

葱属植物化感作用研究进展

杨 阳¹, 何 师 国²

(1. 武汉生物工程学院 生命科学与技术学院, 湖北 武汉 430415; 2. 武汉生物工程学院 继续教育学院, 湖北 武汉 430415)

摘 要:近年来关于葱属植物化感作用的研究日益增多,现主要从葱属植物化感潜势和化感物质种类、葱属植物化感作用在农业生产中的应用、葱属植物化感物质对土壤生态环境影响、葱属植物化感作用分子机理及未来发展趋势等方面进行了综述,以期合理利用葱属植物化感作用/促进农业生态系统良性循环发展提供参考。

关键词:葱属;化感作用;化感物质;分子机理

中图分类号:S 633 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)03-0189-06

葱属(*Allium* L.)植物属百合科(Liliaceae)多年生草本植物,是单子叶植物纲百合科中最大的属之一。植物化感作用是指一种活体植物(供体)生成并通过挥发、淋溶、分泌和分解等方式向环境释放某些化学物质而影响周围其它植物(受体)的生长和发育的化学生态学现象^[1]。化感作用对自然植物群落的形成、演替和农作物对病虫害的抗性以及连、间、套作方式有重要的影响^[2]。由于许多葱属植物可以有效杀灭某些有害病菌,减少相关病害的发生^[3],因此常被用于与其它作物轮作、间作和套作^[4]。近年来,利用化感作用原理合理安排间、轮、套作解决连作障碍问题已成为研究热点之一^[5-6]。现从葱属植物化感潜势和化感物质种类、葱属植物化感作用在农业生产中的应用、葱属植物化感物质对土壤生态环境影响、葱属植物化感作用分子机理及未来发展趋势等方面进行了综述,以期合理利用葱属植物化感作用,促进农业生态系统良性循环发展提供参考。

1 葱属植物化感潜势和化感物质种类

葱属植物许多种存在化感作用,如大蒜、小根蒜、胡葱、大葱、洋葱、分蘖洋葱、细香葱和韭菜等(表1),而大蒜、分蘖洋葱化感作用研究较为深入。葱属植物植株浸提液、根系分泌物或挥发物等多种受体植物种子萌发和幼苗生长表现出“低浓度促进、高浓度抑制”、“促进”或“抑制”效应,对多种枯萎病菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerinum*, *F. oxysporum* f. sp. *niveum*, *F. oxysporum* f. sp. *Gladioli*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense*, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*),青枯病菌(*Ralstonia*

solanacearum, *Pseudomonas solanacearum*)和灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)的孢子萌发及菌丝生长起抑制作用。

植物所释放的次生代谢物是化感作用的媒体,称为化感物质。RICE^[7]将化感物质分为包括水溶性有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮;简单不饱和内酯;长链脂肪酸和多炔;醌类;苯甲酸及其衍生物;肉桂酸及其衍生物;香豆素类;内黄酮类;单宁;内萜;氨基酸和多肽;生物碱和氰醇;硫化物和芥子油苷;嘌呤和核苷等在内的14类物质。葱属植物被鉴定出的可能化感物质多为有机酯类、有机酸类、酚类、有机硫化物、烷烃、烯烃、醛酮类、醇醚类和含苯化合物等。

2 葱属植物化感作用在农业生产中的应用

通过确立葱属植物与其它作物之间存在的化感作用关系,合理规划田间作物栽培模式,可解决设施栽培中连作障碍难题^[30]。目前,国内外研究者主要从控制病虫害、抑草、提高光合作用、增产等角度设计葱属植物与其它作物轮、间、套作种植模式。番茄-韭菜套作显著延缓及抑制番茄细菌枯萎病的发生^[28]。香蕉与韭菜轮作或套作可控制香蕉巴拿马萎蔫病,提高耕地生物多样性^[6]。小扁豆(*Lens esculenta* L.)分别和孜然(*Cuminum cyminum* L.)、茴芹(*Pimpinella anisum* L.)、洋葱、大蒜套作可显著降低小扁豆猝倒病和根腐病^[31]。化感潜力强分蘖洋葱与黄瓜套作可降低黄瓜枯萎病发病率,并提高黄瓜单株产量^[25,32],使黄瓜667 m²产量增加51%^[33]。番茄-分蘖洋葱套作,可使番茄抗病增产^[34]。卷心菜(*Brassica oleracea*)-洋葱、卷心菜-大蒜套作显著降低虫害流行、移栽后植物死亡率、叶片损害,并提高卷心菜产量,行间套作优于行内套作^[35]。油菜(*Brassica napus*)-大蒜套作可降低蚜虫(*Brevicoryne brassicae*)数量、叶片损害,提高叶重,建议推广给蔬菜种植户^[36]。芹菜(*Apium graveolens* L.)-韭菜套作可抑制杂草生长,降低杂草相对土壤覆盖41%,使欧洲千里光(*Senecio vulgaris* L.)密度和生物量分别降低58%、98%,总产量提高10%^[37]。将

