

大豆与玉米、小麦、高粱根系分泌物的比较分析

吴 蕾,马凤鸣,刘 成,李业成,王婵婵,王安娜

(东北农业大学 农学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:为研究大豆根系分泌物在大豆连作障碍中的作用,以二氯甲烷作为溶剂,提取培养 28 d 的大豆,小麦,玉米,高粱的根系分泌物,运用气质连用仪分离鉴定,找出大豆与其它 3 种作物根系分泌物的差异。结果表明:用该法鉴定出大豆根系分泌物成分 77 种,小麦 97 种,玉米 84 种,高粱 80 种。4 种作物均鉴定出烷烃、醇、酸、酯、苯、酚、萘、酰胺、酮、醛类以及其他类化合物。将 4 种作物的根系分泌物进行比较,相同成分有丙三醇、2,4-戊二醇、邻苯二甲酸、乙苯、对二甲苯、苯乙烯、4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚、甲基酚和一部分烷烃等。二苯呋喃,茚,3-甲基-4-氧-戊酸,2-亚甲基-丁醛,3-羟基-丁醛,己醛,9,10-二氢-11,12-乙酰-9,10-桥亚乙基蒽等是大豆根系分泌物中独有成分,其在大豆生长过程中的化感作用有待进一步研究。

关键词:大豆;GC-MS;根系分泌物;化感物质

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)06-1021-05

Comparative Analysis of Root Exudates in Soybean, Corn, Wheat and Sorghum

WU Lei, MA Feng-ming, LIU Cheng, LI Ye-cheng, WANG Chan-chan, WANG An-na

(College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: In order to study the function of soybean root exudates in soybean continuous cropping obstacles, compounds extracted with dichloromethane from root exudates of soybean, wheat, corn and sorghum seedlings, were isolated and identified by GC-MS analysis, the different root exudates between soybean and the other three crops were searched. It showed that the composition in the root exudates of soybean, wheat, corn and sorghum were 77, 97, 84 and 80 species, respectively. Alkanes, alcohols, acids, esters, benzene, phenol, naphthalene, amides, ketones, aldehydes and other chemical compounds were identified in the four crops. The common ingredients were identified in the root exudates of the four crops, such as glycerol, 2,4-pentanediol, phthalic acid, ethylbenzene, paraxylene, styrene, butylated hydroxytoluene, methyl alkanes, and a part of alkanes. The specific compounds of soybean root exudates were dibenzofuran, fluorene, 3-methyl-4-oxo-pentanoic acid, 2-methylene-butanal, 3-hydroxy-butanal, hexana and 9,10-dihydro-11,12-diacetyl-9,10-ethanoanthracene.

Key words: Soybean; GC-MS; Root exudates; Allelopathic compounds

东北地区是我国大豆的主要产区,尤其是黑龙江省的大豆生产,不论是面积还是总产,均居全国各省之首。由于大豆面积不断扩大,部分大豆主产区实行大豆重茬种植。有的地区大豆连续种植达 3 a 以上,这就产生了大豆重迎茬问题。连成才等^[1]在黑龙江省宝清县东江村调查了大豆重迎茬年限对产量和品质的影响,结果表明,大豆重茬年限越长,减产幅度越大,病虫粒率也多。重茬 3~4 a,大豆产量还不及正茬产量的一半;重迎茬种植能显著影响大豆籽粒商品品质,与正茬相比,重茬大豆的百粒重下

降 0.7~1.7 g,病粒率上升 3.0%~14.1%,虫粒率上升 1.5%~2.0%^[2]。

作物按照其对连作的反应敏感性差异,大致可分为忌连作作物、不耐连作作物、耐短期连作作物和耐连作作物,大豆属于不耐连作作物^[3]。有研究表明,根分泌物在作物连作障碍中起直接或间接的作用^[4]。根系分泌物的种类繁多,不同作物的种类和数量也是有一定的差异。为进一步研究大豆根分泌物在大豆连作障碍中的作用,采用 GC-MS 分析法对大豆、小麦、玉米、高粱根系分泌

收稿日期:2009-07-03
基金项目:黑龙江省自然科学基金资助项目(JJN0701)
第一作者简介:吴蕾(1983-),女,在读硕士,研究方向为作物生理。E-mail:wulei9920022000@yahoo.com.cn。
通讯作者:马凤鸣,教授,博士生导师。E-mail:fengming_ma@sohu.com。

