

根分泌物及其化感作用研究进展

魏 莎, 李素艳, 孙向阳, 张 骅, 张 强, 郝利峰

(北京林业大学, 北京 100083)

摘 要:根分泌物的化感作用已经成为土壤生态、植物保护等领域研究的热点和重点。现总结了根分泌物及其化感物质的种类, 根分泌物对土壤养分和土壤微生物的影响。通过总结提出未来根分泌物及化感作用的研究方向和重点, 为未来相关领域的发展提供理论依据和基础。

关键词:根分泌物; 化感作用; 养分; 土壤微生物; 研究进展

中图分类号:Q 944.54 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2010)18-0222-05

随着 1904 年德国微生物学家 Hihen 对于根际(rhizosphere)这一概念的提出, 根分泌物(root exudate)作为根际物质的重要组成部分之一, 逐渐成为各个领域研究的重点和热点。根分泌物作为一种连接土壤和植物的重要物质, 对植物通过根系从土壤中摄取自身生长所需的营养物质和自身分泌一些物质到土壤中起到了非常重要的作用。

根分泌物是指植物生长过程中通过根的不同部位向生长基质(如土壤、营养液等)中释放的一组种类繁多的物质^[1]。根分泌物的释放量很大, 1 a 生的植物净光合产量的 30%~60% 会运输到根系, 其中 4%~70% 的产物以有机碳的形式分泌到根际中^[2]。根际作为植物与土壤接触最紧密的媒介, 根分泌物在此区域进行转化、降解和转移, 对整个土壤环境产生相当可观的作用。根分泌物中的化感物质不仅具有重要的生态意义, 而且在农业生产上也具有很大的现实意义。因此, 该文针对根分泌物及其化感作用对植物生产、养分吸收和土壤生物的影响进行了综述, 阐明了根分泌物及其化感作用的研究进展, 为有效利用化感物质以提高养分利用和土壤科学管理提供科学依据。

1 根分泌物的化感作用

1.1 根分泌物和化感物质的种类

1.1.1 根分泌物的种类 关于根分泌物种类比较经典的说法是 1979 年 Warembourg 和 Billets 等根据分泌物

的性质把根分泌物分为 3 种: 细胞脱落物和裂解物; 高分子量的凝胶状物; 低分子量的有机化合物^[3]。张福锁等人对根分泌物的种类进行了补充, 根分泌物还包括气体、质子和养分离子等^[4-7]。

1.1.2 化感物质的种类 植物中所发现的化感物质(Allelochemical)主要来源于植物的次生代谢产物, 主要包括水溶性有机酸、直链醇、脂肪族醛和酮, 简单不饱和内脂, 长链脂肪酸和多烯, 醌类, 苯甲酸及其衍生物, 肉桂酸及其衍生物, 香豆素类, 类黄酮类, 单宁, 内酯, 氨基酸和多肽, 生物碱和甾醇, 硫化物和芥子油苷, 嘌呤和核苷等 14 类^[8]。表 1 列举了部分关于根分泌化感物质的主要植物和化感效应。从表 1 可看出, 大部分的作物根分泌的化感物质都对自身具有毒害作用, 正是这些毒害作用导致了植物种植中常常出现的连作障碍及土壤质量下降等问题。从表 1 还可看出, 现阶段植物根分泌的化感物质主要用于去除杂草等方面, 杂草与作物之间的拮抗作用正是根分泌化感物质的地上表现。

1.2 植物之间的化感作用

植物为了获得更多的资源, 通过根分泌物中的化感物质抑制另一种植物的生长, 从而促进了自身的发展。Rice(1984)将化感作用定义为“一种植物(包括微生物)通过向环境释放化学物质而对另一种植物(包括微生物)产生直接或间接的有害的或有益的作用”^[9]。

