

# 马铃薯根系分泌物组分对不同种植模式的响应

谭雪莲, 郭天文, 马明生, 张平良

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃省水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**作物根系分泌物与作物连作障碍密切相关,为寻求减小作物连作障碍的途径,在轮作(大豆-马铃薯)、固定间作(马铃薯/大豆)和马铃薯连作3种植植模式下,分离鉴定了马铃薯根系分泌物的主要组分。结果表明:与轮作处理相比,固定间作和连作处理马铃薯根系分泌物种类分别增加了13.79%和17.24%,烷烃类物质的相对含量分别增加了52.17%和52.60%,酸类物质的相对含量分别增加了65.41%和14.79%。连作处理马铃薯根系分泌物中鉴定出乙胺、N-乙基吗啉和邻苯二甲酸二丁酯的相对含量分别为1.46%、2.87%和5%,而在轮作和间作处理中均未检测到。与轮作处理相比,间作和连作处理N,N-二乙基乙酰胺相对含量分别高出123.29%和47.95%,棕榈酸相对含量分别高出23.18%和40.0%,硬脂酸相对含量分别高出27.36%和39.80%。说明大豆-马铃薯轮作可有效降低马铃薯根系分泌物组分的种类和含量。因此,生产实践中,可通过大豆-马铃薯轮作克服因某一种马铃薯化感物质累积而造成的毒害作用。

**关键词:**马铃薯;种植模式;根系分泌物;分离鉴定

**中图分类号:**S532 **文献标识码:**A

## Response of potato root exudate components to different planting patterns

TAN Xue-lian, GUO Tian-wen, MA Ming-sheng, ZHANG Ping-liang

(Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Efficient Utilization of Water in Dry Farming, Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070)

**Abstract:** To explore the methods to reduce the continuous cropping obstacles, potato root exudate components were extracted and identified from three planting patterns of potato rotation with soybean, fixed intercropping of potato and soybean and continuous potato cropping. The results showed that compared with continuous potato cropping, root exudate components of fixed intercropping of potato and soybean and continuous potato cropping increased 13.79% and 17.24% respectively. Relative alkane contents increased by 52.17% and 52.60% respectively, and relative contents of organic acids increased by 65.41% and 14.79% respectively. 1.46% of ethylamine, 2.87% of n-ethyl morpholine, and 5% of dibutyl phthalate were assayed in the root exudates from continuous potato cropping, while nothing above was detected in rotation with soybean and fixed intercropping of potato and soybean. The contents of N,N-diethyl-acetamide were 123.29% and 47.95% higher, hexadecanoic acid were 23.18% and 40.00% higher, octadecanoic acid were 27.36% and 39.80% higher in fixed intercropping of potato and soybean and continuous potato cropping, compared with potato rotation with soybean. These indicated that potato rotation with soybean can reduce the variety and content of the potato root exudate components. Therefore, it can overcome the toxic effects due to the accumulation of a certain type of potato allelochemicals by the potato rotation with soybean in the production practice.

**Keywords:** potato; planting pattern; root exudates; extraction and identification

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是我国第四大粮食作物,已成为贫困边远地区农民脱贫致富和增加

收入的重要产业。随着马铃薯产业的快速发展和种植效益的不断提高,连作障碍问题日益凸显,出

收稿日期:2017-03-20

修回日期:2017-05-20

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD05B03);公益性行业(农业)科研专项(201503120);甘肃省农业科学院科技创新专项计划(2017GAAS28);国家重点研发计划课题(2016YFD0200101)

作者简介:谭雪莲(1979-),女,吉林桦甸人,助理研究员,主要从事作物抗旱生理方面的研究。E-mail:tanxuelian\_2002@163.com

通信作者:郭天文(1963-),男,山西山阴县人,研究员,主要从事植物营养和土壤肥料方面的研究。E-mail:guotw2007@hotmail.com

现了诸如土壤微生态环境恶化,有害微生物种群增加,病虫害加剧,土壤养分失调,产量和品质持续下降等一系列连作障碍问题<sup>[1-4]</sup>,严重阻碍了马铃薯产业可持续发展。引起作物连作障碍的原因是复杂的,是作物和土壤两个系统内部诸多因素综合作用结果的体现<sup>[5-6]</sup>。越来越多的研究表明,作物连作土壤根际微生态环境的生物学特性的变化,特别是化感效应可能是造成作物连作障碍的主要因子之一,而且对根际土壤的影响最为直接<sup>[7-8]</sup>。

化感物质的来源主要有植株地上部和凋落物的挥发、淋溶,根系的分泌和植株残体的分解等途径<sup>[9-11]</sup>。根系分泌物是植物发生化感作用的主要物质来源之一,从根系分泌物中发现的大部分化感物质对根际微生物的活力有很大影响<sup>[12]</sup>;同时,它们进入土壤后会对受体植物产生化感作用<sup>[13-14]</sup>。张爱华<sup>[13]</sup>等研究表明人参根系分泌物中的皂苷类成分对人参种子萌发、幼根生长和鲜质量均有抑制作用。张文明<sup>[15]</sup>等研究发现,马铃薯根系分泌物中含有的棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯显著抑制了马铃薯生长。曲晓华<sup>[16]</sup>研究发现,大豆根系分泌物中的2,4-二叔丁基苯酚和香草酸对土壤微生物有化感作用。拱健婷<sup>[17]</sup>等研究发现,三七根系分泌物对小麦地上部化感作用以促进为主,对根部生长则以抑制作用为主。Bains等<sup>[18]</sup>报道了芦荟分泌酚醛没食子酸并与根际微生物联合作用限制临近植物生长。黄瓜根系分泌物中含有苯甲酸、对羟基苯甲酸、2,5-羟基苯甲酸、苯丙烯酸等11种酚酸物质,其中10种对自身具有生物毒性<sup>[19]</sup>。郭修武<sup>[20]</sup>等研究发现,葡萄根系分泌物中含有的羟基苯甲酸和水杨酸对葡萄具有显著的化感抑制作用。

