

大豆重迎茬减产的原因及农艺对策研究^{*}

—重迎茬大豆的根际土壤有机化合物

何志鸿^{1,2}, 刘忠堂^{2,3}, 许艳丽⁴, 韩晓增⁴

(1. 黑龙江省科技厅, 哈尔滨 150001; 2. 国家大豆工程技术研究中心, 哈尔滨 150050; 3. 黑龙江省农科院, 哈尔滨 150086; 4. 中国科学院东北地理农业生态研究所, 哈尔滨, 150040)

摘要: 大豆重迎茬种植, 根际土壤有机化合物的种类与正茬有较大的区别, 这些有机化合物主要来自大豆的根系分泌物、根茬腐解物和根际土壤微生物的分泌物, 对于大豆的生长发育及土壤微生物区系有不利的影响。

关键词: 大豆; 重迎茬; 根际; 有机化合物

中图分类号: S 565.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2003)05-0001-05

Study on the Reason Reducing Production of Soybeans Planted Continuously and the Way to Get More Output — Organic Compound of Rhizosphere Soil

HE Zhi-hong^{1,2}, LIU Zhong-tang^{2,3}, XU Yan-li⁴, HAN Xiao-zeng⁴

(1. Science and Technology Department of Heilongjiang Province, Harbin, 150001; 2. National Research Center of Soybean Engineering and Techniques of China, Harbin, 150050; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086; 4. Northeast Institute of Geography and Agriculture Ecology, CAS, Harbin, 150040)

Abstract: There was a significant difference between continuous soybeans and rotation soybeans in organic compounds of rhizosphere soil. The organic compounds came mainly from the secretion of root system, rotten of stubble and secretion of micro-organism. All of those matter effected badly on growing and developing of continuous soybeans.

Key words: soybean; continuous and alternate culture; root secretion; stubble rotten

本文旨在探讨根际土壤有机化合物的组成、变化以及对大豆生长发育的影响, 确定其在影响重迎茬大豆生产的诸多因素中的地位与作用, 以便为提出减缓重迎茬大豆产量损失的农艺对策提供依据。

1 研究方法

本课题设立重迎茬对大豆产量和品质的影响、原因与机理、农艺对策、轮作体系和技术示范 5 个专

题 13 个子专题, 在全省 5 个生态区设立 9 区固定轮作场圃 9 个和田间试验区多处, 并辅以必要的框区和盆栽试验, 进行必要的实验室试验分析研究, 同时在 24 个主产县(市、农场)进行大面积的生产调查; 1996~2000 年在前期的 5 个生态区 9 个固定轮作试验场圃, 由中国科学院黑龙江农业现代化研究所、黑龙江省农业科学院、东北农业大学、黑龙江八一农垦

^{*} 收稿日期: 2003-03-20

基金项目: 本项研究为 1993 年黑龙江省科技攻关招标课题, 主持人江修业; 1994-1996 年黑龙江省科技攻关重大项目(G94B05-04-01), 主持人刘忠堂、何志鸿、江修业; 1995-2000 年国家“九五”重中之重科技攻关课题“大豆大面积高产综合配套技术研究开发与示范”03 专题(95-001-05-03)之 01 子专题, 主持人刘忠堂、何志鸿、许艳丽

第一作者简介: 何志鸿(1942-), 男, 辽宁省黑山县人, 研究员, 主要从事大豆育种、栽培研究和科技管理。

大学等单位进一步进行研究的基础上,又增加了6个县(市、农场)作为核心试验基点、17个县(市、农场)作为重点示范区,通过招标,聘请中国农业大学、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国农业科学院生防所、解放军军需大学和沈阳农业大学参加根系分泌物和根际微生物以及生物防治方面部分内容的研究工作,采取试验场圃定点观测调查、实验室分析测试、中试车间开发生产、试验区试验示范、生产田推广应用相结合的方法进行研究与开发。