在大部分的研究中都会有化感物质低促高抑的现象。耿广东等的研究表明辣椒根系分泌的化感物质对莴苣表现为高控低促的化感浓度效应, 并且对根部生长的影响远大于地上部, 不同生长时期的莴苣对化感物质的敏感度不同, 苗期比发芽期敏感^[10]。Dornbos 等从苜蓿中分离出苜蓿素(medicarpin)、4-甲基苜蓿素(4-methoxymedicarpin)、sativan 和 5-methoxysativan。其中苜蓿素能够抑制苜蓿植株周围植物生长, 抑制苜蓿幼苗建

第一作者简介: 魏莎(1986-), 女, 在读硕士, 主要研究方向为土壤连作障碍和养分高效利用。E-mail: weisha_666@126.com。

通讯作者: 李素艳(1968-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为土壤与植物营养。E-mail: lisuyan@bjfu.edu.cn。

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD07B03)。

收稿日期: 2010-07-03

植和控制某些杂草^[26]。有研究表明,银胶菊具有化感作用,可抑制萝卜、黄瓜、三叶鬼针草和马唐种子的萌发和幼苗的生长。从以上植物的表现中可以发现植物根分泌物可以影响生态环境的平衡和进化。

表 1 作物根分泌的化感物质及其化感效应

作物	化感物质	化感效应	参考文献
小麦	异羟肟酸、酚酸类	抑制杂草控制病害	[11-12]
		自毒作用,防病治虫	
		抑制三叶草和牵牛花的萌发和生长	
大豆	中脂肪酸、肉桂酸衍生物、直链醇及烯醇、一些酯类、醛、酮及其衍生物、苯及苯酚类	自毒作用	[13-15]
		抑制玉米、白菜种子萌发	
水稻	酚酸类化合物、长链脂肪酸、萜类化合物、甾类化合物、黄酮类化合物、糖甙化合物	抑制杂草种子发芽,干扰激素平衡,破坏膜的完整性,降低杂草光合效率、呼吸和养分吸收	[16-18]
苜蓿	三十烷醇、皂苷、刀豆氨酸、酚酸类	植物生长调节剂,天然除草剂,杀虫	[19-21]
辣椒	烷烃、芳香烃、醇、酮、烯酸酯、芳香酸酯和含 N 的化合物	抑制自身生长	[22]
黄瓜	苯甲酸、对羟基苯甲酸、香草酸、阿魏酸、苯丙酸等苯甲酸的衍生物	自毒作用	[23]
		低浓度促进枯萎病菌菌丝生长	
		高浓度抑制枯萎病菌菌丝生长	
苹果砧木	根皮素、间苯三酚和对一羟基苯甲酸	抑制苹果幼苗生长	[24]
草莓	对羟基苯甲酸,苯甲酸	自毒作用	[25]

现在,植物之间的化感作用大多数运用于控制和除去杂草的领域。1974 年 4-甲氧基-3,3'-二苯基甲烷(NK-049)作为选择性除草剂用于水稻上,茴香霉素因此成为第一个微生物除草剂产品,并引起了基于商业化的除草剂化学合成的开发研究^[27]。根据红千层植株中分离出的一种具有除草活性的纤精酮的结构,开发出三酮类除草剂,包括磺草酮和硝草酮,以抑制 HPPD 的活性为作用机理成功开发出了阔叶类除草剂^[28-29]。

1.3 植物自身产生的自毒作用

生物环境的变化主要是由于根分泌物、地上部的淋洗物等不断进入土壤,使根际微生态系统中的微生物群体结构发生改变而产生的,其结果使一些原来不是优势的种群成为优势种群,这些微生物的代谢产物累积有可能抑制作物的生长,产生自毒作用^[30]。

连续种植同种作物会导致连作障碍,导致作物减产。Hall 等^[31]报道苜蓿含有以酚酸类物质为特征的自毒物质。黄瓜作为一种研究比较深入的蔬菜,研究显示黄瓜根分泌物的酸性组分能显著抑制黄瓜胚根伸长,