因此,植物根系分泌物通过化感作用抑制或促进作物生长,连作条件下根系分泌物的累积和化感作用的增强,可能会导致作物生长受阻,产生明显的连作障碍。马铃薯是忌连作物,目前对马铃薯的化感物质及化感作用机理需系统研究分析,以在明确马铃薯连作条件下根系分泌物化感作用机理的基础上,寻求克服连作障碍的技术途径。为此,本文依托大田定位试验,采用GC-MS技术研究马铃薯不同种植模式根系分泌物的主要种类及主要物质的变化规律,揭示马铃薯连作障碍发生的可能机理,为探索马铃薯抗连作的技术途径和物化产品提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在沿黄灌区甘肃省会宁县郭城镇红堡子

村布设的长期定位试验田进行。试验区海拔1536 m,年平均气温6.7℃,年均降雨量320 mm,年蒸发量1600 mm,≥10℃有效积温2400℃,年日照时数为2500~2800 h,光能资源丰富。土壤为灰钙土,土壤有机质9.8 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮17.3 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷20.6 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾95.2 mg·kg<sup>-1</sup>。2015年马铃薯生育期降水量为89.3 mm,平均温度20.4℃。

### 1.2 供试材料

供试马铃薯品种为克新2号,大豆品种为冀豆17,由甘肃省农业科学院提供。

### 1.3 试验设计

试验设3种植模式:大豆-马铃薯轮作6a、大豆/马铃薯间作6a、马铃薯连作6a;每个处理3次重复,9个小区,小区面积40 m<sup>2</sup>。带幅150 cm,100 cm起垄覆膜种植2行马铃薯,垄高30 cm,密度47625穴·hm<sup>-2</sup>,行距45 cm,穴距33 cm。大豆50 cm种植2行,密度为15万株·hm<sup>-2</sup>,行距40 cm。

### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 马铃薯根系分泌物的收集 每个处理每小区选3个点,在马铃薯现蕾期分别挖取植株2株,清理干净根系表面土壤,将每小区3个样点的植株混合,带回实验室,放入根系分泌物连续收集装置中,每处理重复3次。用蒸馏水反复连续淋洗根系,根系分泌物经XAD-4树脂吸附后,用甲醇洗涤液100 mL洗出根系分泌物(洗4次,每次25 mL),将甲醇提取液过0.45 μm醋酸纤维微孔滤膜,在35℃下旋转蒸发器浓缩至10 mL后,放入4℃冰箱中备用。

1.4.2 根系分泌物衍生化条件 将制备好的根系分泌物1 mL用氮吹仪吹干,干样经等量氯仿萃取后,静置分层,吸取氯仿层,干燥后加入30 μL N,O-双(三甲基硅烷基)三氟乙酰胺(N,O-bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide, BSTFA),于70℃烘箱中,反应1 h,取1 μL用于GC-MS进样分析。

1.4.3 GC/MS色谱及质谱条件 气相色谱-质谱联用仪(型号:GCMS 6890N/5973N;产地:上海;公司:俊齐仪器设备有限公司),配有Agilent G4513A自动进样器,Agilent DB-5MS毛细管柱(0.25 mm×30 m×0.25 μm),进样口温度为270℃。程序升温:起始温度60℃,以10℃·min<sup>-1</sup>速率升至280℃保持5 min。不分流进样,溶剂延迟5 min,载气为氦气,纯度≥99.999%,流速1.0 mL·min<sup>-1</sup>,进样量为1 μL。离子源温度为230℃,四级杆温度150℃,扫描模式为全扫描。通过Agilent色谱工作站检索NIST2008质谱数据库,结合人工图谱解析,进行物质的鉴定,按面

积百分比法计算测试样品中各组成成分的相对含量。

### 1.5 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和差异显著性检验(LSD)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植模式下马铃薯根系分泌物的鉴定

3 种不同种植模式马铃薯根系分泌物总离子质谱见图 1~3, 对图 1~3 中的总离子谱图通过计算机检索系统鉴定, 按照相似度大于 90%, 峰面积大于 500 000, 得到不同种植模式马铃薯根系分泌的主要物质见表 1。

马铃薯轮作处理根系分泌物 GC-MS 分析鉴定

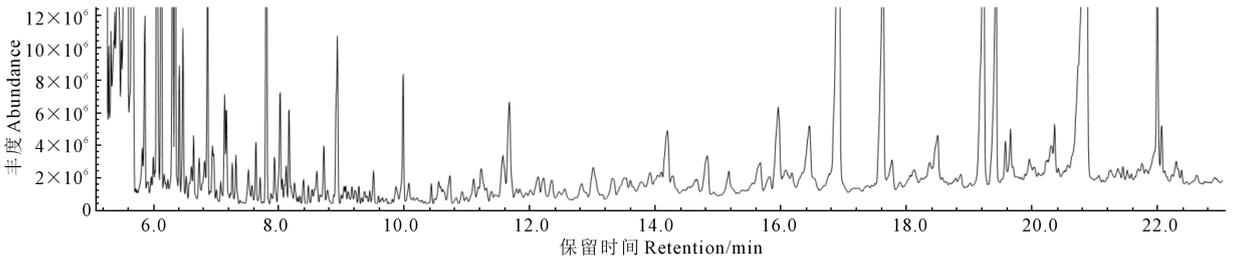


图 1 大豆-马铃薯轮作马铃薯根系分泌物总离子质谱图

Fig.1 GC-MS of total ion in potato root exudates under soybean and potato rotation cropping

