是与其他杀菌物质的复配是未来研究的焦点问题,并须要进一步试验和验证,以最优壳聚糖在调控作物生长和植物病害防控方面的效果。

参考文献:

- [1] Kurita K. Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans[J]. Marine Biotechnology, 2006, 8(3): 203.
- [2] Park B K, Kim M M. Applications of chitin and its derivatives in biological medicine[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(12): 5152–5164.
- [3] Hamed I, Özogul F, Regenstein J M. Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2016, 48(2): 40–50.

- [4] Choi C, Nam J P, Nah J W. Application of chitosan and chitosan derivatives as biomaterials[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2016, 33(1): 1–10.
- [5] Hamel L P, Beaudoin N. Chitooligosaccharide sensing and downstream signaling: contrasted outcomes in pathogenic and beneficial plant-microbe interactions[J]. Planta, 2010, 232(4): 787–806.
- [6] Andrews J M. Determination of minimum inhibitory concentrations[J]. Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 2001, 48(s1): 5.
- [7] Badawy M E I, Rabea E I. A biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection[J]. International Journal of Carbohydrate Chemistry, 2011, 2011: 1–29.
- [8] Meng X, Yang L, Kennedy J F, et al. Effects of chitosan and oligochitosan on growth of two fungal pathogens and physiological properties in pear fruit[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(1): 70–75.
- [9] Feliziani E, Landi L, Romanazzi G. Preharvest treatments with chitosan and other alternatives to conventional fungicides to control postharvest decay of strawberry[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 132(6): 111–117.
- [10] Reglinski T, Elmer P A G, Taylor J T, et al. Inhibition of *Botrytis cinerea* growth and suppression of botrytis bunch rot in grapes using chitosan[J]. Plant Pathology, 2010, 59(5): 882–890.
- [11] Zahid N, Maqbool M, Siddiqui Y, et al. Regulation of inducible enzymes and suppression of anthracnose using submicron chitosan dispersions[J]. Scientia Horticulturae, 2015(193): 381–388.
- [12] He L, Tian W, Li B, et al. Antifungal effect and mechanism of chitosan against the rice sheath blight pathogen, *Rhizoctonia solani*[J]. Biotechnology Letters, 2012, 34(12): 2291–2298.
- [13] Li B, Wang X, Chen R, et al. Antibacterial activity of chitosan solution against *Xanthomonas* pathogenic bacteria isolated from *Euphorbia pulcherrima*[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 72(2): 287–292.
- [14] Mansilla A Y, Albertengo L, Rodríguez M S, et al. Evidence on antimicrobial properties and mode of action of a chitosan obtained from crustacean exoskeletons on *Pseudomonas syringae*, pv. tomato, DC3000[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2013, 97(15): 6957–6966.
- [15] Badawy M E, Rabea E I, Taktak N E. Antimicrobial and inhibitory enzyme activity of *N*-(benzyl) and quaternary *N*-(benzyl) chitosan derivatives on plant pathogens[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 111(20): 670–682.
- [16] Kong M, Chen X G, Xing K, et al. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 144(1): 51–63.
- [17] Xing K, Zhu X, Peng X, et al. Chitosan antimicrobial and eliciting properties for pest control in agriculture: a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(2): 569–588.
- [18] Kulikov S N, Chirkov S N, Il'ina A V, et al. Effect of the molecular weight of chitosan on its antiviral activity in plants[J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2006, 42(2): 200–203.
- [19] 商文静, 吴云锋, 商鸿生, 等. 壳寡糖对烟草花叶病毒的体外钝化作用[J]. 病毒学报, 2008, 24(1): 76–78.
- [20] 商文静, 吴云锋, 赵小明, 等. 壳寡糖诱导烟草抑制 TMV 增殖的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(5): 88–92.