抑制作物种子的萌发和幼苗的生长^[32];而中碱性组分抑制能力随添加量增加而变化不大,这说明起化感抑制作用的物质主要存在于酸性组分中。化学鉴定出苯甲酸,对羟基苯甲酸,香草酸,苯丙酸,阿魏酸等苯甲酸的衍生物,这些化合物已被证明在黄瓜根系分泌物中存在,它们破坏根表皮细胞膜^[33],并对黄瓜生长起自毒作用^[23]。韩丽梅等研究大豆根分泌物发现,培养 2 周、8 周大豆根分泌物对大豆种子萌发、8 周根分泌物对胚根生长未表现出显著抑制作用,但 2 周根分泌物对胚根生长却表现出极显著的化感抑制作用,由此可以说明大豆根分泌物中存在化感物质^[15]。周凯等研究表明,菊花不同部位浸提物对叶片叶绿素含量、净光合速率及气孔导度表现出抑制趋势,而暗呼吸速率却受到促进,这样就对自身的生长产生不同程度的抑制作用^[34]。在含有根系分泌物的生根培养基中定植的草莓组培苗,其生根、根系生长均受到不同程度的抑制,生物量显著下降,而且根系分泌物对草莓幼苗根系生理活性具有抑制作用。主要表现为根系 TIC 还原活性下降、相对电导率增大、SOD 酶活性降低及 MDA 生成量增多等方面,并导致草莓幼苗生长发育不良、病害加重。这说明草莓根系分泌物具有自毒作用^[35]。

2 根分泌的化感物质对养分利用的影响

作物对于养分的吸收利用主要通过根系来实现,根分泌物的种类和数量,以及其分泌、转化和迁移过程都会对养分的吸收产生巨大的影响。白羽扇豆、水稻、大豆的根系分泌物都具有提高土壤磷素有效性进而促进植物吸收利用难溶性磷酸盐的作用^[36]。玉米根分泌物能抑制土壤对磷的吸附,即使得土壤中可供作物利用的磷增加^[37]。大豆根系分泌的番石榴酸可以使其在低磷旱地土壤正常生长且大量利用铁磷^[38]。大豆根分泌物对难溶性铝磷有活化作用,根分泌物的阴离子组分对铝磷的活化量显著高于中性组分和阳离子组分,小于 1 K 根分泌物组分对铝磷活化量最大。除有机酸影响难溶性铝磷活化之外,根分泌物中可能还存在其它物质对铝磷活化有促进作用^[39]。象草的根分泌物可以提高其对铝磷的高量吸收^[40]。因此,作物根分泌物活化难溶性磷的能力对改善其磷素营养具有重要意义。

根分泌物对于植物吸收金属元素过程具有很大的影响。植物根系分泌机酸、氨基酸、糖、生长物质等改变根际环境的 pH、Eh 等,从而影响根系对金属的吸收;通过螯合、络合、沉淀等作用将金属污染物滞留于根外;通过改变根际微生物的组成、活性和分泌作用而改变根际环境中金属的数量和活度^[41]。以水稻为例,缺铁水稻根

分泌物和缺铁小麦根分泌物均能活化水稻根际的难溶性镉(CdS),促进了水稻对这部分镉的吸收和运输^[42]。不同品种的水稻在缺磷处理时,植株地上部铁含量低于正常供铁处理,Cd、Zn 的含量高于正常供铁处理,但 Mn 的含量因品种的不同表现不同^[43]。双子叶植物根分泌物可以促进铜和锌的吸收^[44]。海州香薷和鸭跖草根分泌物中草酸和出峰时间为 6.5 min 左右的未知有机酸对污染土壤中 Cu 有一定的活化能力,鸭跖草根分泌物对 Cu 的活化能力大于海州香薷,且不同处理根分泌物中有机酸种类或含量有所差异^[45]。

3 根分泌的化感物质对土壤微生物的影响

根系可以分泌各种对微生物生长产生影响的维生素、酶、生长调节剂和氨基酸等物质,为土壤微生物提供碳源和能源。同时,土壤微生物促进植物分泌物的释放,这对于植物的抗逆性,养分利用等具有重要的生态意义。因此,根释放的有机物决定着根际微生物的空间分布、种类和数量。