薯豆固定间作处理马铃薯根系分泌物中鉴定出 30 种化合物(图 2 和表 1), 其中烷烃类 22 种、酸类 5 种、酯类 1 种、胺类 1 种、生物碱 1 种, 所占比例分别为 25.56%、7.94%、5.35%、1.63%、0.3%。主要物质是邻苯二甲酸-丁基-异丁酯、十甲基-四硅氧、棕榈酸、二十一烷、硬脂酸、二十五烷、3-甲基-十八烷, 相对含量分别为 5.35%、3.34%、3.08%、2.85%、2.81%、2.41%、2.04%, 其次是三十一碳烷、十五烷、N,N-二乙基乙酰胺、丙酸、二十四烷、正十四碳烷、N,N-二乙基氨基甲酸酯、二十烷、二十七烷, 相对含量分别为 1.86%、1.81%、1.63%、1.39%、1.36%、1.2%、1.19%、1.03%、1%。其他成分相对含量均在 1% 以下。间作处理根系分泌物中邻苯二甲酸-丁基-异丁酯、棕榈酸、硬脂酸、N,N-二乙基乙酰胺、丙酸等均被报道有化感作用。

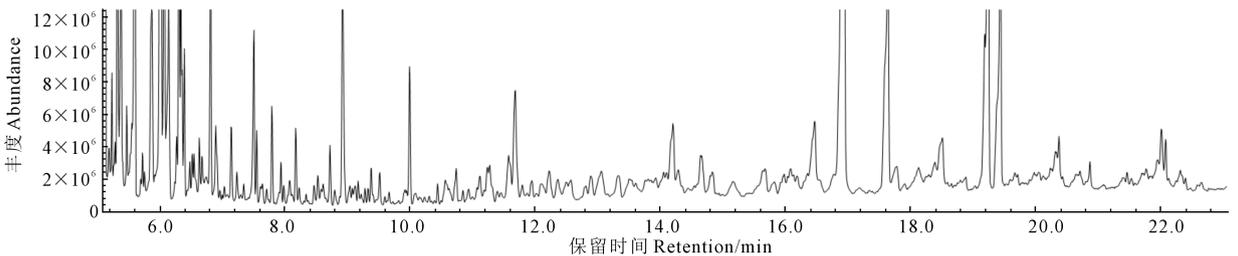


图 2 大豆/马铃薯套作马铃薯根系分泌物总离子质谱图

Fig.2 GC-MS of total ion in potato root exudates under soybean and potato interplanting

的主要物质, 经 MS 计算机检索, 按照相似度大于 90%, 鉴定出 29 种化合物(图 1 和表 1), 其中烷烃类 19 种、酯类 4 种、酸类 4 种、胺类 2 种, 所占比例分别为 16.16%、6.9%、4.8%、1.1%。主要物质是邻苯二甲酸二异丁酯、棕榈酸、硬脂酸, 相对含量分别为 3.47%、2.20%、2.01%; 其次是 3-甲基-十八烷、十甲基-四硅氧烷、二十一烷、廿六烷、二十烷、二十七烷、十七烷、氨基甲酸酯, 相对含量分别为 1.84%、1.76%、1.74%、1.68%、1.6%、1.44%、1.41%、1.16%。其他成分相对含量均在 1% 以下, 主要是烷烃类。马铃薯轮作处理根系分泌物中邻苯二甲酸二异丁酯、棕榈酸、硬脂酸、N,N-二乙基乙酰胺等均被报道有化感作用。

马铃薯连作 6 年的根系分泌物中鉴定出 30 种化合物(图 3 和表 1), 其中烷烃类 21 种、酯类 2 种、酸类 4 种、胺类 2 种、生物碱 1 种, 所占比例分别为 24.66%、7.87%、5.51%、2.54%、0.21%, 主要物质是邻苯二甲酸二丁酯、十甲基-四硅氧、N,N-二乙基氨基甲酸酯、棕榈酸、硬脂酸、二十五烷, 相对含量分别为 5%、3.74%、2.87%、2.71%、2.56%、2.42%; 其次是 3-甲基-十八烷、十四烷、四十四烷、乙胺、二十八烷、十八烷、十六烷、二十二烷、十五烷、二十七烷、N,N-二乙基乙酰胺, 相对含量分别为 1.95%、1.7%、1.69%、1.46%、1.41%、1.41%、1.34%、1.23%、1.17%、1.13%、1.08%。其他成分相对含量均在 1% 以下。马铃薯连作 6 年处理根系分泌物中邻苯二甲酸二丁酯、棕榈酸、硬脂酸、邻苯二甲酸-丁基-异丁酯、丙酸、N,N-二乙基乙酰胺等均被报道有化感作用。