物的 CH_2Cl_2 提取物进行了鉴定,并将其分泌物进行比较分析,找出大豆特有的根系分泌物,为大豆根系分泌物化感作用的研究,以及相关酶的克隆提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

大豆品种为抗线4号,小麦品种为永良4号,玉米品种为东农252号,高粱品种敖杂1号。化学试剂 CH_2Cl_2 为色谱纯。

1.2 试验方法

1.2.1 幼苗培养 用盐酸浸泡高温消毒的石英砂作基质,播种前用饱和 CaSO_4 溶液浸泡;将 H_2O_2 消毒过的种子播于石英砂中,在人工气候室内避光发芽,子叶露出时在自然光照下培养,当根长至 5~7 cm 时,进行溶液培养。取出生长均一的幼苗,用去离子水轻轻洗去石英砂后,置于 1/2 的 Hoagland 营养液^[5] 中定植,每孔 1 株,密度为 10 株·盆⁻¹,植株培养期间定期通气。7 d 后更换完全培养液,为了保证幼苗正常生长,7 d 更换 1 次培养液。

1.2.2 根系分泌物的收集与提取 将培养 28 d 的作物幼苗,移栽到 0.5 mmol·L⁻¹ CaCl_2 溶液中,容器为 500 mL 的锥形瓶。移栽过程中尽量不破坏作物的根部,用去离子水将根部清洗干净,将作物根部浸入溶液中,用黑纸包裹锥形瓶,使根部做避光处理,叶片光照处理,在上述条件下培养 4 h (9:00~13:00) 后,将作物根系取出,用 500 mL CH_2Cl_2 提取根洗液 2 次,再将 CH_2Cl_2 提取液过 0.45 μm 膜,减压浓缩至干,加入过 0.45 μm 膜的 CH_2Cl_2 2 mL,0.5 mL 作 GC-MS 分析^[6]。

1.2.3 提取液的 GC-MS 分析 检测仪器为岛津 GC/MS-QP2010。采用电子轰击源,轰击电压 70 eV,扫描范围 M/Z30-500,扫描速度 0.4 s 扫全程。毛细管柱: SE-54 (30 m × 0.32 μm × 0.25 mm),离子源温度为 200 $^{\circ}\text{C}$,进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$,柱温 50 $^{\circ}\text{C}$ (保持 3 min),以 6 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 程序升温至 250 $^{\circ}\text{C}$ (保持 5 min)。载气为 He,流量 1 mL·min⁻¹,不分流进样,进样量为 1 μL 。溶剂延迟时间 3.0 min。人工分析并与 NIST05 谱库核对,确定各组物质结构及名称。“相对含量/%”指各组分在 GC-MS 分析中“出峰面积占总峰面积的比例/%”。

2 结果与分析

2.1 大豆根系分泌物的成分

鉴定出大豆根系分泌物 77 种(表 1),其中烷烃 23 种 (14.71%),醇 17 种 (6.08%),酸 5 种 (6.15%),酯 9 种 (4.58%),苯 4 种 (52.43%),酚 2 种 (2.29%),萘 2 种 (0.74%),酰胺 3 种 (0.76%),酮 2 种 (0.03%),醛 3 种 (0.13%),其他类 7 种 (5.05%)。对二甲苯和乙苯依然是相对含量最高的化合物;醇类化合物中丙三醇和环丁烷甲醇的相对含量较高;邻苯二甲酸是酸类的主要化合物,占酸的 96.4%;酯类中邻苯二甲酸的酯类化合物较多,占脂类总量的 96.5%;酚类化合物种类较少,其中 4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚的相对含量较高;烷烃种类较多,其中三十四烷的相对含量较高占烷烃总量的 25.6%;除以上提到的化合物以外,二苯呋喃和茛的相对含量较多,分别是 2.08% 和 2.17%。

2.2 玉米根系分泌物的成分

鉴定出玉米根系分泌物 84 种(表 2),其中烷烃 22 种 (9.44%),醇 18 种 (8.18%),酸 9 种 (6.02%),酯 9 种 (2.65%),苯 7 种 (49.94%),酚 4 种 (5.52%),萘 3 种 (8.78%),酰胺 2 种 (0.1%),酮 5 种 (0.29%),醛 1 种 (0.06%),其他类 4 种 (0.19%)。相对含量最多的是苯类化合物,其中相对含量最多的是对二甲苯和乙苯,分别是 36.76% 和 12.06%;醇类化合物中丙三醇和丙烯-3-醇的相对含量较多,分别是 4.24% 和 2.23%;酸类化合物中以邻苯二甲酸为主 (4.63%),以及少量的丙二酸和乙酸;酯类化合物中相对含量较多的是邻苯二甲酸二(2-甲基丙基)酯 (1.73%);萘类以 N-苯基-1-萘胺为主,相对含量为 7.98%。