第一作者简介:杨阳(1982-),女,湖北松滋人,博士,副教授,现主要从事蔬菜栽培生理生态及园艺植物与病原菌互作机制等研究工作。E-mail:513214146@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31401920);武汉市属高校产学研结合资助项目(CXY201435)。

收稿日期:2015-10-08

表 1

葱属植物中存在化感作用的种及其化感潜势

Table 1

Some species of *Allium* with demonstrated allelopathic potential

种 Species	释放方式 Release pathway	可能的化感物质 Putative allelochemicals	化感潜势 Allelopathic potential
大蒜 (<i>Allium sativum</i> L.)	根系分泌 ^[8-9] ;鳞茎粗提液 ^[10] ;叶片浸提液 ^[11] ;秸秆腐解物 ^[12-13] ;挥发物 ^[14]	咖啡碱、N-叔丁氧羰基-L-缬氨酸、二氟乙酸 ^[12-13] ;二烯丙基二硫化物、1,3-二噻烷、邻苯二甲酸二丁酯、烷烃、烯烃、酯类化合物和含苯化合物 ^[14] ;2-甲氧基-1,6-己二酸甲酯、邻苯二甲酸二丁酯、3-甲氧基-4-羟基-苯甲酸、对羟基苯甲酸、对甲氧基苯酚 ^[15] ;2,2'-亚甲基双(4-甲基-6-叔丁基基)苯酚、邻苯二甲酸二辛酯、5-辛基巴比妥酸、花生酸、阿魏酸、9-十六稀酸、肉豆蔻酸、二烯丙基二硫化物 ^[16]	对番茄和辣椒(<i>Capsicum annuum</i> L.)的生长整体表现为促进作用 ^[8] ;对莴苣(<i>Lactuca sativa</i>)种子萌发和幼苗生长“低促高抑”,抑制黄瓜枯萎病菌(<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Cucumerinum</i>)和西瓜枯萎病菌(<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>)的孢子萌发及菌丝生长 ^[9] ;抑制番茄灰霉病菌(<i>Botrytis cinerea</i>) ^[10] ;抑制 <i>Ralstonia solanacearum</i> , 降低番茄枯萎病 ^[11] ;对黄瓜(<i>Cucumis sativus</i> L.)种子萌发及幼苗生长“低促高抑”双重浓度效应,对番茄(<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)和萝卜(<i>Raphanus sativus</i> L.)则表现出抑制作用 ^[14]
小根蒜(<i>Allium macrostemon</i> Bunge)	浸提液 ^[17]	未检测	抑制反枝苋(<i>Amaranthus retroflexus</i>)、马唐(<i>Digitaria sanguinalis</i>)和稗草(<i>Echinochloa crusgalli</i>)种子萌发及幼苗生长 ^[17]
胡葱(<i>Allium ascalonicum</i> L.)	浸提液 ^[18]	未检测	抑制莴苣和萝卜种子萌发,对莴苣、小白菜(<i>Brassica chinensis</i> L.)、萝卜和黄瓜幼苗生长有促进作用 ^[18]
大葱 (<i>Allium fistulosum</i> L.)	根系浸提液 ^[19] ;根系分泌物 ^[20] ;挥发物 ^[21]	杂环化合物、酯类、酰胺类、酸类、烃类、醛酮类、酚类、醇醚类以及萜类等 ^[20] ;1-甲基丙基二硫化物、二丙基三硫化物、2,2-二甲基-1,2-噻烷、甲基丙基二硫化物、2-甲基-2-丙烯酸-2-经基丙酯等 ^[21] ;烯丙硫醇、环戊硫醇 ^[22]	抑制樱桃萝卜(<i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>radculus</i> pers)种子萌发,促进幼苗苗高 ^[19] ;对黄瓜种子萌发和芽苗生长均表现“低促高抑”;抑制枯萎病菌菌丝生长和孢子萌发 ^[20] ;抑制铜绿微囊藻(<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>M. aeruginosa</i>)生长 ^[22]
洋葱 (<i>Allium cepa</i> L.)	浸提液 ^[23]	酮类、烷烃类和胺类、二甘醇、联苯、二丙基二硫醚 ^[24]	抑制 <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>gladioli</i> ,降低剑兰(<i>Gladiolus grandiflorus</i> L.)球茎腐烂病的发病率和病情指数 ^[23]
分蘖洋葱(<i>Allium cepa</i> L. var. <i>multiplacans</i> Bailey syn. var. <i>Agrogatum</i> Don)	根系分泌 ^[25-26]	甲酸、丙酸、丁酸、戊酸、羧酸、苯甲酸、苯乙酸、苯二甲酸及二硫化物 ^[27]	促进黄瓜种子萌发和幼苗生长,抑制黄瓜枯萎病菌孢子萌发和菌丝生长 ^[25] ;促进番茄幼苗生长,抑制番茄枯萎病菌(<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>)孢子萌发,菌丝生长,生物量及孢子繁殖 ^[26]
细香葱 (<i>Allium tuberosum</i>)	挥发物 ^[21] ;根系分泌 ^[28]	二丙基二硫化物、二丙基三硫化物、1,2-二(硫代丙基)-丙烷、1-丙硫醇、2-甲基-2-丙烯酸-2-经基丙酯等 ^[21]	抑制番茄青枯病菌(<i>Pseudomonas solanacearum</i>) ^[28]
韭菜 (<i>Allium tuberosum</i> Rottler)	挥发物 ^[6]	2-甲基-2-戊醛和4种有机硫化物(二甲基三硫醚、二甲基二硫醚、二丙基二硫醚、二丙基三硫醚) ^[6]	抑制香蕉(<i>Musa</i> spp.)枯萎病菌(<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Cubense</i>) ^[6]
鸦葱(<i>Allium vineale</i> L.)	浸提液 ^[29]	未检测	抑制小麦(<i>Triticum aestivum</i> L.)蚜虫 ^[29]