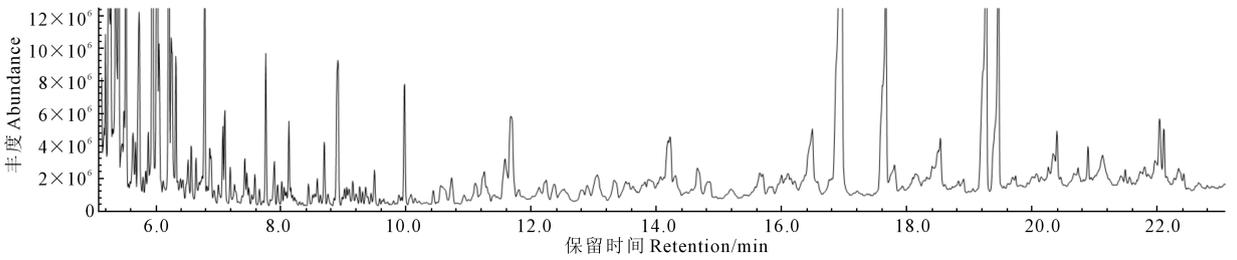


图3 连作6年马铃薯根系分泌物总离子质谱图

Fig.3 GC-MS of total ion in potato root exudates under continuous cropping for 6 years

## 2.2 不同种植模式对马铃薯根系分泌物的影响

由图3和表1可以看出马铃薯轮作、固定间作和连作处理分别鉴定出29种、33种和34种化感物质,其中有17种化合物在3种处理马铃薯根系分泌物中都被鉴定出来,但它们的相对含量有所不同,主要包括烷烃类、醇类、酯类、胺类、酸类和生物碱化合物,且烷烃类、酯类、酸类相对含量较高,平均为22.13%,6.7%,6.08%。说明马铃薯根系分泌物主要以结构较简单的直链或支链烷烃为主,结构相对复杂的醇、酯、酸类有机化合物较少。

固定间作和连作6年处理马铃薯根系分泌物种类比轮作处理分别增加了13.79%和17.24%,烷烃类物质的相对含量分别为25.56%和24.66%,比轮作分别高出58.17%和52.60%,其中,连作6年处理马铃薯根系分泌物中十六烷相对含量为1.34%,轮作处理中相对含量仅为0.36%;连作6年处理马铃薯根系分泌物中十四烷的相对含量为1.7%,固定套作处理中的相对含量为0.09%,在轮作处理中未检测到;四十四烷仅在连作6年处理马铃薯根系分泌物中检测到,相对含量为1.69%;十八烷在连作6年处理中为1.41%,在固定间作处理中为0.67%,而在轮作处理中未检测到。固定间作和连作6年处理马铃薯根系分泌物中酸类物质的相对含量分别为7.94%和5.51%,比轮作处理分别增加了65.41%和14.79%,其中,棕榈酸相对含量比轮作处理分别增加了40.00%和23.18%,硬脂酸相对含量比轮作处理增加了39.80%和27.36%。

连作6年处理马铃薯根系分泌物中鉴定出乙胺、N-乙基吗啉和邻苯二甲酸二丁酯的相对含量分别为1.46%,2.87%和5%,但在轮作和间作处理根系分泌物中均未鉴定出。N,N-二乙基乙酰胺、棕

桐酸、硬脂酸在轮作、间作和连作处理根系分泌物中均被鉴定出,固定间作和连作6年马铃薯根系分泌物中的N,N-二乙基乙酰胺相对含量比轮作分别高出123.29%和47.95%,棕榈酸含量比轮作分别高出23.18%和40.0%,硬脂酸含量比轮作分别高出27.36%和39.80%。

## 2.3 马铃薯几种根系分泌物及其标准物离子质谱比较

通过对几种疑似化感物质的标准物质离子质谱图进行比较分析,计算机检索系统鉴定出的马铃薯连作6年处理根系分泌物中乙胺匹配度达95%(图4),出峰时间为5.386 min,与乙胺标准物质离子质谱图以及出峰时间一致。N,N-二乙基乙酰胺在轮作、间作和连作6年处理马铃薯根系分泌物中匹配度达90%、91%和90%,出峰时间为5.874,与N,N-二乙基乙酰胺标准物质离子质谱图(图5)以及出峰时间一致。棕榈酸在3种植植方式马铃薯根系分泌物中鉴定的匹配度均达99%,出峰时间为17.646 min,与棕榈酸标准物质离子质谱图相似度达99%(图6),出峰时间一致。硬脂酸在3种植植方式马铃薯根系分泌物中鉴定的匹配度均达99%,出峰时间为19.445 min,与硬脂酸标准物质离子质谱图相似度达99%(图7),出峰时间一致。N-乙基吗啉在连作6年处理中匹配度达90%,出峰时间为6.316,与N-乙基吗啉标准物质离子质谱图(图8)以及出峰时间一致。邻苯二甲酸二丁酯在连作6年处理马铃薯根系分泌物中匹配度达97%,出峰时间为16.892 min,与邻苯二甲酸二丁酯标准物质离子质谱图(图9)以及出峰时间一致。可见,棕榈酸、硬脂酸、邻苯二甲酸二丁酯3种化合物与其标准物质离子质谱图相似度较高,均达97%以上。

表 1 不同种植模式马铃薯主要根系分泌物鉴定结果  
Table 1 Identification of main root exudates of potato under different planting pattern