2 结果与分析

2.1 不同茬口土壤中的有机化合物

采用 GC6890/MS5973 对根区和根际土壤与土壤微生物无水乙醇提取物、根系分泌物和根茬腐解物的二氯甲烷提取物进行 GC—MS 分析(见表1)。根区和根际土壤的有机化合物种类很多,无水乙醇提取液中检测到酸、醇、酯、酮、醛、酚、烃等12类有

机化合物。

从表1可见,播前正茬与重茬根区土壤中有有机化合物的类别差异很大:没有大豆根系分泌物的正茬土壤中的有机化合物为5类13种,而含有前茬大豆根系分泌物的重茬土壤中的有机化合物多达10类65种,而且只有4种化合物与正茬土壤相同。含有大豆根系分泌物的土壤出现了正茬大豆土壤中所没有的醛、苯、炔类物质;在二者都能检出的酸、醇、酯、酮类物质中出现了多种新的化合物。

结荚期正茬土壤有10类70种有机化合物,重茬土壤有12类83种,其中酸、醇、酮、酚等8类有机化合物为二者共有,但相同的只有22种。即同类者高达66.6%以上,但同种的不到1/3。可见大豆根系分泌物和根茬腐解物向土壤中注入了多种新的有机化合物;重茬种植增加了根际土壤中的有机化合物种类。

表1 不同茬口土壤中的有机化合物种类

时期	茬口	酸	醇	酯	酮	醛	萘	酚	苯	呋喃	烃			其它	合计	
											烷	烯	炔		类	种
播种前	正茬	3	4	2	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	5	13
	重茬	6	13	6	4	4	0	4	2	0	15	9	0	2	10	65
	正重相同	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
结荚期	正茬	1	16	6	2	1	2	2	0	1	30	9	0	0	10	70
	迎茬	1	10	6	2	1	2	1	1	1	35	7	0	5	12	72
	重茬	2	16	5	1	2	5	2	1	0	24	14	1	10	12	83
	正重相同	1	4	1	1	0	2	2	0	0	5	6	0	0	8	22
	正迎相同	0	2	1	0	0	1	1	0	1	9	5	0	0	7	20
	重迎相同	0	2	1	0	0	2	1	0	0	3	4	0	0	6	13

注: 据 95—001—05 课题 03—01 子专题之 2—7 项招标内容—解放军军需大学研究结果整理、绘制。

结荚期迎茬土壤中有两年前遗留下来的根茬,此时迎茬根际土壤比正茬多了根茬腐解物,但是由于已经过上一年腐解,所以产生的腐解物要少于重茬大豆根际土壤。比较正、迎、重三种茬口大豆的根际土壤有机化合物,可以看出其构成种类迎茬与正茬相同者多于迎茬与重茬相同者,这表明迎茬大豆土壤有机化合物主要来自大豆根系分泌物。

虽然结荚期重茬和正茬根际土壤中都有根系分泌物,但是重茬大豆土壤比正茬土壤增加了根茬腐解物。重茬大豆土壤比正茬大豆土壤有机化合物种类丰富,说明此时土壤中多种类的有机化合物大部分来自大豆根茬腐解物。

比较重茬和正茬大豆土壤不难发现,重茬土壤中酮、醛、苯、酚、酸、萘的种类增加,甚至有的是正茬土壤中所无,重茬土壤中独有。它们可能是根系分泌物和根茬腐解物对大豆起化感作用的重要因素。

试验结果表明根系分泌物对大豆有不良的化感作用,并已证明产生化感作用的主要成分就是酚、酸等物质。

2.2 不同来源的根际土壤有机化合物

2.2.1 不同生长时期的大豆根系分泌物 将预先在1/2强霍格兰—阿农营养液中培养2周和8周的大豆幼苗移至CaCl₂溶液中培养4h,再用CH₂Cl₂提取根洗液,提取液用色谱质谱仪分析,通过计算机检索进行未知物的鉴定。