洋葱或大蒜残茬烘干磨碎后拌入土壤,随着腐败分解,将土壤温度升高至 39℃ 时,可降低稗草(*Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv.)、马齿苋(*Portulaca oleracea* L.)、水蒜芥(*Sisymbrium irio* L.)等杂草种子萌发^[38]。AHMAD 等^[39]研究发现,与单作相比,套作大蒜可以提高辣椒叶绿素含量,光合速率及过氧化氢酶(Catalase, CAT)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)、多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)等抗氧化酶活性。在印度雨季,采用辣椒-洋葱、辣椒-大蒜、辣椒-芫荽(*Coriandrum sativum* L.)套作栽培模式,在推荐施肥量下辣椒-大蒜套作纯收益最高^[40]。

3 葱属植物化感物质对土壤生态环境影响

作物的生长状况与其生长的土壤环境密不可分,土壤养分、土壤酶活性及土壤微生物类群、数量、分布是综合评价土壤生态环境的重要指标^[41-42],研究者从上述 3 个方面研究了葱属植物化感物质对土壤生态环境的影响。

大葱根系分泌物可显著提高黄瓜幼苗根际土壤的 pH 值,降低 EC 值,增加速效氮、有效磷和速效钾含量,增强土壤磷酸酶、脲酶和过氧化氢酶活性,增加土壤细菌、放线菌和真菌数目,降低真菌在微生物总量中的比例^[43]。不同化感潜力的分蘖洋葱根系分泌物总体提高了黄瓜幼苗根际土壤碱解氮、有机质、速效磷和速效钾含量,有利于土壤过氧化氢酶、过氧化物酶、转化酶及脲酶活性的提

高^[44],增加了土壤细菌和放线菌数量,降低了真菌和尖镰孢菌数量,化感潜力强的品种(L-06)效果更显著^[45]。在莴苣整个生长期,蒜土比例(1:100、3:100 和 5:100)的大蒜秸秆腐解物显著促进土壤脲酶和蔗糖酶活性^[13]。

与化感潜力强的分蘖洋葱套作,黄瓜根际土壤电导率降低,pH 值提高;根际土壤过氧化氢酶和转化酶活性提高,过氧化物酶活性降低;根际土壤细菌丰富度增加^[32]。大棚黄瓜套作大蒜显著增加了土壤中的细菌数量^[46]。大棚番茄套蒜是丰富土壤微生物多样性和酶活性的有效措施,连续 3 年定位套蒜可以改善大棚番茄连作带来的土壤微生物数量少,土壤酶活性低的问题^[47]。大棚番茄冬闲季节轮作蒜苗显著增加基质中微生物总量、细菌数量和细菌/真菌比例,降低真菌数量;提高基质中蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性^[48]。大蒜可促进根际土壤细菌、放线菌和真菌的生长,间接提高根际土壤脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性,从而提高大蒜根际土壤中氮、磷等营养元素的周转与循环,为下茬作物提供良好的微生态环境^[49]。XIAN 等^[50]研究表明随着套作大蒜鳞茎数量增加,黄瓜土壤有机质、速效 N、P、K 显著增加,中等水平 300、450、600 g 大蒜鳞茎与黄瓜套作,黄瓜生物量和微量元素(N、P、K、Ca 及 Mn 等)积累最多。