物质种类 Sort of compounds	保留时间 Retention time/min	化合物 Compound	相对丰度 Relative amount/%		
			轮作 Rotation cropping	间作 Intercropping	连作 Continuous cropping
烷烃类 Alkanes	6.078	十甲基-四硅氧烷 Tetrasiloxane, decamethyl -	1.76b	3.34a	3.74a
	6.397	八甲基-三硅氧烷 Trisiloxane, octamethyl -	0.03b	0.59a	0.6a
	8.902	十六烷 Hexadecane	0.36b	-	1.34a
	11.102	9-辛基-十七烷 Heptadecane, 9-octyl -	-	-	0.47
	11.237	2-溴十四烷 2-Bromotetradecane	-	-	0.49
	11.679	十七烷 Heptadecane	1.41a	0.47c	0.94b
	11.685	十五烷 Pentadecane	0.07c	1.81a	1.17b
	11.122	2,6,10-三甲基-十四烷 Tetradecane, 2,6,10-trimethyl -	0.07b	0.34a	-
	13.335	2-甲基-十五烷 Pentadecane, 2-methyl -	0.09b	0.4a	-
	14.062	二十烷 Eicosane	1.6a	1.03b	0.41c
	14.204	十四烷 Tetradecane	-	0.09b	1.7a
	14.211	正十四碳烷 Tridecane	0.15b	1.2a	-
	15.168	廿三烷 Tricosane	-	0.66	-
	15.636	2,6,10,14-四甲基-十六烷 Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl -	-	-	0.44
	16.091	3-甲基-十八烷 Octadecane, 3-methyl -	1.84a	2.04a	1.95a
	16.465	二十一烷 Heneicosane	1.74b	2.85a	-
	16.471	四十四烷 Tetratetracontane	-	-	1.69
	18.114	二十八烷 Octacosane	0.62b	0.9b	1.41a
	18.135	二十四烷 Tetracosane	0.67b	1.36a	0.71b
	18.386	3-甲基-十七烷 Heptadecane, 3-methyl -	-	0.32a	0.48a
	18.393	二十二烷 Docosane	0.38b	0.97a	1.23a
	18.505	十八烷 Octadecane	-	0.67b	1.41a
18.515	二十七烷 Heptacosane	1.44a	1.00b	1.13b	
20.327	廿六烷 Hexacosane	1.68a	0.32b	0.31b	
20.653	十九烷 Nonadecane	0.53b	0.93a	-	
21.957	二十五烷 Pentacosane	0.8b	2.41a	2.42a	
22.011	三十一碳烷 Hentriacontane	0.92b	1.86a	0.62b	
		合计 Total	16.16b	25.56a	24.66a
		平均 Mean		22.13	
胺类 Amine	5.386	乙胺 Ethylamine	-	-	1.46
	5.874	N,N-二乙基乙酰胺 Acetamide, N,N-diethyl -	0.73c	1.63a	1.08b
	21.271	N-(2-碘代苯基)-苯磺酰胺 N-(2-Iodo-phenyl)-benzenesulfonamide	0.37	-	-
		合计 Total	1.1b	1.63a	2.54a
		平均 Mean		1.76	
酸类 Acids	6.261	丙酸 Propanoic acid	-	1.39	-
	6.485	乙酸 Acetic acid	-	-	0.1
	9.350	丁二酸 Butanedioic acid	-	0.24a	0.14a
	15.182	1,4-苯二羧酸 1,4-Benzenedicarboxylic acid	0.23	-	-
	17.646	棕榈酸 Hexadecanoic acid	2.20c	3.08a	2.71ab
	20.870	脱氢枞酸 Dehydroabietic acid	-	0.42	-
	19.445	硬脂酸 Octadecanoic acid	2.01c	2.81a	2.56ab
	19.594	十八碳二烯酸 9,12-Octadecadienoic acid 9,12-	0.36	-	-
	合计 Total	4.8bc	7.94a	5.51b	
	平均 Mean		6.08		
酯类 Ester	6.316	氨基甲酸酯 Carbamate	1.16	-	-
	6.227	N-乙基吗啉 N,N-Diethyl carbamate	-	-	2.87
	15.969	邻苯二甲酸异丁基辛酯 Phthalic acid, isobutyl octyl ester	0.82	-	-
	16.940	邻苯二甲酸二异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	3.47	-	-
	16.892	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	-	-	5.0
	16.947	邻苯二甲酸-丁基-异丁酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	-	5.35	-
	22.011	邻苯二甲酸二异辛酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	1.45	-	-
	合计 Total	6.9b	5.35c	7.87a	
	平均 Mean		6.7		
生物碱 Alkaloid	12.358	12-羟基-15-甲基-石松胺-5-酮(石松灵碱) Lycopodan-5-one, 12-hydroxy-15-methyl -	-	0.3	0.21
		平均 Mean		0.17	

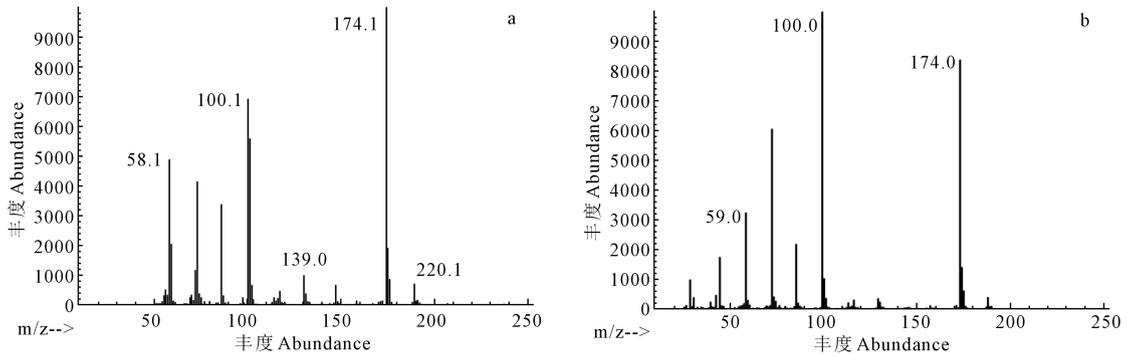


图 4 乙胺标准物质 (a) 和样品离子质谱图 (b)

