

小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应*

于建光^{1,2} 顾元^{1,2,3} 常志州^{1,2†} 李瑞鹏^{1,2,3}

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

(2 江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 南京 210014)

(3 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要 通过设置小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻种子发芽和幼苗生长发育影响试验, 明确小麦秸秆对水稻的化感效应。水稻种子萌发试验采用平板培养法, 水稻生长发育试验采用砂培法。试验结果表明: 与对照相比, 小麦秸秆浸提液和腐解液均显著降低水稻种子的发芽指数和植株生物量、叶绿素含量以及根系活力 ($p < 0.05$), 同时显著增加水稻植株丙二醛含量 ($p < 0.05$); 小麦秸秆腐解液对水稻的化感效应强于秸秆浸提液, 小麦秸秆叶部浸提液对水稻的化感效应强于茎秆浸提液, 小麦秸秆 15 d 腐解液对水稻的化感效应强于 7 d 腐解液; 4 种浸提液或腐解液 5 倍稀释后均减缓了对水稻发芽和植株生长发育的抑制作用。小麦秸秆浸提液和腐解液的总酚酸含量均较高, 含量介于 90.80 ~ 222 mg L⁻¹, 且总酚酸含量与水稻植株鲜重、根系活力、叶绿素以及水稻发芽指数显著负相关, 而与水稻植株丙二醛含量显著正相关。小麦秸秆浸提液和腐解液均对水稻产生化感效应, 其作用强度与秸秆腐解方式、秸秆不同部位及腐解时间有关, 同时小麦秸秆化感效应的产生与浸提液和腐解液中的酚酸含量有关。

关键词 小麦秸秆; 浸提液; 腐解液; 水稻; 化感效应

中图分类号 S512.1

文献标识码 A

秸秆还田作为一项有效的秸秆处置措施被广泛采用, 秸秆还田技术以及还田效应在国内外也被长期、大量地研究并报道^[1-2]。长期秸秆还田不仅能增加土壤中养分, 改善土壤结构, 增加作物产量, 而且具有良好的环境与生态效应^[3]。在长江中下游稻麦轮作区, 小麦收获后由于茬口时间短、季节紧, 大量麦秸还田不仅困难, 而且对水稻的生长发育产生不利影响。

由植物毒素引起的作用也常称为化感作用 (Allelopathy), 植物残体导致的化感作用在全世界广泛存在, 涉及水稻^[4]、向日葵、高粱^[5]、香脂草^[6]、豌豆^[7]、紫花苜蓿^[8]、菊芋^[9]等, 植物常通过活体分泌或残体腐解释放化感物质而起作用^[10]。当前的麦秸还田技术主要围绕克服还田麦秸的物理性障碍、养分固定以及构建快腐菌群等而开展, 而对麦秸化感效应的研究远远不够。前人研究发现小麦秸秆粉抑制了马铃薯的生长^[11], 甚至未风化的冬小麦秸秆对自身秧苗生长发育也产生抑制^[12], 而有关小麦秸秆对水

稻化感效应的研究还鲜有报道。基于上述认识, 本文拟通过测定小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻种子萌发和幼苗生长发育的影响, 进而明确小麦秸秆对水稻的化感效应, 旨在将秸秆化感效应调控引入秸秆还田技术实践, 进而更有效地指导农业生产。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试小麦秸秆采自江苏省农业科学院小麦试验基地, 供试水稻品种为南粳 47。选取成熟干燥未腐烂小麦秸秆, 部分秸秆按叶、茎分开并粉碎至 2 ~ 5 cm 左右, 部分秸秆整株粉碎至 2 ~ 5 cm 左右。小麦秸秆浸提液和腐解液分别通过下述方法获得: E_L, 成熟小麦叶纯水浸提液, 将小麦叶与水以 1:30 (质量 g: 体积 ml) 在 30℃ 下浸提 48 h 静置过滤获得; E_S, 成熟小麦茎秆纯水浸提液, 将小麦茎秆与水以 1:30 (质量 g: 体积 ml) 在 30℃ 浸提 48 h 静置过

* 国家自然科学基金面上项目 (41271308)、江苏省自然科学基金面上项目 (BK2011672) 和江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX (12) 1002] 资助

† 通讯作者: 常志州, 研究员, E-mail: czhizhou@hotmail.com

作者简介: 于建光 (1975—), 男, 山西忻州人, 博士, 副研究员, 研究方向为农业废弃物处理与处置。E-mail: yujg@jaas.ac.cn

收稿日期: 2012-06-15; 收到修改日期: 2012-11-13

滤获得;D₇,小麦秸秆 7 d 腐解液,将小麦秸秆、土壤和纯水以 1:1:30(质量 g:质量 g:体积 ml)振荡混合在 30℃ 淹水培养 7 d 后静置过滤获得;D₁₅,小麦秸秆 15 d 腐解液,将小麦秸秆、土壤和纯水以 1:1:30(质量 g:质量 g:体积 ml)振荡混合在 30℃ 淹水培养 15 d 后静置过滤获得。