3.1 根分泌物对土壤微生物分布的影响

由于根分泌物种类和数量的变异,根际微生物在根际空间分布上表现出明显的规律性,即纵向上,从根冠到成熟区微生物的数量呈上升趋势,但根分泌物最多的部位为根尖,这样就可以避免微生物迅速分解分泌物;横向上,距离跟表面的距离不同,土壤微生物的数量也是不同的,根表面内外两侧微生物聚集量最大,随着距离根表的距离越远微生物的数量逐渐减少,竞争力较弱的微生物大部分都距离根表面较远,利用根表附近微生物分解的产物^[46]。

表 2 根分泌化感物质对土壤微生物的影响

作物	化感物质	化感效应	参考文献
大豆	邻苯二甲酸	抑制半裸镰孢菌、粉红粘帚菌和尖镰	[51]
	丙二酸	孢菌	
小麦	异羟肟酸	抑制真菌,抗微生物,促进反硝化细菌的生长,小麦全蚀病和真菌病害	[11,52-53]
	根际酸化		
水稻	酚酸、半蒽化合物,胡桃醌	抑制真菌,促进数细菌、放线菌、固氮菌。氨化细菌、亚硝酸细菌、硝酸细菌、好气性固氮菌、好气性纤维素分解菌、硫化细菌	[54-55]
芦苇	2-甲基乙酰乙酸乙酯	破坏铜绿微囊藻和蛋白核小球藻的细胞膜	[56-57]
凤眼莲	Met	促进肠杆菌属 F2 细菌	[58]
苜蓿	皂苷	抑制木霉	[59]

3.2 根分泌物对土壤微生物种类数量的影响

在大豆生长发育过程中,大豆苗期和花英期根分泌物均显著促进尖镰孢菌菌丝生长,添加成熟期根分泌物显著促进腐皮镰孢菌菌丝长^[47]。不同大豆品种根系分

泌物中氨基酸组分对病原菌生长起着一定的作用,其表现的作用受根际氨基酸种类和氨基酸浓度影响较大,对于不同病原菌的作用存在差异。感病和抗病大豆品种根系分泌的主要氨基酸分别为精氨酸和天冬氨酸。氨基酸纯品培养中,添加精氨酸和酪氨酸处理的尖镰孢菌菌落直径显著高于不加氨基酸的对照菌落直径;添加丝氨酸和天冬氨酸的处理菌落直径则显著低于对照处理。同时,添加天冬氨酸的培养基上腐皮镰孢菌菌落直径显著低于不加氨基酸的对照^[48]。2 种不同基因型的小麦根系对反硝化细菌均有明显的根际效应,促进反硝化细菌的生长^[49]。玉米生长活动及根系代谢产物对土壤细菌、真菌和放线菌数量的增加有促进作用。种植玉米后,土壤细菌、真菌和放线菌数量均高于休闲地。根系的代谢活动能够降低土壤中细菌与真菌、放线菌与真菌数量的比值,提高细菌与放线菌数量的比值^[50]。

4 根分泌化感物质的研究展望

由于根系分泌物的收集和分离方法的研究还没有一个很好的结果,所以关于根分泌化感物质的分析都没有一个比较统一论。现在大部分根分泌物的收集都是在水培或是砂培条件下进行的,这就造成了根系生长条件改变。土壤作为一个复杂的综合体,植物在土壤中分泌出的物质受水分、养分、气体和温度等多种因素的影响。因此如何在土壤环境中收集和提取植物根分泌物是所有研究准确的前提,也是真实反映根分泌化感物质对植物影响的重要基础。

植物化感作用是植物在进化过程中产生的一种对环境的适应性机制^[60],根分泌化感物质就是对环境胁迫条件作出的调节反应。因此,影响根分泌化感物质的环境因素将成为未来研究的重点。

根分泌物可以直接或间接的改变根际的养分有效性^[61],土壤养分情况同样可以影响根分泌的物质数量和种类,从而影响土壤环境和作物生长。因此应该加强根分泌化感物质研究与土壤生态养分循环研究的结合。了解养分吸收和分泌物相互作用的机理将是未来研究的另一个重点和难点。

根分泌化感物质的产生和释放机制,在土壤中的转化、降解和迁移,对其它植物的作用机理都是现在研究较少的方面,而这些正是减少和利用根分泌化感物质的重点。这也是未来研究的主要方向。

参考文献

[1] 张福锁,申建波,冯固,等. 根际生态学—过程与调控[M]. 北京:中国农业大学出版社,2009;34.
[2] Lynch J M, Whipps J M. Substrate flow in the rhizosphere [J]. Plant

and soil, 1990, 129, 1-10.