- [21] Su X W, Zivanovic S, D'Souza D H. Effect of chitosan on the infectivity of murine norovirus, feline calicivirus, and bacteriophage MS2[J]. Journal of Food Protect, 2009, 72(12): 2623–2628.
- [22] Sharp R G. A review of the applications of chitin and its derivatives in agriculture to modify plant – microbial interactions and improve crop yields[J]. Agronomy, 2013, 3(4): 757–793.
- [23] Parra Y, Ramírez M A. Efecto de diferentes derivados de quitina sobre el crecimiento *in vitro* del hongo *Rhizoctonia solani* Kuhn[J]. Cultivos Tropicales, 2002, 23(2): 73–75.
- [24] Rabea E I, Badawy M E, Stevens C V, et al. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action [J]. Biomacromolecules, 2003, 4(6): 1457–1465.
- [25] Chung Y C, Su Y P, Chen C C, et al. Relationship between antibacterial activity of chitosan and surface characteristics of cell wall[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2004, 25(7): 932–936.
- [26] Liu H, Du Y, Wang X, et al. Chitosan kills bacteria through cell membrane damage[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 95(2): 147–155.
- [27] Hadrami A E, Adam L R, Hadrami I E, et al. Chitosan in plant protection[J]. Marine Drugs, 2010, 8(4): 968–987.
- [28] Mvb R, Arul J, Aitbarka E, et al. Effect of chitosan on growth and toxin production by *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici* [J]. Biocontrol Science and Technology, 1998, 8(1): 33–43.
- [29] Sun S, Wang A. Adsorption properties and mechanism of cross – linked carboxymethyl – chitosan resin with Zn(II) as template ion [J]. Reactive and Functional Polymers, 2006, 66(8): 819–826.
- [30] Hiroki A, Tran H T, Nagasawa N, et al. Metal adsorption of carboxymethyl cellulose/carboxymethyl chitosan blend hydrogels prepared by Gamma irradiation[J]. Radiation Physics & Chemistry, 2009, 78(12): 1076–1080.
- [31] Goy R C, Britto D D, Assis O B G. A review of the antimicrobial activity of chitosan[J]. Polímeros, 2009, 19(3): 241–247.
- [32] Iriti M, Faoro F. Chitosan as a MAMP, searching for a PRR[J]. Plant Signaling and Behavior, 2009, 4(1): 66–68.
- [33] Heil M, Bostock R M. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens in the context of induced plant defences[J]. Annals of Botany, 2002, 89(5): 503–512.
- [34] Pieterse C M J, Leon – Reyes A, van Wees S C M. Networking by small – molecule hormones in plant immunity[J]. Nature Chemical Biology, 2009, 5(5): 308–316.
- [35] Montesano M, Palva E T. Pathogen derived elicitors: searching for receptors in plants[J]. Molecular Plant Pathology, 2003, 4(1): 73–79.
- [36] Kumar D, Klessig D F. The search for the salicylic acid receptor led to discovery of the SAR signal receptor [J]. Plant Signaling & Behavior, 2008, 3(9): 691–692.
- [37] Falcón – Rodríguez A B, Węgría G, Cabrera J C. Exploiting plant innate immunity to protect crops against biotic stress: chitosaccharides as natural and suitable candidates for this purpose [M]. New Perspectives in Plant Protection, 2012: 167–170.
- [38] Hadwiger L A. Multiple effects of chitosan on plant systems: solid science or hype[J]. Plant Science, 2013(208): 42–49.
- [39] Katiyar D, Hemantaranjan A, Bharti S, et al. A future perspective in crop protection: chitosan and its oligosaccharides[J]. Advances in Plants & Agriculture Research, 2014, 1(1): 6.