共检测出酸、醇、酯等有机化合物8类124种,其中2周幼苗培养液中检出7类58种,8周幼苗培养液中检出7类79种。两种培养液中检出相同的有机化合物6类13种。8周幼苗培养液与2周幼苗培养液相比较,检出物中酸类和酯类物质种数下降,醇类和烃类物质种数增加,醛类和酮类物质种数变化不大,但并不是同种物质。2周培养液中检出1种

表 2 不同时期大豆根系分泌物的种类

培养时间 (周)	酸	醇	酯	醛	酮	酚	烃类		苯	合计	
							烷	烯		类	种
2	10	6	8	2	2	1	21	8	0	7	58
8	1	13	5	2	1	0	48	8	1	7	79
种类相同	0	3	2	0	0	0	5	3	0	6	13
合计	11	16	11	4	3	1	64	13	1	8	124

注: 据 95—001—05 课题 03—01 子专题之 2—7 项招标内容—解放军军需大学研究结果整理、绘制。

酚类物质, 8 周培养液中检出 1 种苯类物质(见表 2)。从这一检测和试验结果可以看出, 在大豆生长发育的不同时期(2 周和 8 周), 根系分泌物的种类不尽相同, 而且差别较大, 8 周培养液较 2 周培养液中减少了酸类、酯类和酚类物质的种数。2 周根系分泌物较 8 周根系分泌物显著地抑制了大豆胚根生长, 表明这些化合物对重迎茬大豆具有毒害作用。

2.2.2 不同腐解条件的大豆根茬腐解产物 大豆根茬在酸性和碱性条件下腐解, 产物有许多不同。酸性腐解液中含有的醛、酚类化合物, 在碱性腐解液

中不存在; 碱性腐解液中的酯、萘、苯类化合物, 在酸性腐解液中也不存在; 即使是两种腐解液中都存在的酸、醇、烷、烯类化合物, 也只是类别相同, 具体的化合物也不尽相同。酸性条件下腐解 4 周的产物中, 含有 7 种有机酸, 碱性条件下腐解 4 周的产物中只有 1 种有机酸, 而且不与酸性腐解液中的任何一种有机酸相同; 在酸性 4 周腐解液的 35 种烷烃和碱性 4 周腐解液的 38 种烷烃, 总计 63 种烷烃中, 相同的只有 10 种, 不足 20%(见表 3)。可见土壤的酸碱度(pH 值)将对根茬腐解产物影响很大。

表 3 不同腐解时间大豆根际微生物的组成

处理	酸	醇	酯	酮	醛	萘	酚	苯	烃		其它	合计	
									烷	烯		类	种
酸性条件下腐解 (pH= 2)													
2周	3	5	0	0	0	0	0	0	19	2	0	4	29
4周	7	10	0	1	1	0	1	0	35	10	2	8	67
碱性条件下腐解 (pH= 12)													
2周	2	4	0	0	0	3	0	3	17	1	0	6	30
4周	1	7	1	1	0	0	0	0	38	8	1	7	57
pH= 2时 2 周与 4 周 根际微生物相同种数	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	6
pH= 12时 2 周与 4 周 根际微生物相同种数	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	1

注: 据 95—001—05 课题 03—01 子专题之 2—7 项招标内容—解放军军需大学研究结果整理、绘制。

2.2.3 不同腐解时间的大豆根茬腐解产物 根茬腐解 4 周较腐解 2 周产物的类与种都增加, 酸性条件腐解, 增加了酮、醛、酚类化合物, 碱性条件腐解, 增加了酯、酮类化合物; 同时, 酸、醇、烷、烯类化合物的种数也增加了许多。

同在酸性条件下腐解, 4 周腐解液中比 2 周腐解液中多了 4 类 38 种有机化合物, 虽然有酸、醇、烷、烯等 4 类化合物相同, 但真正相同的只有 2 种醇、4 种烷烃。同样是碱性条件下腐解, 腐解 4 周的产物较腐解 2 周的产物中, 多了酯类、酮类, 少了萘类、苯类。虽然两种腐解液中都含有酸类、醇类和烷烃、烯烃, 但是, 增加了 3 种醇类、21 种烷类、7 种烯类化合物, 特别是烷、烯类化合物增加得很多。这说明在同样的条件下, 不同时期根茬腐解的产物不同; 随着根