2.3 小麦根系分泌物的成分

鉴定出小麦根系分泌物 97 种(表 3),24 个烷烃(相对含量 8.16%),15 个醇 (4.04%),9 个酸 (5.83%),19 个酯 (7.67%),6 个苯 (64.79%),3 个酚 (5.81%),3 个萘 (1.38%),4 个酰胺 (0.1%),5 个酮 (0.26%),2 个醛 (0.14%),其他类 7 个 (0.53%)。相对含量最高的是苯类化合物,相对含量最多的是对二甲苯 (48.25%) 和乙苯 (15.47%),较多的是邻苯二甲酸,邻苯二甲酸二(2-甲基丙基)酯,邻苯二甲酸二(2-甲基)酯,4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚;含量较少的有 3-甲基苯酚,苯酚,丙三醇,

硬脂酸乙酯,N- 苯基-2- 萘胺和 2- 甲基萘;以及少量 的氨基酸和酰胺类化合物。

表 1 大豆根系分泌物的 GC- MS 鉴定结果

Table 1 GC- MS identification results of soybean root exudates

化合物类别 Compounds	名称 Name	总百分含量 Total contents/%
烃类 Hydrocarbons	3- 甲基- 庚烷;2,2,5- 三甲基- 己烷;2,3,7- 三甲基-2- 辛烯;癸烷;3,3- 二甲基-1- 己烯;十二烷;2,2,6,6- 四甲基-庚烷;十四烷;4-甲基-2- 戊烯;3,3,8- 三甲基- 癸烷;2,3,5- 三甲基- 癸烷;辛基- 环己烷;3,7- 二甲基- 壬烷;十六烷;2,6,10- 三甲基- 十二烷;(1,3- 二甲基丁基)- 环己烷;十七烷;2,6,10- 三甲基- 十四烷;十五烷;二十九烷;三十四烷;三十五烷;(Z)-5- 甲基-4- 十一碳烯	14. 71
醇类 Alcohols	丙三醇;环丁烷甲醇;环戊烷-1,2- 二醇;(S)-2- 氨基-4- 甲基-1- 戊醇;庚醇;2- (1- 甲基乙基)- 环己醇;6- 甲基-1 庚醇;3- 丁烯-2- 醇;1- 辛醇;3- 甲基-2- 丁醇;2,4- 戊二醇;2- 甲基-3- 丁炔-2- 醇;2- 丁烯-1,4- 二醇;3- 甲基-1- 丁醇;2- 己醇;2- 甲基-2- 乙基-1,3- 丙二醇;2- 异丙基-5- 甲基-1- 己醇	6. 08
酸类 Acids	3- 甲基-4- 氧- 戊酸;二乙基乙酸;2,5- 二氨基-2- 甲基- 戊酸;甲基- 丁二酸;邻苯二甲酸	6. 15
酯类 Esters	丙烯酸异丁基酯;2- 羟基-2- 甲基- 丁酸甲酯;丁酸-2- 甲基丁基酯;环丁烷;酸-3- 甲基- 丁基酯;丙烯酸乙酯;邻苯二甲酸双十三烷酯;邻苯二甲酸双(7- 甲基辛基) 酯;邻苯二甲酸二异丁基酯;邻苯二甲酸二丁酯	4. 58
苯类 Benzenes	甲苯;乙苯;对二甲苯;乙烯苯	52. 43
酚类 Phenols	3- 甲基- 苯酚;4- 甲基-2,6- 二叔丁基苯酚	2. 29
萘类 Naphthalenes	1-[2- (1- 羟基- 异丙氧基) 乙基] 萘;2- 甲基- 萘	0. 74
酰胺类 Amides	3,3- 二甲基- 丁酰胺;(S)-2- 氨基-4- 甲基- 戊酰胺;3- 丁烯酰胺	0. 76
酮类 Ketones	3,4- 二羟基-3,4- 二甲基-2,5- 己二酮;3- 甲基-2- 丁酮	0. 03
醛类 Aldehydes	2- 亚甲基- 丁醛;3- 羟基- 丁醛;己醛	0. 13
其它类 Others	3- 甲基- 呋喃;二异丙醇胺;二亚乙基三胺;2- 戊胺;二苯呋喃;苄;9,10- 二氢-11,12- 乙酐-9,10- 桥亚乙基蒽	5. 05