[3] Warembourg F R, Billes G. Estimating carbon transfers in the plant rhizosphere [C] // In: Harley J L, Russell R S, ed5. The Soil-Root Interface. Academic Press, London, 1979, 183-196.

[4] 张福锁. 根分泌物及其在植物营养中的作用[J]. 北京农业大学学报, 1992, 18(4): 353-357.

[5] 张福锁, 曹一平. 根际动态过程与植物营养[J]. 土壤通报, 1992, 29(3): 239-250.

[6] Curl E A, Truelove B. The Rhizosphere [M]. In: Waisel Y, Eshel A, ed. Plant Roots: The Hidden Half. Israel: Marcel Dekker, 1996: 641-669.

[7] Uren N C, Reisenauer H M. The role of root exudates in nutrient acquisition[J]. In: Tinker B, Lauchli A. (ed.) Advances in Plant Nutrition, 1988, 3: 79-114.

[8] Rice E L. Allelopathy (2ed edition) [M]. New York: Academic Press, 1984: 23-28.

[9] 李雪利, 李正, 李彦涛, 等. 植物化感作用研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 142-146.

[10] 耿广东, 程智慧, 张素勤. 不同浓度的辣椒化感物质对莴苣化感效应研究[J]. 华北农学报, 2008, 23(2): 30-33.

[11] 张晓珂, 姜勇, 梁文举, 等. 小麦化感作用研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1967-1972.

[12] Kruse M, Strandberg M, Strandberg B. Ecological Effects of Allelopathic Plant-A Review. National Environmental Research Institute, Silkeborg, Denmark. NERI Technical Report, 2000: 315.

[13] 韩丽梅, 王树起, 肖丽华. 重迎茬大豆根区土壤有机化合物的 GC/MS 分析[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(4): 6-8.

[14] 战秀梅, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 大豆连作及其根茬腐解物对大豆根系分泌物中酚酸类物质的影响[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 631-635.

[15] 韩丽梅, 王树起, 鞠会艳, 等. 大豆根分泌物的鉴定及其化感作用的初步研究[J]. 大豆科学, 2000, 19(2): 119-125.

[16] 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.

[17] 何海斌, 陈祥旭, 林瑞余, 等. 化感水稻 P1312777 苗期根系分泌物中化学成分分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2383-2388.

[18] Kim K W, Kim K U. Searching for rice allelochemicals [M]. In: Kim KU, Shin DH, eds. Rice Allelopathy. Taegu, Korea: Kyung-pook National University, 2000: 83-95.

[19] 李玉占, 梁文举, 姜勇. 苜蓿化感作用研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 186-191.

[20] Chon S U, Choi S K, Jung S, et al. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass[J]. Crop Prot, 2002, 21: 1077-1082.

[21] Manal M A, Frantisek S, Marian J. 2000. Effects of alfalfa saponins on the moth (*Spodoptera littoralis*) [J]. J Chem Ecol, 26(4): 1065-1078.

[22] 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲, 等. 辣椒根系分泌物化感作用的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 504-507.

[23] 胡元森, 李翠香, 杜国营, 等. 黄瓜根分泌物中化感物质的鉴定及其化感效应[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 954-957.

[24] 张江红, 张殿生, 毛志泉, 等. 苹果砧木幼苗根系分泌物的分离与鉴定[J]. 河北农业大学学报, 2009, 32(4): 29-32.

[25] 甄文超, 王晓燕, 孔俊英, 等. 草莓根系分泌物和腐解物中的酚酸类

物质及其化感作用[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(4): 74-78.