Fig.4 GC-MS of ion of ethylamine standard substance (a) and sample (b)

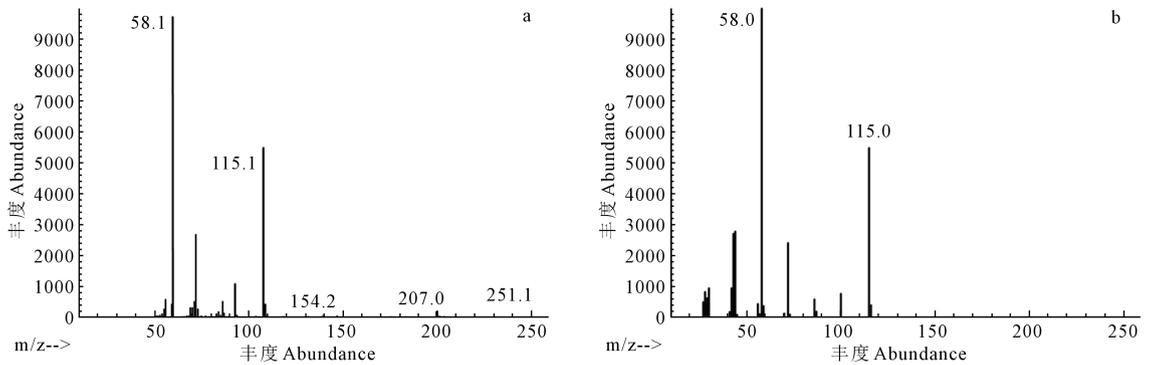


图 5 N,N-二乙基乙酰胺标准物质 (a) 和样品 (b) 离子质谱图分析

Fig.5 GC-MS of ion of N,N-diethyl-acetamide standard substance (a) and sample (b)

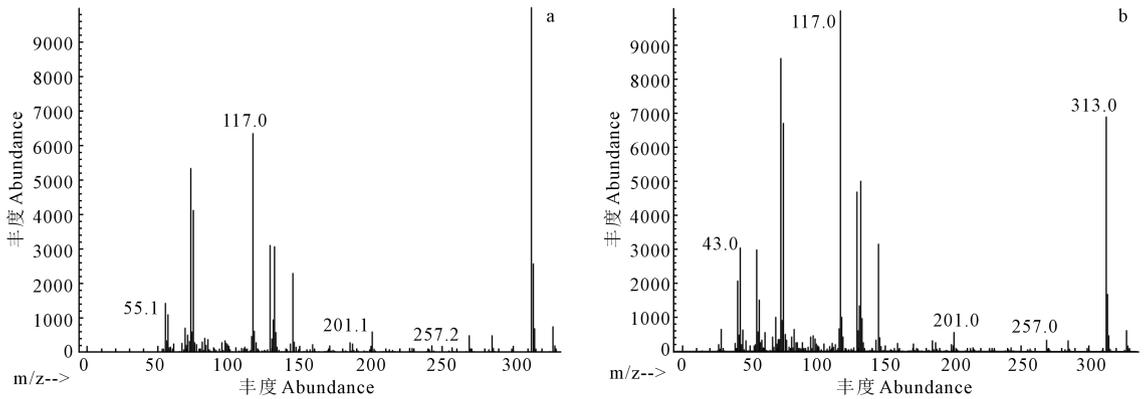


图 6 棕榈酸标准物质 (a) 和样品 (b) 离子质谱图分析

Fig.6 GC-MS of ion of hexadecanoic acid standard substance (a) and sample (b)

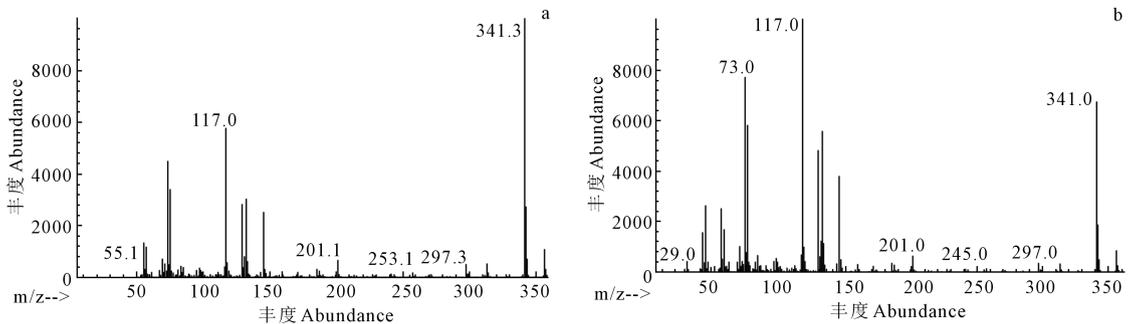


图 7 硬脂酸标准物质 (a) 和样品 (b) 离子质谱图分析

Fig.7 GC-MS of ion of octadecanoic acid standard substance (a) and sample (b)