表 2 玉米根系分泌物的 GC- MS 鉴定结果

Table 2 GC- MS identification results of corn root exudates

化合物类别 Compounds	名称 Name	总百分含量 Total contents/%
烃类 Hydrocarbons	4,4- 二甲基- 庚烷;癸烷;2- 乙烯氧基- 丙烷;十二烷;2,3,3,4- 四甲基- 戊烷;2,3,8- 三甲基- 癸烷;十四烷;2,4- 二甲基-5- 乙基-2- 庚烯;2,7- 二甲基- 癸烷;2,5,5- 三甲基- 庚烷;2- 环己基- 二十烷;2,3- 二甲基- 戊烷;4- 环己基- 癸烷;十六烷;3- 甲基- 十一烷;2- 环己基- 十二烷;十八烷;2,6,10,14- 四甲基- 十五烷;4- 甲基- 二十二烷;4- 环己基- 十二烷;2,3,5- 三甲基- 癸烷;2,6,10,15- 四甲基- 十七烷	9. 44
醇类 Alcohols	2- 己醇;4- 氨基-1- 戊醇;丙三醇;丙烯-3- 醇;2- 氨基-1,3- 丙二醇;2,4- 戊二醇;2- 戊醇;4,4- 二甲基-2- 戊醇;3- 甲基-2- 丁醇;3- 甲基-1- 丁醇4- 戊炔-2- 醇;2,6- 二甲基-4- 庚醇;甲戊炔醇;1- 十一烷醇;2- 辛醇;3- 乙基-1- 戊炔-3- 醇;1- 壬醇;2- 异丙基-5- 甲基-1- 庚醇	8. 18
酸类 Acids	2- 甲基-2- 丙烯酸;丙二酸;乙酸;3- 甲基- 丁酸;4- 羟基- 丁酸;曲酸;5- 羟基- 己烯酸;邻苯二甲酸;2- 丁烯酸	6. 02
酯类 Esters	亚硝酸丁基酯;1- 甲基乙基甲酸酯;甲酸丙酯;(1,2- 二甲基- 丙烯基) 乙酸酯;丙烯酸乙酯;亚硫酸- 己基辛基酯;2- 己烯酸丁基酯;丁内酯;邻苯二甲酸二(2- 甲基丙基) 酯	2. 65
苯类 Benzenes	甲苯;乙苯;对二甲苯;乙烯苯;邻二甲苯;2,4- 二甲基-1- 甲苯基- 苯;2,2′,5,5′- 四甲基-1,1′- 联苯	49. 94
酚类 Phenols	3- 甲基- 苯酚;4,6- 双(1,1- 二甲基乙基)-1,3- 对苯二酚;4- 甲基-2,6- 二叔丁基苯酚;双-2,2′- 亚甲基-4,4′- 甲基-6,6′- 叔丁基苯酚	5. 52
萘类 Naphthalenes	1-(2- 羟丙基)- 萘;1- 甲基- 萘;N- 苯基-1- 萘胺	8. 78
酰胺类 Amides	3- 丁烯酰胺;乳酰胺	0. 10
酮类 Ketones	3- 羟基-2- 丁酮;3- 甲基-4- 羟基-2- 丁酮;甲基异丙烯基甲酮;3- 甲基-2- 丁酮;4- 甲基-5- 乙基-3- 庚酮	0. 29
醛类 Aldehydes	辛醛	0. 06
其它类 Others	甲基二乙醇胺;吡咯;1- 甲基- 丁胺;1,2,4- 三唑	0. 19