茬的进一步腐解, 有些早期的腐解产物由结构复杂的酸、萘、苯类有机化合物分解或降解成结构简单的烷、烯类有机化合物(见表 3)。由此可以说明为什么大豆根茬初期腐解物的构成成分没有后期腐解物复杂, 但是初期腐解物对大豆的化感抑制作用却强于后期腐解物。

2.2.4 不同种类土壤微生物的分泌物 从大豆根际土壤中最具优势的真菌类群中, 筛选、分离出 3 株优势菌株, 它们对于大豆有很强的致病性。接种 22 d, 3 株优势菌株都使大豆发生根腐病, 程度达到 2 级。对其分泌物进行 GM—MS 分析, 符合系数大于 75% 的化合物有烷烃、烯烃、酸、酚、醇、酮、醛、酯、胺、腈类物质, 含有乙酸、丙二酸、十八烷烯醇等多种可能有化感作用的物质。其主要毒素种类如表 4

所示。可见不同微生物的分泌物是不同的, 因此对于重迎茬大豆的影响也就不同。

表 4 大豆根腐病 3 种病原菌的主要毒素及其致病性

菌株号	菌属	株种	毒素中的主要化合物	引发病株危害等级		
				20 d	32 d	50 d
29	镰刀菌	半裸镰孢菌	2, 2, 3- 三甲基- 1, 1- 环丙烷二腈; 2, 3- 二甲基- 丁二腈	1	3	3
30	粘帚菌	粉红粘帚菌	2, 2, 3- 三甲基- 1, 1- 环丙烷二腈; 2- 氨基- 1- 丙基- 1, 1, 3- 三腈; 1- 乙基- 2- 硝基苯; 苯丙酮腈; 2- 甲基- 苯丙腈; 3- 甲基- 苯丙腈	0	2	3
43	镰刀菌	尖镰孢菌	2, 2, 3- 三甲基- 1, 1- 环丙烷二腈; 2- 氨基- 1- 丙基- 1, 1, 3- 三腈; (1, 2- 二甲基丙基) 丙二腈	3	3	3

注: 据 95- 001- 05 课题 03- 01 子专题之 2- 7 项招标内容- 解放军军需大学研究结果整理、绘制。

2.3 土壤有机化合物对重迎茬大豆的影响 (见表 5)。这种受抑制现象同样在重茬大豆中发生,

2.3.1 不同来源的土壤有机化合物对大豆的影响 可见重迎茬大豆生长发育不良和产量降低与根际土壤中的有机化合物以及根系分泌物、根茬腐解物、微生物分泌物有关。应用邻苯二甲酸等酚酸类化学试剂进行模拟试验, 得到了与上述 3 种物质相一致的结果, 可见根际土壤有机化合物中对大豆有化感抑

表 5 不同来源的土壤有机化合物对大豆的影响

来源	根长 (cm)		株高 (cm)		地下部分干(鲜)重(g)		地上部分干(鲜)重(g)		根系活力		产量	
	对照	处理	对照	处理	对照	处理	对照	处理	对照	处理	对照	处理
土壤有机化合物 ¹⁾	100. 0	90. 2	100. 0		100. 0		100. 0		100. 0		100. 0	
大豆根系分泌物 ¹⁾	100. 0	81. 1	100. 0		100. 0		100. 0		100. 0		100. 0	
大豆根茬腐解物 ²⁾	100. 0	80. 8	100. 0		100. 0	37. 3	100. 0	82. 7	100. 0	70. 4	100. 0	75. 4 [#]
根际土壤微生物 ³⁾	100. 0	47. 3	100. 0	52. 2	100. 0		100. 0		100. 0		100. 0	73. 8
邻苯二甲酸 ¹⁾	100. 0	52. 6	100. 0	43. 2	100. 0	89. 2	100. 0	34. 7	100. 0		100. 0	
重茬大豆 ²⁾	100. 0		100. 0	90. 0	100. 0	100. 0	100. 0	75. 7	100. 0		100. 0	