- [40] Vasil'ev L A, Dzyubinskaya E V, Zinovkin R A, et al. Chitosan – induced programmed cell death in plants[J]. Biochemistry, 2009, 74(9): 1035–1043.
- [41] Orzali L, Forni C, Riccioni L. Effect of chitosan seed treatment as elicitor of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat [J]. Seed Science & Technology, 2014, 42(2): 132–149.
- [42] Beatrice C, Linthorst J M H, Cinzia F, et al. Enhancement of *PR1* and *PR5* gene expressions by chitosan treatment in kiwifruit plants inoculated with *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 147: 1–17.
- [43] Chatterjee S, Chatterjee B P, Guha A K. A study on antifungal activity of water – soluble chitosan against *Macrophomina phaseolina* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 67(6): 452–457.
- [44] Li S J, Zhu T H. Biochemical response and induced resistance against anthracnose (*Colletotrichum camelliae*) of camellia (*Camellia pitardii*) by chitosan oligosaccharide application [J]. Forest Pathology, 2013, 43(1): 67–76.
- [45] Hadwiger L A, Polashock J. Fungal mitochondrial DNases: effectors with the potential to activate plant defenses in nonhost resistance [J]. Phytopathology, 2013, 103(1): 81–90.
- [46] Weake V, Workman J. Histone ubiquitination: triggering gene activity[J]. Molecular Cell, 2008, 29(6): 653–663.
- [47] Sathiyabama M, Akila G, Charles R E. Chitosan – induced defence responses in tomato plants against early blight disease caused by (Ellis and Martin) Sorauer [J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2014, 47(16): 1963–1973.
- [48] Mondal M M A, Malek M A, Puteh A B, et al. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra [J]. Australian Journal of Crop Science, 2012, 6(5): 918–921.
- [49] Mathew R, Sankar P D. Effect of methyl jasmonate and chitosan on growth characteristics of *Ocimum basilicum* L., *Ocimum sanctum* L. and *Ocimum gratissimum* L. cell suspension cultures [J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(21): 4759–4766.
- [50] Chookhongkha N, Miyagawa S, Jirakiattikul Y, et al. Chili growth and seed productivity as affected by chitosan [C]//International Conference on Agriculture Technology and Food Sciences, 2012: 146–149.
- [51] Wang M, Chen Y, Zhang R, et al. Effects of chitosan oligosaccharides on the yield components and production quality of different wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Northwest China [J]. Field Crops Research, 2015, 172(2): 11–20.
- [52] Ahmadi B, Shariatpanahi M E. Proline and chitosan enhanced efficiency of microspore embryogenesis induction and plantlet regeneration in *Brassica napus* L [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2015, 123(1): 1–9.
- [53] Corsi B, Riccioni L, Forni C. *In vitro* cultures of *Actinidia deliciosa* (A. Chev) C. F. Liang & A. R. Ferguson: a tool to study the SAR induction of chitosan treatment [J]. Organic Agriculture, 2015, 5(3): 189–198.
- [54] Kananont N, Pichyangkura R, Chanprame S, et al. Chitosan specificity for the *in vitro* seed germination of two *Dendrobium* orchids (Asparagales: Orchidaceae) [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124(2): 239–247.
- [55] Ramos – García M, Ortega – Centeno S, Hernández – Lauzardo A N, et al. Response of gladiolus (*Gladiolus* spp.) plants after exposure corms to chitosan and hot water treatments [J]. Scientia Horticulturae, 2009, 121(4): 480–484.
- [56] Salachna P, Zawadzka A. Effect of chitosan on plant growth,