表3 小麦根系分泌物的GC-MS鉴定结果
Table 3 GC-MS identification results of wheat root exudates

化合物类别 Compounds	名称 Name	总百分含量 Total contents/%
烃类 Hydrocarbons	癸烷;丙烯;甲基环丁烷;异丁烷;十二烷;2,5-二甲基-十一烷十四烷;[S-(E)]-2,2,3,7-四甲基-4-辛烯;2,3-二甲基-戊烷;十九烷;2,4-二甲基-2-癸烯;2,2,6,6-四甲基-庚烷;1,2-二甲基-3-(甲基乙基)-环戊烷;十七烷;十五烷;2,6,10-三甲基-十六烷;2-环己基-正辛烷;2,6,10,14-四甲基-2-十六烯;二十八烷;3,5,24-三甲基-四十烷;2,3,3-三甲基-辛烷;二十二烷;二十九烷;5-甲基-十八烷;3,3,4-三甲基-庚烷;	8.16
醇类 Alcohols	3-甲基-2-丁醇;丙三醇;环戊醇;2,4-戊二醇;2-己醇;环丁醇;2,4-二甲基-3-戊醇;2-十二烷醇;1-十二烷醇;3,4-二甲基-2-己醇;6-甲基-2-庚醇;5-甲基-己烯-2-醇;3,7-二甲基-1-辛醇;3,7-二甲基-3-辛醇;4-戊炔-2-醇	4.04
酸类 Acids	3-丁炔酸;丁酮二酸;N-乙酰丙氨酸;3-甲基-戊酸;丙二酸;异丁烯酸;邻苯二甲酸;草酸;2-氨基-5-甲基苯甲酸	5.83
酯类 Esters	1-甲基乙基甲酸酯;乙酸乙氧乙酯;亚硝酸异戊酯;甲酸丙酯;3-丁炔酸乙酯;烯丙基辛基草酸酯;3-甲基丁基-甲氧基乙酸酯;3-甲基丁基-丁酸酯;丙烯酸异丁酯;3-甲基丁基-环丁酸酯;异丁烯酸乙烯基酯;亚硫酸壬基戊基酯;乙酸辛酯;亚硫酸己基十一酯;1-环戊烷-戊酸酯;亚硫酸十二烷基-2-戊基酯;硬脂酸乙酯;邻苯二甲酸二(2-甲基丙基)酯;邻苯二甲酸二(2-甲基)酯;	7.67
苯类 Benzenes	乙苯;对二甲苯;乙烯苯;邻二甲苯;1,1'-亚甲基-双-(4-甲基)苯;2,2',5,5'-四甲基-1,1'-联苯	64.79
酚类 Phenols	苯酚;3-甲基苯酚;4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚;	5.81
萘类 Naphthalenes	1-甲基-萘;2-甲基-萘;N-苯基-2-萘胺	1.38
酰胺类 Amides	甲酰胺;4-甲基-2-氨基-戊酰胺;丙烯酰胺;3-丁烯酰胺	0.1
酮类 Ketones	2,3-丁二酮;3-戊酮;4-羟基-3-甲基-2-丁酮;甲基乙烯基甲酮;3,3,6,6,9-五甲基-3,4,5,6,7,9-六氢-二氢夹氧杂蒽-1,8-二酮	0.26
醛类 Aldehydes	4-戊烯醛;庚醛	0.14
其它类 Others	吡咯;1-甲基-1-(2-丙烯基)-联胼;2-乙基-N-乙基己基-1-正己胺;四氢化-2-甲氧呋喃;丙氨酸;亮氨酸;脯氨酸	0.53

2.4 高粱根系分泌物的成分

鉴定出高粱根系分泌物 80 种,结果见表 4,其中烃 19 种(7.29%),醇 16 种(6.15%),酸 6 种(4.02%),酯 10 种(5.51%),苯 7 种(28.29%),酚 2 种(3.75%),萘 2 种(0.89%),酰胺 3 种(0.09%),酮 7 种(6.67%),醛 3 种(0.15%),其它类 5 种(0.14%)。对二甲苯的相对含量最高(21.04%),其次是乙苯(7.06%);丙三醇、邻苯二甲酸和邻苯二甲酸二异丁基酯分别是醇类、酸类和酯类中相对含量最高的化合物,分别是 4.28%、3.87%和 4.86%;酚类中 4-甲基-苯酚的相对含量较高,占酚类的 66.7%;酮类以 3,4-二羟基-3,4-二甲基-2,5-己二酮为主,相对含量为 5.35%。

2.5 小麦、玉米、大豆、高粱根系分泌物的比较

由表 1~4 可知,用此法提取小麦、玉米、大豆和高粱的根系分泌物的种类基本相同,均含有烷烃、醇、酸、酯、苯、酚、萘、酰胺、酮、醛类化合物,但是其绝大部分的化合物成分和相对含量存在较大差异。