[26] Dornbos D L. MedicaDin delays alfalfa seed germination and seedling growth [J]. Crop Sci, 1990, 30: 162-166.

[27] 郭永霞, 孔祥清. 天然除草活性化合物研究进展[J]. 植物保护, 2005, 31(6): 11-16.

[28] James R. Vyvyan. Allelochemicals as leads foe new herbicides and agrochemicals [J]. Tetrahedron, 2002, 58: 1631-1646.

[29] Duke S O, Oayan F E, Romagni J G, et al. Natural products as sources of herbicides: Current status and future trends [J]. weed Res, 2000, 40: 99-111.

[30] 阮维斌, 王敬国, 张福锁, 等. 根际微生态系统理论在连作障碍中的应用[J]. 中国农业生态导报, 1999(4): 53-58.

[31] Hall M H, Henderlong P R. Alfalfa autotoxic fraction characterization and initial separation [J]. Crop Sci., 1989, 29: 425-428.

[32] Sene M, Dore T, Pellissier F. Effect of phenolic acids in soil under and between rows of a prior sorghum (*Sorghum bicolor*) crop on germination, emergence, and seedling growth of peanut (*Arachis hypogea*) [J]. Journal of chemical ecology, 2000, 26(3): 625-637.

[33] 吴风芝, 黄彩红, 赵风艳. 酚酸类物质对黄瓜幼苗生长及保护酶活性影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7): 821-825.

[34] 周凯, 郭维明, 王智芳, 等. 菊花不同部位及根际土壤水浸液处理对光合作用的自毒作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 318-322.

[35] 甄文超, 曹克强, 代丽, 等. 连作草莓根系分泌物自毒作用的模拟研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 828-832.

[36] 章爱群, 贺立源, 赵会娥, 等. 根分泌物对活化土壤中难溶性磷的作用[J]. 水土保持报, 2008, 22(5): 102-105, 185.

[37] 黄承玲, 陈训, 范成五. 玉米根分泌物对喀斯特地区土壤吸附磷的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11453-11455.

[38] Shen H, Wang X C, Shi W M, et al. Isolation and identification of specific root exudates in elephant grass (*Pennis lium* L.) in response to phosphorus deficiency [J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(7): 1117-1130.

[39] 沈宏, 菊井森士, 严小龙, 等. 大豆根分泌物活化难溶性铝磷的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 68-70, 83.

[40] Ae N, Arihara J, Okada K, et al. Phosphorus uptake by pigeonpea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent [J]. Science, 1990, 248: 477-480.

[41] 常学秀, 段昌群, 王焕校. 根分泌作用与植物对金属毒害的抗性[J]. 应用生态学, 2000, 11(2): 315-320.

[42] 刘文菊, 张西科, 张福锁. 根分泌物对根际难溶性镉的活化作用及对水稻吸收、运输镉的影响[J]. 生态学报, 2000(5): 448-451.

[43] 李花粉, 张福锁, 李春俭, 等. 根分泌物对根际重金属动态的影响[J]. 环境科学学报, 1998, 18(2): 102-105, 185.

[44] Degryse F, Verma V K, Smolders E. Mobilization of Cu and Zn by root exudates of dicotyledonous plants in resin-buffered solutions and in soil [J]. Plant Soil, 2008, 306: 69-84.

[45] 施积炎, 陈英旭, 林琦, 等. 根分泌物与微生物对污染土壤重金属活性的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(3): 316-319.

[46] 张福锁, 申建波, 冯固, 等. 根际生态学-过程与调控[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 35-36.

[47] 张俊英, 王敬国, 许永利. 大豆根系分泌物中氨基酸对根腐病菌生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 308-315.