李 婷, 吴克宁. 基于遥感技术的耕地质量评价研究进展与展望[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 5-9.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.002

基于遥感技术的耕地质量评价研究进展与展望

李 婷, 吴克宁

[中国地质大学(北京)土地科学技术学院/国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100083]

摘要:快速、准确开展耕地质量评价是当前农地保护的重要课题, 随着高空间、高光谱和高时间分辨率遥感数据使高效了解我国耕地质量状况, 实现耕地质量的长期监测成为可能。为推进耕地质量信息快速获取及实时动态评价, 从耕地生产力评价、土壤环境评价和土壤健康质量评价 3 个方面界定耕地质量的复杂内涵, 系统分析、总结了遥感技术在耕地质量评价中的识别指标集, 最后从耕地质量评价的聚焦转移、耕地质量信息提取技术的多元发展、耕地质量评价成果的应用 3 个方面对遥感技术在耕地质量评价应用的发展方向进行展望。

关键词:耕地质量; 评价; 遥感; 识别; 研究进展; 展望

中图分类号:S127; F323.211 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)15-0005-05

耕地质量是一个综合性指标, 内涵丰富。陈印军等认为耕地质量是土壤质量、环境质量、管理质量和经济质量的总和^[1]。沈仁芳等认为耕地质量是多层次的概念, 较为重视耕地的空间地理质量属性^[2]。吴克宁等认为耕地质量不仅仅

体现在生产能力方面, 还应重视有益、有害元素及污染等对质量的影响^[3]。此外, 随着土地整治、土壤改良等农田基本建设力度的加大, 耕地质量在结构、布局上都发生了巨大变化。如何快速开展耕地质量评价是当前耕地保护的重要课题。遥感技术以地物信息覆盖面积大、周期性强、实时性和现势性强、准确可靠著称。传统耕地质量调查评价技术耗时费力, 迫切需要引入遥感技术对耕地质量快速评价, 适应新形势下耕地质量成果实时更新、强化监管需要。探索基于遥感技术的耕地质量信息提取可行性, 对构建基于遥感的耕地质量指标体系, 快速、准确地表达耕地状态具有重要意义。

收稿日期: 2017-03-09

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2015BAD06B01)。

作者简介: 李 婷(1992—), 女, 四川绵阳人, 硕士, 主要从事土地评价研究。E-mail: liting_1005@163.com。

通信作者: 吴克宁, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地评价与利用规划研究。E-mail: wkn0113@163.com。

flowering and corms yield of potted freesia[J]. Journal of Ecological Engineering, 2014, 15(3): 97-102.

[57] Jing H J, Li H Q. Chitoooligosaccharide prolongs vase life of cut roses by decreasing reactive oxygen species [J]. Korean journal of horticultural science and technology, 2015, 33(3): 383-389.

[58] Sang N V, Minh H D, Anh D N. Study on chitosan nanoparticles on biophysical characteristics and growth of Robusta coffee in green house[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2013, 2(4): 289-294.

[59] El-Miniawy S M, Ragab M E, Youssef S M, et al. Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan[J]. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2013, 9(6): 366-372.

[60] Górnik K, Grzesik M, Romanowska - Duda B. The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress[J]. Journal of Fruit & Ornamental Plant Research, 2008(16): 333-343.

[61] Saavedra G M, Figueroa N E, Poblete L A, et al. Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 448-453.

[62] Sathiyabama M, Charles R E. Fungal cell wall polymer based nanoparticles in protection of tomato plants from wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 133(7): 400-407.

[63] Kerch G. Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit

nutritional quality: a review [J]. Trends in Food Science and Technology, 2015, 46(2): 159-166.

[64] Hewajulige I G N, Wilson Wijeratnam R S, Perera M G D S, et al. Extending storage life of commercially important tropical fruits using bio-waxes[J]. Acta Horticulturae, 2015, 1091: 283-289.

[65] Tayel A A, Moussa S H, Salem M F, et al. Control of citrus molds using bioactive coatings incorporated with fungal chitosan/plant extracts composite [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(4): 1306-1312.

[66] Kaya M, Česonienė L, Daubaras R, et al. Chitosan coating of red kiwifruit (*Actinidia melanandra*) for extending of the shelf life[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 85: 355-360.

[67] Carvalho R L, Cabral M F, Germano T A, et al. Chitosan coating with trans - cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism of fresh - cut melon[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 113: 29-39.

[68] Petriccione M, Pasquariello M S, Mastrobuoni F, et al. Influence of a chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of loquat fruit during postharvest life[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 197(10): 287-296.

[69] Zhang Y, Zhang M, Yang H. Postharvest chitosan - g - salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage [J]. Food Chemistry, 2015, 174(10): 558-563.