总之,葱属植物向环境释放的化感物质,提高受体作物根际土壤养分,增加土壤酶活性和土壤微生物群落多样

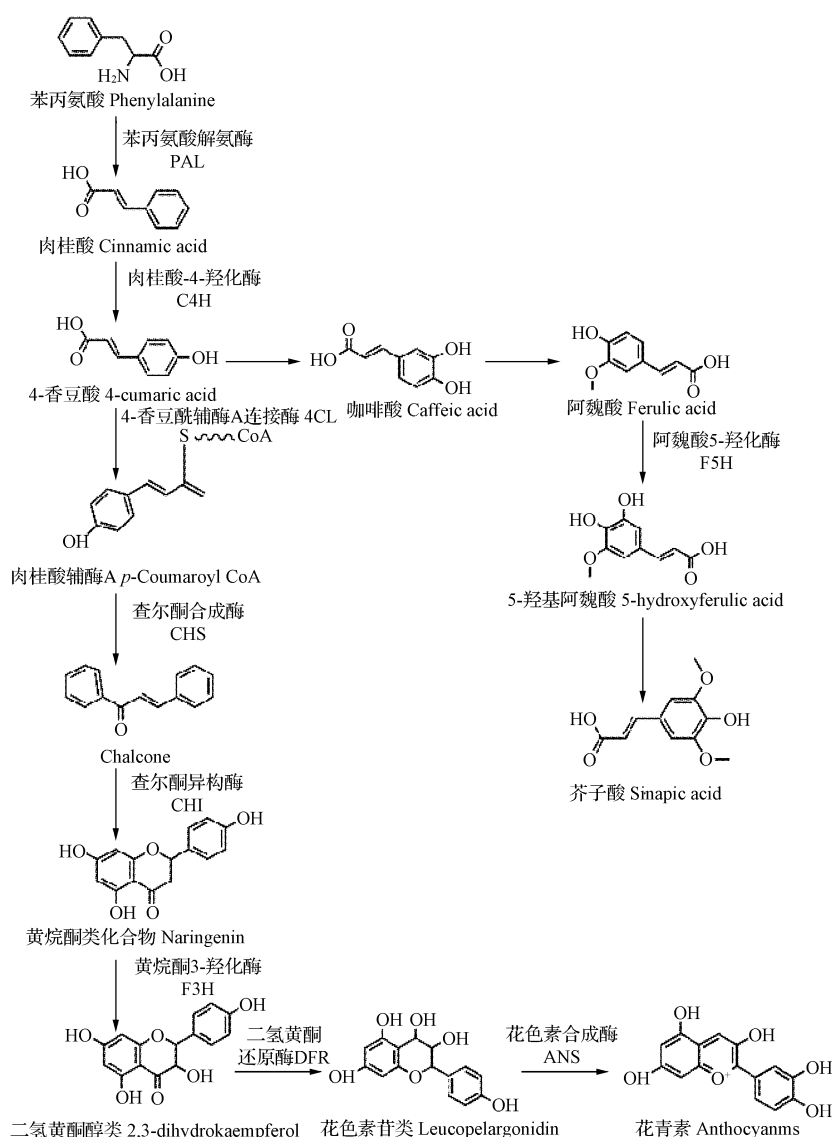
性,创造良好的土壤营养环境,从而降低病害,增加产量。

4 葱属植物化感作用分子机理研究

随着分子生物学技术的发展,QTL 定位^[51],RAPD、ISSR、RFLP、SSR 分子标记技术^[52-54],FQ-PCR^[55],SSH^[56],双向电泳技术^[57-59],RNA 干扰^[60],高通量测序^[34]等技术已成功应用于化感作用的研究。而由于化感作用涉及的影响因素较为复杂,化感相关基因研究难度较大,目前仅在水稻、紫茎泽兰、茶树、大豆等物种中取得了突破^[60-63]。在酚酸类化感物质合成代谢途径中,编码苯丙氨酸解氨酶(PAL)、肉桂酸 4-羟化酶(Cinnamate 4-hydroxylase,C4H)、查尔酮合成酶(Chalcone synthase,CHS)及黄酮烷 3-羟化酶(Flavanone 3-hydroxylase,F3H)

等基因是当前化感领域研究较多的基因。

目前,国内外采用分子手段研究葱属植物化感作用的报道较少。YANG 等^[59]以化感潜力弱 L04、化感潜力强 L06 分蘖洋葱为材料,利用双向电泳及 MALDI-TOF-TOF 质谱技术研究分蘖洋葱单作及与黄瓜套作栽培模式下蛋白表达谱,共鉴定出 47 个差异蛋白点,其中 13 个差异蛋白点参与苯丙烷代谢途径合成酚酸类化感物质,另有 10 个差异蛋白点参与有机硫化物代谢途径合成有机硫化物类化感物质,分蘖洋葱主效化感物质合成代谢途径很可能为苯丙烷代谢途径(图 1)和有机硫化物代谢途径(图 2)。刘淑芹^[34]采用转录组测序和双向电泳技术,筛选出 7 个与分蘖洋葱化感作用相关的基因,分别为苯