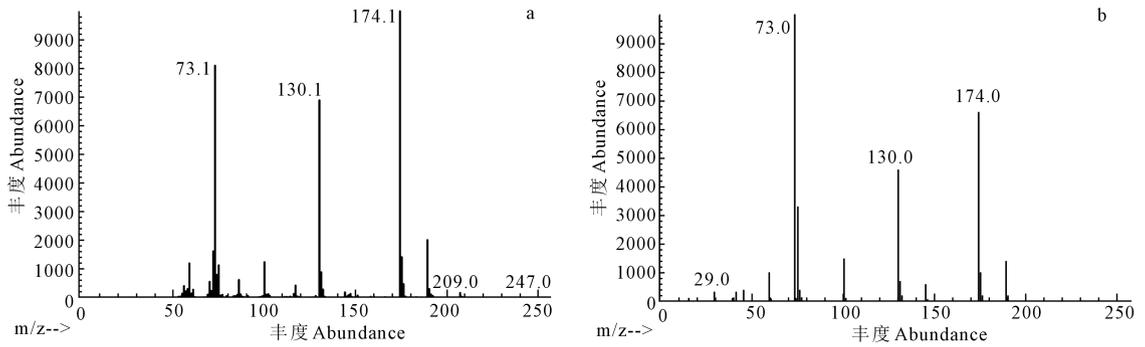


图 8 N-乙基吗啉标准物质 (a) 和样品 (b) 离子质谱图分析

Fig.8 GC-MS ion mass chromatogram of N,N-Diethyl carbamate of standard substance (a) and sample (b)

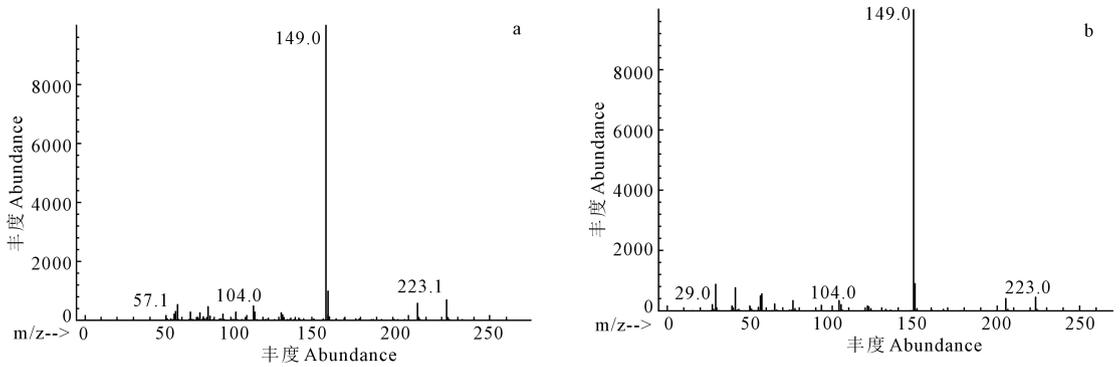


图 9 邻苯二甲酸二丁酯标准物质 (a) 和样品 (b) 离子质谱图分析

Fig.9 GC-MS of ion of dibutyl phthalate standard substance (a) and sample (b)

### 3 讨论

马铃薯根系分泌物中存在化感物质已有报道,并且棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯这 2 种化感物质已被证实具有化感自毒效应<sup>[14]</sup>,然而,根系分泌物中含有大量化感物质,这并不能证明已检测出来的化感物质就是真正起决定性作用的化感物质。根系分泌物的组成复杂,不同植物的根系分泌物种类不同,但通常都有烃类、酸类、酯类等化合物<sup>[20]</sup>。本研究结果表明,马铃薯根系分泌物主要包括烷烃类、酯类、胺类、酸类和生物碱化合物,且烃类、酯类、酸类相对含量较高,这与上述的研究结论一致,但马铃薯根系分泌物主要以结构较简单的直链或支链烷烃为主的研究还未见报道。Larkin<sup>[22]</sup>和张文明<sup>[23]</sup>认为,马铃薯连作后,土壤中有有机酸类物质、特别是直链饱和脂肪酸的积累是导致马铃薯产量下降的原因之一。本研究中,固定间作和连作 6 年马铃薯根系分泌物中总酸类物质的相对含量高于轮作处理,并且直链饱和脂肪酸棕榈酸和硬脂酸的相对含量显著高于轮作处理,与上述研究结论一致。

根据各物质的相对含量及相关文献报道,本研

究鉴定出的 4 种根系分泌物棕榈酸、硬脂酸、邻苯二甲酸二丁酯、N,N-二乙基乙酰胺在花生<sup>[24]</sup>、人参<sup>[12,25]</sup>、辣椒<sup>[26]</sup>、茄子等作物上已被广泛报道,并被证明具有化感作用,且棕榈酸和邻苯二甲酸二丁酯在马铃薯自毒物质研究中已有报道<sup>[23]</sup>,而本研究鉴定出的化感物质 N,N-二乙基乙酰胺、硬脂酸在马铃薯化感物质中还未见报道,是否会对马铃薯生长有抑制作用还有待进一步研究,同时,鉴定出的乙胺和 N-乙基吗啉是否为化感物质还有待进一步验证。根系分泌物的种类很多,可能还有一些分泌量较少,毒性较强的物质没有被检测出来,进一步系统研究这些物质成分,以及他们对植物以及相互间的作用,对阐明马铃薯根系分泌物化感作用的本质有重要作用。