注: 据 1) 95- 001- 03- 1- 2- 7 解放军军需大学试验结果, 2) 95- 001- 05- 3- 2- 1- 7 中国农业大学试验结果, 3) 95- 001- 05- ZB03 中国科学院沈阳应用生态研究所试验结果、[#] 95- 001- 03- 1- 2- 7 解放军军需大学试验结果计算、绘制。

制作用的成分中包含酚酸类物质。 力都受到了抑制。药剂浓度越大, 受抑制越严重, 而且这类化感物质浓度越高, 抑制作用越强 (见表 6)。

2.3.2 酚酸类有机化合物对大豆的化感作用 各类根际土壤有机化合物中都含有的丙二酸和邻苯二甲酸, 在培养液中加入一定浓度的这两种化学药剂培养大豆, 结果药剂浓度超过 0. 05 g/L 的各处理大豆的胚根长度、根干重、植株地上部分干种、根系活

表 6 两种酚酸类化学药剂对大豆生长的影响

酚酸	浓度 (g/L)	胚根长 (cm)	根干重 (g/株)	地上干重 (g/株)	株高 (cm)	根系吸收面积		活跃吸收面积	
						总面积	活跃面积	%	差异
丙二酸	CK	3. 89a	0. 067a	1. 557a	57. 7a	0. 4731	0. 2103	44. 46	A
	0. 01	3. 60ab	0. 059a	1. 328b	55. 5ab	0. 4465	0. 1608	36. 01	B
	0. 05	3. 34ab	0. 050b	1. 161b	50. 3bc	0. 4169	0. 1009	31. 29	C
	0. 10	3. 15ab	0. 047b	1. 124c	47. 2c	0. 3549	0. 1049	29. 56	D
	0. 20	2. 96ab							
	0. 50	2. 83b	0. 035c	0. 486d	21. 7d				
邻苯二甲酸	CK	4. 96a	0. 074a	1. 402a	46. 3a	0. 7260	0. 3277	45. 14	A
	0. 01	3. 13b	0. 068ab	1. 329a	44. 3a	0. 8576	0. 2737	31. 92	B
	0. 05	2. 92bc	0. 067ab	1. 145b	41. 6ab	0. 7380	0. 2302	31. 19	B
	0. 10	2. 61bc	0. 066ab	0. 963c	37. 8b	0. 2008	0. 0431	19. 90	C
	0. 20	2. 34bc	0. 060b	0. 487d	20. 0c	0. 0557	0. 0015	2. 69	D
	0. 50	2. 28bc	0. 042c	0. 468d	死亡	死亡			

注: 据 95- 001- 05 课题 03- 01 子专题 2- 7 项招标内容- 解放军军需大学试验结果整理、绘制。

大豆的化感作用基本一致,证实了丙二酸和邻苯二甲酸等酚酸类化合物是大豆的化感抑制物。

2.3.3 重迎茬大豆的酚酸类化感物质 生育期间,正、重茬大豆土壤中的对羟基苯甲酸和香草酸都随着生育进程而降低,但重茬土壤中这两种酚酸的含量始终是重茬高于正茬;正茬大豆土壤中香草醛的含量变化不规律,重茬大豆土壤中的香草醛随大豆的生育进程而增加,结果是大豆的生育初期正茬高于重茬,生育中期以后重茬高于正茬(见表7)。根际土壤中酚酸类物质含量增高是重茬大豆生长发育受阻、产量降低的一个原因。

表7 重茬与正茬大豆生育期间根际土壤酚酸含量
($\mu\text{g/g}^{\circ}\text{N NaOH}$)

时间	对羟基苯甲酸		香草酸		香草醛	
	正茬	重茬5年	正茬	重茬5年	正茬	重茬5年
5月	7.00	8.58	18.66	21.74	2.95	2.81
7月	4.38	5.92	13.96	17.50	1.82	2.92
9月	3.67	5.97	10.69	16.81	2.60	3.57