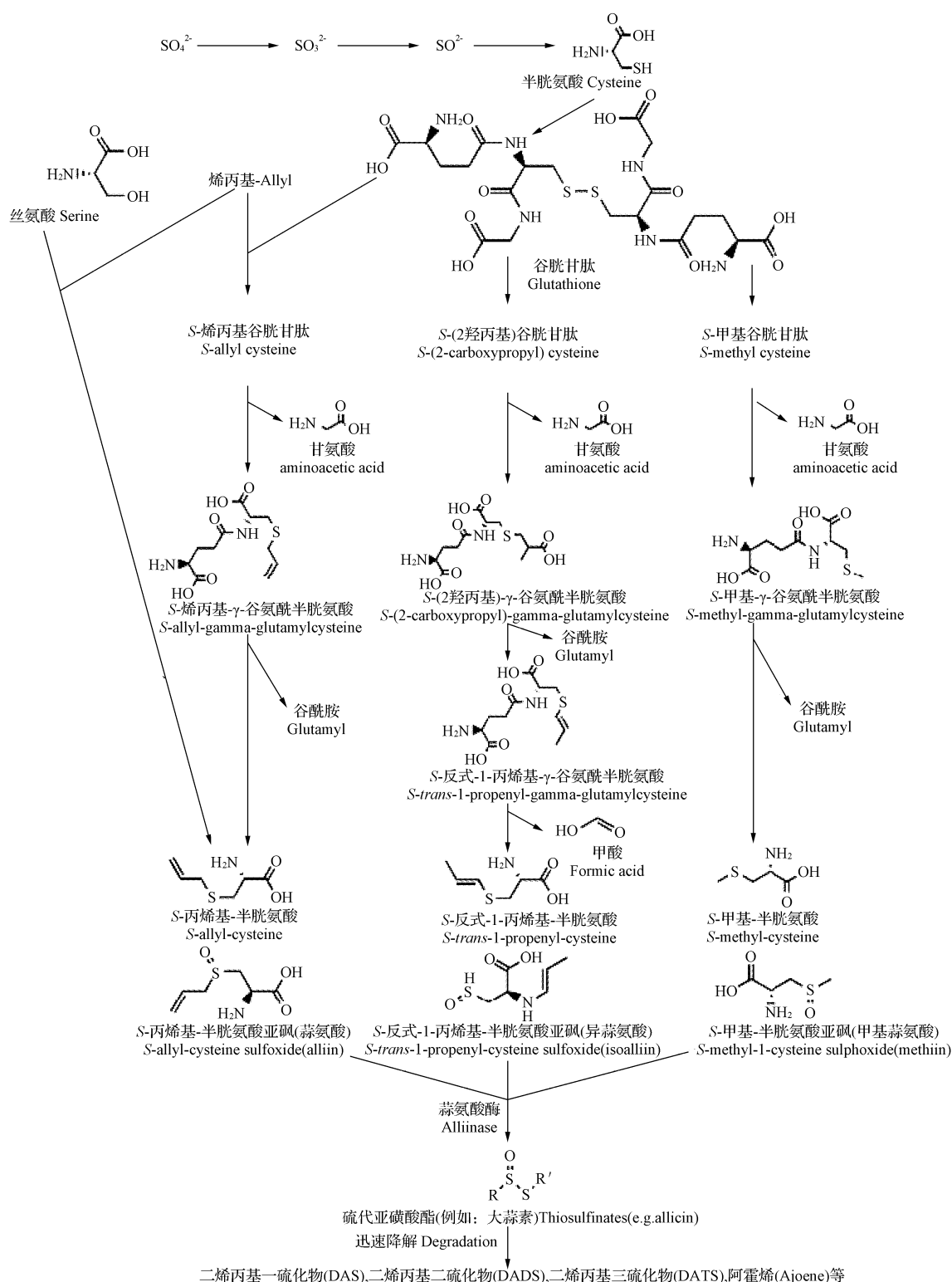


注:PAL,苯丙氨酸解氨酶;C4H,肉桂酸 4-羟化酶;4CL,4-香豆酰辅酶A 连接酶;CHS,查尔酮合成酶;CHI,查尔酮异构酶;F3H,黄酮 3-羟化酶;DFR,二氢黄酮醇 4-还原酶;ANS,花色苷合成酶。

Note:PAL,Phenylalanine ammonia-lyase;C4H,Cinnamate 4-hydroxylase;4CL,4-coumarate CoA ligase;CHS,Chalcone synthase;CHI,Chalcone reductase;CHI,Chalcone isomerase;F3H,Flavanone 3-hydroxylase;DFR,Dihydroflavonol 4-reductase;ANS,Anthocyanidin synthase.