在成分上比较,4 种作物共有的主要化合物为丙三醇、2,4,-戊二醇、邻苯二甲酸、乙苯、对二甲苯、苯乙烯、4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚、甲基酚和一部分烷烃。二苯呋喃,芴,3-甲基-4-氧-戊酸,2-亚甲基-丁醛,3-羟基-丁醛,己醛,9,10-二氢-11,12-乙酰-9,10-桥亚乙基蒽等化合物是大豆根系分泌物中独有的主要成分;赤藓醇、雪松醇、草尿酸、甘油醛和月桂醛等是高粱独有的主要分泌物;曲酸,4,6-双(1,1-二甲基乙基)-1,3-对苯二酚,双-2,2'-亚甲基-4,4'-甲基-6,6'-叔丁基苯酚,1-(2-羟丙基)-萘等是玉米独有的主要化合物;丁酮二酸,苯酚,甲酰胺,4-甲基-2-氨基-戊酰胺等式小麦特有的主要成分。乳酰胺是玉米和高粱共有的主要产物;丙二酸,N-苯基-萘胺是小麦、玉米和高粱共有的主要产物,而大豆没有;在酯类化合物中,大豆根系分泌物中邻苯二甲酸酯的种类要多于其它 3 种作物;吡咯存在于小麦和玉米的分泌物中;小麦中氨基酸的种类较多。

表 4 高粱根系分泌物的 GC-MS 鉴定结果
Table 4 GC-MS identification results of sorghum root exudates

化合物类别 Compounds	名称 Name	总百分含量 Total contents/%
烃类 Hydrocarbons	5,5-二甲基-1-己烯;十二烷;1-戊烯;3,7-二甲基-壬烷;十四烷;3,8-二甲基-十一烷;4,5-二甲基-壬烷;十六烷;6-甲基-十三烷;十七烷;2,6,10,14-四甲基-十六烷;8-己基-十五烷;5-甲基-十八烷;二十烷基环己烷;2,6,10,15-四甲基-十七烷;二十一烷;二十烷;2,6,10,15-四甲基-十七烷;十八烷	7.29
醇类 Alcohols	赤藓醇;丙三醇;3-甲基-2,4-戊二醇;1-甲基-2-丙烯醇;2-甲基-1,3-丙二醇;4-戊烯-2-醇;2,4-戊二醇;4-甲基-2-戊醇;3-丁烯-1-醇;十二醇;5-甲基-1-庚醇;3-甲基-1-己醇;雪松醇;2-十八烷基-丙烷-1,3-二醇;1-十四醇;2-己基-1-癸醇	6.15
酸类 Acids	草尿酸;异丁烯酸;丙二酸;2-丁烯酸;5-羟基-2-己烯酸;邻苯二甲酸	4.02
酯类 Esters	2-甲氧基-乙酸乙酯;4-乙基-苯甲酸环戊基酯;丁内酯;异丁基甲酸酯;2-丙烯酸-2-甲基乙基酯;5-甲氧基-苯基戊酸酯;3-甲基丁基-戊酸酯;亚硫酸环己基甲基酯;(Z)-己酸-3-乙烯基酯;邻苯二甲酸二异丁基酯	5.51
苯类 Benzenes	乙苯;对二甲苯;乙炔苯;1-乙氧基-4-异丙基苯;4-(1-甲基乙基)-1,1'-联苯;2,2',5,5'-四甲基-1,1'-联苯;N-异丙基-2-丙胺-1-苯	28.29
酚类 Phenols	4-甲基-苯酚;4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚	3.75
萘类 Naphthalenes	2,6-双(1-甲基乙基)-萘;N-苯基-1-萘胺	0.89
酰胺类 Amides	3-丁烯酰胺;乳酰胺;(S)-2-氨基-4-甲基-戊酰胺	0.09
酮类 Ketones	环戊酮;苯乙酮;3-甲基-2-丁酮;异丙烯基-甲基酮;3,4-二羟基-3,4-二甲基-2,5-己二酮;3-戊酮;5-甲基-2-(1-甲基-1-苯乙基)-环己酮	6.67
醛类 Aldehydes	2-甲基-丁烯醛;甘油醛;月桂醛	0.15
其它类 Others	甲基二乙醇胺;2-氨基-1-丙醇;1-甲基-丁胺;2-甲基-四氢呋喃;5-壬胺	0.14