注:据95-001-05课题03-01子专题ZB03项招标内容—中科院沈阳应用生态研究所研究结果整理、绘制。

3 讨论

3.1 土壤中的有机化合物,因所用的提取与分析方法的不同而不同^[1~5],试验研究所得到的产物,主要有蛋白质、氨基酸、多糖、酚酸、酶等类物质,而且各类物质的种类和数量因为大豆的重迎茬种植而与正茬有明显的不同。本文所报道的是无水乙醇和二氯甲烷提取物的色谱—质谱联合测定的结果,为酚、酸、醛、烃等类物质。

3.2 酚酸类有机化合物对大豆有明显的化感抑制作用^[3~5],重迎茬大豆根际土壤中酚酸类有机化合物不仅种类比正茬大豆增加,而且数量也增加,因此对大豆的生长发育产生了不利影响。所以含有能够产生化感抑制作用的酚酸类物质的根系分泌物、根茬腐解物和微生物分泌物都是重迎茬大豆减产的原因。

3.3 根际土壤有机化合物中,生长2周的大豆植株的根系分泌物对大豆的抑制作用大于4周大豆植株的根系分泌物;腐解4周的大豆根茬腐解物对大豆的抑制作用大于腐解8周的大豆根茬腐解物,而且

不同腐解时间的腐解产物有许多不同;重茬大豆播前根际土壤有机化合物较正茬大豆生育期间明显地减少了种类和数量,表明根系分泌物分泌到根际土壤中之后会发生变化;生育期间重茬大豆土壤中有有机化合物较迎茬大豆丰富,表明上一年的根茬腐解物无变化地留存到下一年已经不是很多。从这几方面可以看出,早期的土壤有机化合物对大豆有较大的抑制作用;第二、根际土壤中的有机化合物在土壤—植物—微生物体系的作用下不断地发生转化、降解。因此,也可以说重迎茬大豆受根际土壤有机化合物的不利影响,主要发生在生育前期,特别是幼苗期;对重迎茬大豆产生较大影响的也主要是当年的根系分泌物、根茬腐解物和微生物分泌物。

3.4 大豆根际土壤有机化合物主要来自大豆的根系分泌物、根茬腐解物和根际微生物分泌物^[1,2,6,7,8]。这三者是互相影响的。大豆重迎茬种植,首先是上一年土壤里残存的根茬和根茬腐解物刺激了大豆幼根,使根系分泌物发生与正茬大豆不同的变化,根系分泌物又对根际土壤微生物产生影响,影响了其区系构成以及活性和分泌物,再由区系发生变化的微生物的活动反过来影响根茬的腐解及其产物,影响大豆植株的生长发育及其根系的分泌物,直至影响大豆的产量。

参考文献:

[1] 许艳丽,韩晓增.大豆重迎茬研究[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1995.

[2] 韩晓增,许艳丽.大豆重迎茬减产控制与主要病虫害防治技术[M].北京:科学技术出版社,1999.

[3] 古谷雅树.植物生理讲座 第五卷 物质交换与运输[M].北京:科学出版社,1979.

[4] E. W. 腊塞尔,谭世文,林振骥,郭公佑,译.土壤条件与植物生长[M].北京:科学出版社,1979.

[5] F. B. 索尔兹伯里,C. 罗斯.植物生理学[M].北京:科学出版社,1979.

[6] 何志鸿,刘忠堂,许艳丽,等.大豆重迎茬减产的原因及农艺对策研究—重迎茬大豆减产的主要原因[J].黑龙江农业科学,2003(2):1-4.

[7] 何志鸿,刘忠堂,许艳丽,等.大豆重迎茬减产的原因及农艺对策研究 III 重迎茬大豆的病虫危害[J].大豆科学,2003,22(1):40-44.

[8] 何志鸿,刘忠堂,许艳丽,等.大豆重迎茬减产的原因及农艺对策研究 IV 重迎茬大豆的土壤养分与养分吸收[J].大豆科学,2003,22(2):120-126.