图 1 苯丙烷代谢途径^[64]

Fig. 1 Phenylpropanoid pathway^[64]

图2 有机硫化物生物合成代谢途径^[66]Fig. 2 Organosulphur compounds biosynthetic pathway^[66]

丙氨酸解氨酶、蒜氨酸、f-box 族蛋白、NAD-差向异构酶、GTP 结合蛋白、细胞色素 b6-f 复合物铁硫亚单位、细胞色素 P450。刘淑芹等^[58]运用双向电泳技术和 MALDI-TOF-MS 质谱鉴定技术研究番单作、番茄-分

蘖洋葱间作栽培模式下,番茄叶片蛋白质表达谱的变化,共鉴定出 39 个差异表达蛋白,分为 9 类,差异较大的是与光合(11 个)、代谢(10 个)、植物抗性(8 个)相关的蛋白,其中热激蛋白、硫氧还蛋白、多酚氧化酶、景天

庚酮糖-1,7-二磷酸酶、S-腺苷硫氨酸脱氢酶、ATP 结合蛋白在番茄套作后表达量均有不同程度上调,套作后番茄植株抗性增强,为分蘖洋葱套作番茄的控病增产提供有力的理论依据。刘丹等^[66]克隆分蘖洋葱查尔酮异构酶(Chalcone isomerase, CHI)基因并构建了超表达和干扰载体,为 CHI 基因功能研究奠定基础。

5 展望

葱属植物化感作用的研究目前还主要集中在化感潜势、化感物质的分离鉴定、抑菌、抑草、轮间套作、土壤生态等方面。充分利用葱属植物在化感作用机理和应用研究上的潜力,对促进农业生态系统的良性循环有着重要意义。今后可加强以下几个方面的研究:葱属植物具有化感潜势物种的调查与应用研究;葱属植物主效化感物质的鉴定及合成代谢途径研究;葱属植物化感相关基因克隆及功能研究;对受体作物基因表达调控研究^[67];将葱属植物化感物质开发成为实用除草剂和植物生长调节剂^[68];培育有益化感效应的葱属品种,抑制杂草和病虫害^[69]。

参考文献

- [1] ZHAO H L, WANG Q, RUAN X, et al. Phenolics and plant allelopathy [J]. *Molecules*, 2010, 15: 8933-8952.
- [2] JOSE S, GILLESPIE A R. Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping. I. Spatio-temporal variation in soil juglone in a black walnut-corn (*Zea mays* L.) alley cropping system in the midwestern USA [J]. *Plant and Soil*, 1998, 203: 191-197.
- [3] TSAO S, YIN M. *In vitro* antimicrobial sulphides occurring naturally in garlic and Chinese leek oil [J]. *Journal of Medical Microbiology*, 2001, 50(7): 646-649.
- [4] 赵尊练, 杨广君, 巩振辉, 等. 克服蔬菜作物连作障碍问题之研究进展[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(12): 278-282.
- [5] 吴凤芝, 王澍, 杨阳. 轮套作对黄瓜根际土壤细菌种群的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2717-2722.
- [6] ZHANG H, MALLIK A, ZENG R S. Control of Panama disease of banana by rotating and intercropping with Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler): Role of plant volatiles [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2013, 39: 243-252.
- [7] RICE E L. Allelopathy (II ed) [M]. New York: Academic Press, 1984.
- [8] 周艳丽, 程智慧, 孟焕文, 等. 大蒜根系水浸液及根系分泌物的化感作用评价[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(10): 87-92.
- [9] 周艳丽, 王艳, 李金英, 等. 大蒜根系分泌物的化感作用[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(5): 1368-1372.
- [10] 尉婷婷, 程智慧, 冯武煊. 大蒜鳞茎粗提物对番茄灰霉病的抑菌和防治效果[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(6): 176-180.
- [11] ABO-ELYOUSR K A M, ASRAN M R. Antibacterial activity of certain plant extracts against bacterial wilt of tomato [J]. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2009, 42(6): 573-578.
- [12] HAN X, CHENG Z H, MENG H W. Soil properties, nutrient dynamics, and soil enzyme activities associated with garlic stalk decomposition under various conditions [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7(11): 154-159.
- [13] HAN X, CHENG Z H, MENG H W, et al. Allelopathic Effect of Decomposed Garlic (*Allium sativum* L.) Stalk on Lettuce (*L. sativa* var. *crispa* L.) [J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2013, 45(1): 225-233.
- [14] 金瑞, 程智慧, 佟飞, 等. 离体蒜苗挥发物的化感作用及其成分分析[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(11): 2286-2291.
- [15] 佟飞. 大蒜植株水浸液的化感作用和抑菌作用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [16] 刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 等. 大蒜根系分泌物对同属作物的抑制作用[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(12): 2625-2632.
- [17] 张悦丽, 秦立琴, 高兴祥, 等. 小根蒜对花生田 3 种主要杂草马唐、稗草和反枝苋的化感作用[J]. *草业学报*, 2010, 19(5): 57-62.
- [18] 韩小燕, 罗庆熙, 刘海利, 等. 胡葱浸提液对茼蒿、小白菜、萝卜和黄瓜化感作用初步研究[J]. *中国蔬菜*, 2009(12): 41-44.
- [19] 韩海霞, 姚岭柏, 任琴. 大葱根系浸提液对樱桃萝卜化感作用的影响研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(21): 6915-6917.
- [20] 徐宁, 王超, 魏珉, 等. 大葱根系分泌物对黄瓜种子萌芽和枯萎病原菌的化感作用及其 GC-MS 分析[J]. *园艺学报*, 2012, 39(8): 1511-1520.
- [21] 何洪巨, 王希丽, 张建丽. GC-MS 法测定大葱、细香葱、小葱中的挥发性物质[J]. *分析测试学报*, 2004(23): 98-100, 103.
- [22] 周杨, 李源, 李诚, 等. 大葱抑藻效应及其化感物质分离鉴定[J]. *卫生研究*, 2013, 42(6): 987-990, 994.
- [23] RIAZ T, KHAN S N, JAVAID A. Management of corm-rot disease of gladiolus by plant extracts [J]. *Natural Product Research*, 2010, 24(12): 1131-1138.
- [24] 孙小媛. 黄皮洋葱和紫皮洋葱挥发油化学成分分析[J]. *食品科学*, 2008, 29(10): 474-476.
- [25] YANG Y, WU F Z, LIU S W. Allelopathic effects of root exudates of Chinese onion accessions on cucumber yield and *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerinum* [J]. *Allelopathy Journal*, 2011, 27(1): 75-86.
- [26] LIU S Q, WU F Z, WEN X Y. Allelopathic effects of root exudates of Chinese onion on tomato growth and the pathogen *Fusarium oxysporum* (sch1) f. sp. *Lycopersici* [J]. *Allelopathy Journal*, 2013, 31(2): 387-403.
- [27] 杨阳. 分蘖洋葱根系分泌物对黄瓜的化感作用及其应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [28] YU J Q. Allelopathic suppression of *Pseudomonas solanacearum* infection of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in a tomato-Chinese chive (*Allium tuberosum*) intercropping system [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1999, 25(11): 2409-2417.
- [29] IQBAL M F, KAHLOON M H, NAWAZ M R, et al. Effectiveness of some botanical extracts on wheat aphids. [J]. *Japs Journal of Animal and Plant Sciences*, 2011, 21(1): 114-115.
- [30] 丁海燕, 程智慧. 大蒜化感作用及其利用研究进展[J]. *中国蔬菜*, 2014(9): 11-16.
- [31] ABDEL-MONAIM M F, ABO-ELYOUSR K A M. Effect of preceding and intercropping crops on suppression of lentil damping-off and root rot disease in New Valley-Egypt [J]. *Crop Protection*, 2012, 32: 41-46.
- [32] 杨阳, 吴凤芝. 套作不同化感潜势分蘖洋葱对黄瓜生长及土壤微环境的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2627-2634.
- [33] 庄岩, 吴凤芝, 杨阳, 等. 轮套作对黄瓜土壤微生物多样性及产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 204-209.
- [34] 刘淑芹. 分蘖洋葱的遗传多样性及其对番茄的化感作用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [35] DEBRA K R, MISHECK D. Onion (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*) as pest control intercrops in cabbage based intercrop systems in Zimbabwe [J]. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2014, 7(2): 13-17.
- [36] PAHLA I, TUMBARE T, CHITAMBA J, et al. Evaluation of *Allium sativum* and *Allium cepa* intercrops on the control of *Brevicoryne brassicae* (Homoptera: Aphididae) in *Brassica napus* [J]. *International Journal of Farming*