3 讨论

由 GC-MS 法鉴定 CH₂Cl₂提取的小麦、玉米、大豆、高粱根系分泌物,均鉴定出烷烃、醇、酸、酯、苯、酚、萘、酰胺、酮、醛等化合物成分。检测结果揭示了这 4 种作物的根系分泌物种含有多种化感物质,其中水溶性酸、直链醇,烯醇、酯类、醛、酮、苯、苯酚及其衍生物类等均为化感物质^[7-10]。韩丽梅等^[6]研究证实了大豆根系分泌物对大豆幼苗有一定的自毒作用,并且证实了邻苯二甲酸对大豆幼苗的生长有一定的化感作用^[11];柴强等^[12]证实邻苯二甲酸对小麦、玉米、鹰咀豆幼苗有一定化感效应;陈英等^[13]研究了间甲酚对小麦、玉米、蚕豆、鹰咀豆幼苗生长有一定的化感作用。

不同作物根系分泌物的种类,数量和性质差异极大,用 CH₂Cl₂作为溶剂也只能提取根系分泌物中的一部分,而这些物质间能够产生累加效应^[14-15]。根系分泌物在作物连作障碍中起直接或间接的作用,小麦和玉米耐连作,高粱和大豆不耐连作,通过对大豆、玉米、高粱、小麦根系分泌物的鉴定,得出大豆与其他 3 种作物共有和特有的化合物成分,其中共同分泌物主要有丙三醇、2,4,-戊二醇、邻苯二甲

酸、4-甲基-2,6-二叔丁基苯酚、甲基酚和一部分烷烃;特有的分泌物有二苯呋喃,茚,3-甲基-4-氧-戊酸,2-亚甲基-丁醛,3-羟基-丁醛,己醛,9,10-二氢-11,12-乙酰-9,10-桥亚乙基蒽等,其中邻苯二甲酸,甲基酚已被证实有化感作用,其他成分的研究很少。大豆连作障碍可能与其特有成分有直接或间接的关系,其化感作用有待于进一步探讨。

参考文献

[1] 连成才,鄂文顺,王诚,等. 三江平原大豆大面积高产高效益的综合技术[J]. 黑龙江农业科学,1991(1):34-40. (Lian C C, E W C, Wang C, et al. Synthesis technology of soybean high yield and high efficiency for large- scale plant in Sanjiang plain [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,1991(1):34-40.)
[2] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京:中国农业出版社,2000:160-166. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing China: Agricultural Press ,2000:160-166.)
[3] 王立祥. 耕作学[M]. 重庆:重庆出版社,2001:131-133. (Wang L X. Farming system[M]. Chongqing: Chongqing Press ,2001:131-133.)
[4] 许艳丽,韩晓增. 大豆重迎茬障碍研究[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1995:78-83. (Xu Y L , Han X Z. The research of obstacles soybean stubble [M]. Harbin: Harbin Engineering University Press,1995:78-83.)

[J]. 大豆科学,2002,21(1):14-17. (Zhang G R, Du W G, Man W Q, et al. Anatomy properties of pod walls of soybean varieties with high Photosynthetic rate[J]. Soybean Sciences,2002,21(1):14-17.)

[7] 张赫然,王学东,崔琳,等. 大豆叶片与豆荚光合作用结构的比较[J]. 东北农业大学学报,2007,38(4):436-440. (Zhang H R, Wang X D, Cui L, et al. Comparison of ultra structure of pods and blades in soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University,2007,38(4):436-440.)

[8] 赵艳丽,于龙凤,李芒雪,等. 大豆叶片和豆荚与衰老相关的某些生理特性比较[J]. 东北农业大学学报,2008,39(1):6-9. (Zhao Y L, Yu L F, Li M X, et al. Physiological characters comparison of decrepitude leaf blade and pod in soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2008,39(1):6-9.

[9] 章建新,薛丽华,李金霞. 麦叶丰化控对大豆鼓粒期非叶光合器官与粒重关系的影响[J]. 大豆科学,2008,27(1):74-78. (Zhang J X, Xue L H, Li J X. Chemical control alternates the contribution of non-leaf photosynthetic organs to seed yield in soybean [J]. Soybean Sciences,2008,27(1):74-78.)