- [48] 叶志毅,屠振力. 桑树根的分泌物和根际微生物的研究[J]. 蚕业科学, 2005, 31(1): 18-21.
- [49] 李振高, 李良谟, 潘映华. 小麦苗期根系分泌物对根际反硝化细菌的影响[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 408-413.
- [50] 林雁冰, 薛泉宏, 顾霞. 不同栽培模式下玉米根系对土壤微生物区系的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(12): 101-107, 114.
- [51] 鞠会艳, 韩丽梅. 邻苯二甲酸和丙二酸对大豆根腐病病原菌的化感作用[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(5): 38-40, 44.
- [52] Copaja S V, Niemeyer H M, Wratten S D. Hydroxamic acid levels in Chilean and British wheat seedling[J]. Ann Appl Biol, 1991, 118: 223-227.
- [53] Smiley R W, Cook R J. Relationship between take-all of wheat and rhizosphere pH in soils fertilized with ammonium vs. Nitrate2 nitrogen [J]. Phytotohol, 1973, 63: 882-890.
- [54] KONG Chui-hua, LIANG Wen-ju, XU Xiao-hua, et al. Release and activity of allelochemicals from allelopathic rice seedlings [J]. Journal of Agri-

cultural and Food Chemistry, 2004, 52: 2861-2865.

- [55] 胡开辉, 罗庆国, 汪世华, 等. 化感水稻根际微生物类群及酶活性变化[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1060-1064.
- [56] 李锋民, 胡洪营, 种云霄, 等. 芦苇化感物质对藻类细胞膜选择性的影响[J]. 环境科学, 2007, 28(11): 2453-2456.
- [57] 李锋民, 胡洪营. 芦苇抑藻化感物质的分离及其抑制蛋白核小球藻效果研究[J]. 环境科学, 2004, 25(5): 89-92.
- [58] 赵大君, 郑师章. 凤眼莲根分泌物氨基酸组分对根际肠杆菌属 F2 细菌的趋化作用[J]. 应用生态学报, 1996, 7(2): 207-212.
- [59] Tloagland R E, Zablotowicz R M, Oleszek W A. Effects of alfalfaaponins on In Vitro physiological activity of soil and rhizosphere bacteria [J]. Journal of Crop Production, 2001(4): 349-361.
- [60] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制[J]. 生态学报, 2000(20): 849-854.
- [61] 张福锁, 申建波. 植物营养研究进展[M]//植物保护和植物营养研究进展. 北京: 中国农业出版社, 458-469.

Research Progress in Root Exudates and Allelopathy of Root Exudates

WEI Sha, LI Su-yan, SUN Xiang-yang, ZHANG Hua, ZHANG Qiang, HAO Li-feng
(Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: Allelopathy of root exudates has become research focus and emphasis of soil ecology, plant protection and other areas. This paper summarized the root exudates and allelochemicals types of root exudates, and the effect of root exudates on soil nutrients and soil microbes. By summing up, this paper proposed the future of root exudates and allelopathy research direction, and provided the theoretical basis and the foundation for future development in related fields.

Key words: allelopathy; nutrient; soil microbes; research progress

中国科技核心期刊、全国中文核心期刊、全国优秀农业期刊

《植物遗传资源学报》征订启事

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会主办的学术期刊, 为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、全国优秀农业期刊。该刊为中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库来源期刊(核心期刊)、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊, 又被《中国生物学文摘》和中国生物学文献数据库、中文科技期刊数据库收录。据中国期刊引证研究报告统计, 2009 年度《植物遗传资源学报》影响因子达 1.015, 5 年影响因子 1.317。

报道内容为大田、园艺作物, 观赏、药用植物, 林用植物、草类植物及其一切经济植物的有关植物遗传资源基础理论研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。诸如, 种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新, 信息学、管理学等; 起源、演化、分类等系统学; 基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

双月刊, 大 16 开本, 128 页。定价 20 元, 全年 120 元。各地邮局发行, 邮发代号: 82-643。国内刊号 CN11-4996/S, 国际统一刊号 ISSN1672-1810。

本刊编辑部常年办理订阅手续, 如需邮挂每期另加 3 元。

地址: 北京市中关村南大街 12 号 中国农业科学院《植物遗传资源学报》编辑部

邮编: 100081 电话: 010-82105794 010-82105796(兼传真)

网址: www.zwyczy.cn

E-mail: zwyczyxb2003@163.com zwyczyxb2003@sina.com