and Allied Sciences, 2014, 3(10):1069-1074.

[37] BAUMANN D T, KROPFF M J, BASTIAANS L. Intercropping carrots and leeks to suppress weeds[J]. Weed Research, 2000, 40:359-374.

[38] MALLEK S B, PRATHER T S, STAPLETON J J. Interaction effects of *Allium* spp. residues, concentrations and soil temperature on seed germination of four weedy plant species[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 37(3):233-239.

[39] AHMAD I, CHENG Z H, MENG H W, et al. Effect of intercropped garlic (*Allium sativum*) on chlorophyll, photosynthesis and antioxidant enzymes in pepper[J]. Pakistan Journal of Botany, 2013, 45(6):1889-1896.

[40] MALLANGOUDA B, SULIKERI G S, MURTHY B G, et al. Productivity and economics of chilli (*Capsicum annuum*)-based intercropping systems under different fertility levels[J]. Indian Journal of Agronomy, 1995, 40:502-504.

[41] 靳素英, 崔明学, 蔺继尚. 天津东郊盐碱土微生物分布及土壤酶活性[J]. 应用生态学报, 1996, 7(增刊):139-141.

[42] 李文娇, 杨殿林, 赵建宁, 等. 长期连作和轮作对农田土壤生物学特性的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3):173-178.

[43] 时伟, 徐宁, 魏珉, 等. 大葱根系分泌物对黄瓜幼苗根际微生态环境的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(12):72-76.

[44] 刘守伟, 杨阳, 潘凯, 等. 分蘖洋葱根系分泌物对黄瓜幼苗土壤养分及土壤酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(14):51-58.

[45] 杨阳, 刘守伟, 潘凯, 等. 分蘖洋葱根系分泌物对黄瓜幼苗生长及根际土壤微生物的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(4):1109-1117.