### 4 结论

不同种植模式下马铃薯根系分泌物中有 17 种化合物均被鉴定出,主要以结构较简单的直链或支链烷烃为主,还包括酯类、胺类、酸类和生物碱等化合物。大豆-马铃薯轮作模式较大豆/马铃薯间作和马铃薯连作模式可有效降低根系分泌物中烷烃类、

酸类、胺类等种类的含量。连作处理根系分泌物中鉴定出乙胺、N-乙基吗啉和邻苯二甲酸二丁酯,而在轮作和间作处理中均未检测到。间作和连作处理鉴定出N,N-二乙基乙酰胺、棕榈酸、硬脂酸相对含量均高于轮作处理。因此,生产实践中,可通过大豆-马铃薯轮作克服因某一种马铃薯化感物质累积而造成的毒害作用。

#### 参考文献:

- [1] 刘星,邱慧珍,王蒂,等.甘肃省中部沿黄灌区轮作和连作马铃薯根际土壤真菌群落的结构性差异评估[J].生态学报,2015,35(12):3938-3948.
- [2] 马玲,马琨,杨桂丽,等.马铃薯连作栽培对土壤微生物多样性的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(5):589-596.
- [3] 白艳茹,马建华,樊明寿.马铃薯连作对土壤酶活性的影响[J].作物杂志,2010,(3):34-36.
- [4] 李继平,李敏权,惠娜娜,等.马铃薯连作田土壤中主要病原真菌的种群动态变化规律[J].草业学报,2013,22(4):147-152.
- [5] Seheffknecht S, Mammerler R, Steinkellner S, et al. Root exudates of mycorrhizal tomato plants exhibit a different effect on micro conidia germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici than root exudates from non-mycorrhizal tomato plants[J]. Mycorrhiza, 2006,16:365-370.
- [6] 曹莉,秦舒浩,张俊莲,等.轮作豆科牧草对连作马铃薯田土壤微生物菌群及酶活性的影响[J].草业学报,2013,22(3):139-145.
- [7] 侯永侠,周宝利,吴晓玲,等.辣椒秸秆腐解物化感作用的研究[J].应用生态学报,2006,17(4):699-702.
- [8] 王延平,王华田.植物根分泌的化感物质及其在土壤中的环境行[J].土壤通报,2010,41(2):501-507.
- [9] 张婷玉,林多,杨延杰.辣椒根系分泌物的收集方法研究[J].北方园艺,2014,(12):14-17.
- [10] 孙海燕,王炎.辣椒根系分泌的潜力化感物质对生菜幼苗抗氧化代谢的影响[J].植物生理学报,2012,48(9):887-894.
- [11] Gao Y, Li J S, Apahidean ALS. The study of priming of carrot seed on solid mediym[J]. Buletin University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj-Napoca, Romania, 2005,62:31-35.
- [12] Ye SF, Yu JQ, Peng YH, et al. Incidence of *Fusarium* wilt in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin in root exudates[J]. Plant and Soil, 2004,263:143-150.
- [13] 张爱华,彭洪利,雷锋杰,等.人参根系分泌物的提取及鉴定[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(7):191-196.
- [14] 程智慧,徐鹏.百合根系分泌物的GC-MS鉴定[J].西北农林科技大学学报(自然科学版).2012,40(9):202-208.
- [15] 张文明,邱慧珍,张春红,等.马铃薯根系分泌物成分鉴别及其对立枯丝核菌的影响[J].应用生态学报,2015,26(3):859-866.
- [16] 曲晓华,赵晓燕,马杰,等.大豆根系分泌物中特定物质对土壤微生物活性的影响[J].福建农业学报,2015,30(3):298-302.
- [17] 拱健婷,张子龙,王雄飞.不同氮素水平下三七根系分泌物对小麦的化感作用[J].浙江农业学报,2014,26(2):356-361.
- [18] Bains G, Kumar AS, Rudrappa T, et al. Native plant and microbial contributions to a negative plant-plant interaction[J]. Plant physiology, 2009,151(4):2145-2151.
- [19] Yu J Q, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. Journal of Chemical Ecology, 1994,20:21-31.
- [20] 郭修武,李坤,孙英妮,等.葡萄根系分泌物的化感效应及化感物质的分离鉴定[J].园艺学报,2010,37(6):861-868.
- [21] 刘欣宇,霍姗姗,陈歆,等.植物根系分泌物的组成及分析方法研究进展[J].中国热带农业,2015,(3):100-106.
- [22] Larkin R P. Characterization of soil microbial communities under different potato cropping systems by microbial population dynamics, substrate utilization, and fatty acid profiles[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003,35(11):1451-1466.
- [23] 张文明,邱慧珍,张春红,刘星,高怡安,沈其荣.连作马铃薯不同生育期根系分泌物的成分检测及其自毒效应[J].中国生态农业学报,2015,23(2):215-224.
- [24] 王小兵,路永明,刘五星,等.花生根分泌物的鉴定及其化感作用[J].生态学杂志,2011,30(12):2803-2808.
- [25] 黄小芳,李勇,丁万隆.人参根系分泌物对种子萌发的自毒效应[J].种子,2009,28(10):4-7.
- [26] 耿广东,张素勤,程智慧.辣椒根系分泌物的化感作用及其化感物质分析[J].园艺学报,2009,36(6):873-878.