[10] 苍晶,王学东,崔琳,等. 大豆豆荚与叶片的光合特性比较[J]. 中国农学通报,2005,21(2):85-87. (Cang J, Wang X D, Cui L, et al. Studies on photosynthetic characters of soybean pods blades

[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(2):85-87.)

[11] 刘洪梅,李英,卜贵军,等. 大豆豆荚光合物质转运与分配对籽粒发育的影响[J]. 核农学报,2008,22(4):519-523. (Liu H M, Li Y, Pu G J, et al. Effects of photosynthetic transportation and distribution in soybean pods on the development of soybean seeds [J]. Journal of Nuclear Agricultural Science,2008,22(4):519-523.)

[12] 杨阳,苍晶,王学东,等. 大豆豆荚光合特性及其对产量的贡献[J]. 东北农业大学学报,2008,39(12):51-56. (Yang Y, Cang J, Wang X D, et al. Photosynthetic characteristics of soybean pod and its contribution to yield [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2008,39(12):51-56.)

[13] 章建新,薛丽华,伊力哈木,等. 大豆始粒期荚遮光对荚、粒物质积累的影响[J]. 干旱区农业研究,2008,26(3):128-132. (Zhang J X, Xue L H, Yi L H M, et al. Effect of pod shading on pod and seed matter accumulation at soybean seed formation stage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2008,26(3):128-132.)

[14] Bort J, Brown R H, Araus L. Reification of respiratory CO₂ in the ears of C₃ cereals[J]. Journal of Experimental Botany,1996,47:1567-1575.

(上接第 1025 页)

[5] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京:北京农业大学出版社,1994:12-26,184-192. (Mao D R. Plant nutrition research methods [M]. Beijing:Beijing Agricultural University Press,1994:12-26,184-192.)

[6] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等. 大豆根系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. (Han L M, Wang S Q, Ju H Y, et al. Dentifition and study on allelopathy of soybean root exudates [J]. Soybean Science,2000,19(2):119-125.)

[7] 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. (Han L M, Wang S Q, Xiao L H. Analysis of organic compounds in continuous and alternate cropping soils around rhizosphere of soybean by GC-MC [J]. Jilin Agricultural Sciences,2005,30(4):6-8.)

[8] 孔垂华,胡飞. 植物化感(相生相克)作用及其应用[M]. 北京:中国农业出版社,2001:96-99. (Kong C H, Hu F. Allelopathic plants(allelopathy) and its application [M]. Beijing: Agricultural Press,2001:96-99.)

[9] 王立祥. 农作学[M]. 北京:科学出版社,2003:176-210. (Wang L X. Farming system [M]. Beijing: Science Press, 2003: 176-210.)

[10] Rice E L. Allelopathy [M]. (2nd edition), New York: Academic

Press,1984:309-315.

[11] 韩丽梅,王树起,鞠会艳,等. 吸附树脂提取的大豆根系分泌物种类的GC-MS 分析[J]. 大豆科学,2003,22(4):301-305. (Han L M, Wang S Q, Ju H Y, et al. GC-MS analysis on the kinds of soybean root exudates extracted with adsorption resin [J]. Soybean Science,2003,22(4):301-305.)

[12] 柴强,冯福学. 玉米根系分泌物的分离鉴定及典型分泌物的化感效应[J]. 甘肃农业大学学报,2007,42(5):43-48. (Chai Q, Feng F X. Identification of root exudation of *Zea mays* L. and allelopathy of 1,2-benzenedicarboxylic acid [J]. Journal of Gansu Agricultural University,2007,42(5):43-48.)

[13] 陈英,柴强. 小麦的根系分泌物及典型分泌物间甲酚的化感作用研究[J]. 兰州大学学报,2005,41(2):26-29. (Chen Y, Chai Q. Research on root exudates of wheat and allelopathic effect of typical exudation 3-niethyl-phenol[J]. Journal of Lanzhou University,2005,41(2):26-29.)

[14] Einhellig F A. Interactions involving allelopathy in cropping systems[J]. Agronomy Journal,1996,88:886-893.

[15] 柴强,黄高宝. 根系分泌物在不同种植模式中的化感效应研究[J]. 甘肃农业大学学报,2004,4(2):163-167. (Chai Q, Huang G B. Allelopathic effects of root exudates in different cropping patterns[J]. Journal of Gansu Agricultural University,2004,4(2):163-167.)