[46] XIAN X M, CHENG Z H, MENG H W, et al. Intercropping with garlic alleviated continuous cropping obstacle of cucumber in plastic tunnel[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science, 2012, 62(8):696-705.

[47] 孙彩菊, 程智慧, 孟焕文, 等. 大棚番茄连续定位套蒜第3年度土壤微生物数量和酶活性的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(12):97-105.

[48] 李威, 程智慧, 孟焕文, 等. 轮作不同蔬菜对大棚番茄连作基质中微生物与酶及后茬番茄的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(1):73-80.

[49] 周艳丽. 大蒜(*Allium sativum* L.)根系分泌物的化感作用研究及化感物质鉴定[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.

[50] XIAN X M, CHENG Z H, MENG H W, et al. Intercropping of green garlic (*Allium sativum* L.) induces nutrient concentration changes in the soil and plants in continuously cropped cucumber(*Cucumis sativus* L.) in a plastic tunnel[J]. PloS One, 2013, 8(4):e62173.

[51] 徐正浩, 郭得平, 余柳青, 等. 水稻化感物质抑草作用机理的分子生物学研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5):829-833.

[52] 何华勤, 贾小丽, 梁义元. RAPD 和 ISSR 标记对水稻化感种质资源遗传多态性的分析[J]. 遗传学报, 2004, 31(9):888-894.

[53] 徐正浩, 郭得平, 余柳青, 等. 水稻化感物质抑草作用机理的分子生物学研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5):829-833.

[54] 林文雄, 何海斌, 熊君, 等. 水稻化感作用及其分子生态学研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(8):2687-2694.

[55] 王海斌, 熊君, 方长旬, 等. 氮素胁迫下强、弱化感水稻蒴类代谢途径中关键酶基因差异表达的 FQ-PCR 分析[J]. 作物学报, 2007, 33(8):1329-1334.

[56] 宋碧清. 氮素调控化感水稻相关基因差异表达与作用机制研究[D]. 福州:福建农林大学, 2007.

[57] 何华勤. 水稻化感作用及其分子机理研究[D]. 福州:福建农林大学, 2004.

[58] 刘淑芹, 刘丹, 吴凤芝. 分蘖洋葱-番茄套作系统中番茄叶片蛋白质组学的研究[J/OL]. 中国科技论文在线, 2014, <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201401-1286>.

[59] YANG Y, WU F Z, LIU S W. Allelopathic effects of root exudates of Chinese onion accessions on cucumber yield and *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cucumerinum*[J]. Allelopathy Journal, 2011, 27(1):75-86.

[60] FANG C X, ZHUANG Y E, XU T C, et al. Changes in rice allelopathy and rhizosphere microflora by inhibiting rice phenylalanine ammonia-lyase gene expression[J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39(2):204-212.

[61] GUO H M, PEI X X, WAN F H, et al. Molecular cloning of allelopathy related genes and their relation to HHO in *Eupatorium adenophorum*[J]. Molecular Biology Reports, 2011, 38(7):4651-4656.

[62] FU J Y. Molecular cloning and expression analysis of a putative sesquiterpene synthase gene from tea plant(*Camellia sinensis*)[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2013, 35(1):289-293.

[63] 马凤鸣, 王安娜, 吴蕾, 等. 大豆根系分泌物的鉴定及 *PAL1*, *PAL2*, *C4H* 的克隆[J]. 作物杂志, 2011(2):65-71.

[64] VOGT T. Phenylpropanoid biosynthesis[J]. Molecular Plant, 2010, 3:2-20.

[65] HUGHES J, TREGOVA A, TOMSETT A B, et al. Synthesis of the flavour precursor, alliin, in garlic tissue cultures[J]. Phytochemistry, 2005, 66:187-194.

[66] 刘丹, 吴凤芝. 分蘖洋葱查尔酮异构酶基因的克隆及表达载体的构建[J]. 生物技术通报, 2014(10):88-93.

[67] 郭惠明, 程红梅. 外来入侵植物紫茎泽兰化感作用研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2008, 10(S1):30-34.

[68] 曾任森, 骆世明. 化感作用研究动态和对我国化感作用学科发展的几点建议[J]. 中国生态学会通讯, 2000(特刊):139-140.

Research Progress on *Allium* Allelopathy

YANG Yang¹, HE Shiguo²

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Wuhan Institute of Bioengineering, Wuhan, Hubei 430415; 2. College of Further Education, Wuhan Institute of Bioengineering, Wuhan, Hubei 430415)

Abstract: In recent years, the researches about *Allium* plant allelopathy are increasing. This paper mainly reviewed the research progress made in allelopathic potentials and allelochemicals of *Allium*, applications of *Allium* allelopathy in agricultural production, influences of *Allium* allelochemicals on soil ecological environment, molecular mechanism and the future research trends of *Allium* allelopathy in order to provide the references to rational utilization of *Allium* allelopathy and realize the positive recycling of agroecological system.

Keywords: *Allium*; allelopathy; allelochemical; molecular mechanism