1.2 试验方法

水稻种子萌发试验采用平板培养测定法,设置 4 个小麦秸秆浸提液和腐解液主处理,同时主处理中设 2 个浓度梯度,分别为 20% 稀释液(液液比)、原浸提液或腐解液,另设 1 个对照处理(清水)。每个浓度梯度 4 次重复,共计 36 个培养皿。将上述秸秆浸提液或腐解物各 10 ml 置于已加滤纸的培养皿中,各培养皿中加入约 30 粒经 3% H₂O₂ 消毒 30 min 的水稻种子,置于 25℃ 恒温培养 3d,测定种子发芽率和发芽指数。

水稻幼苗生长发育试验采用砂培法,石英砂经稀酸浸泡后,再经清水多次浸泡冲洗后灭菌、烘干备用。设置 4 个小麦秸秆浸提液和腐解物主处理,同时主处理中设 2 个浓度梯度,分别为 20% 稀释液(液液比,含 Hoagland 营养液成分)、原浸提液或腐解液(含 Hoagland 营养液成分),另设 1 个对照处理,只加 Hoagland 营养液。浸提液和腐解液中各种 Hoagland 营养液成分通过在其中添加 1 000 倍 Hoagland 单一成分而获得,Hoagland 营养液配方参见文献[13]并略作修改。每个浓度梯度重复 4 次,共计 36 个盆钵,容器为直径约 20 cm,高 20 cm 的塑料盆钵,每盆钵装石英砂 1.5 kg。将经过 3% H₂O₂ 消毒 30 min、浸种催芽的水稻种子播于含 50% Hoagland 营养液的石英砂盆钵中,7 d 后选取大小均匀的水稻幼苗移栽于各处理盆钵中,每盆移栽 10 颗水稻幼苗,各处理盆钵分别添加上述含 Hoagland 营养成分的小麦秸秆浸提液或腐解物,对照处理只添加 Hoagland 营养液进行培养;所有处理盆钵加 500 ml 液体,含水量为 25%。所在盆钵置于人工气候室培养 30 d,培养条件为白天 30℃,夜间 25℃。培养过程中每隔 3 d 添加纯水并称量保持砂培盆钵中水分含量相等。30 d 后所有培养盆钵破坏性采样,测定水稻植株鲜重、叶绿素含量、根系脱氢酶和丙二醛含量等生长发育指标。

1.3 分析测定

水稻种子发芽率 = 发芽终期正常发芽的种子总数/供试种子总数,水稻种子发芽指数 $GI = (\text{处理平均发芽率} \times \text{处理平均根长}) / (\text{对照平均发芽率} \times$

对照平均根长)^[14]。水稻植株的鲜重通过将新鲜植株按地上地下部分别称重获得,植株叶绿素含量采用丙酮比色法,根系活力采用 TTC 比色法,植株丙二醛含量采用硫代巴比妥酸法^[15]。浸提液和腐解液总酚酸含量采用比色法^[16];浸提液和腐解液样品经过硫酸钾消解后,采用紫外分光光度法测定全氮,钼酸铵分光光度法测定全磷,火焰光度法测定全钾。化感效应指数 $RI = 1 - C/T (T \geq C)$, $RI = T/C - 1 (T < C)$,其中 C 为对照值, T 为处理值, $RI > 0$ 为促进作用, $RI < 0$ 为抑制作用,绝对值的大小与强度一致^[17]。

1.4 数据处理

数据统计分析采用 Excel 2007 和 PSS11.5 软件进行。

2 结果

2.1 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻种子萌发的影响

与对照相比,小麦秸秆浸提液和腐解液均降低了水稻种子的发芽率和发芽指数,且发芽指数所受抑制作用强于发芽率,其降幅显著($p < 0.05$);以发芽指数表征,小麦秸秆腐解液对水稻发芽的抑制能力远大于小麦秸秆浸提液,表明秸秆腐解后相比直接浸提对水稻发芽的抑制作用强。4 种小麦秸秆浸提液和腐解液经 5 倍稀释后均减缓了对水稻发芽的抑制,其中 E_s 和 D₇ 经稀释后水稻发芽指数恢复显著($p < 0.05$),E_s 浸提液稀释 5 倍后对水稻发芽的抑制作用几乎消失;化感效应指数的比较也表明,4 种小麦秸秆浸提液和腐解液均对水稻种子发芽产生抑制作用,且腐解液的抑制作用强于浸提液(表 1)。

2.2 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻幼苗生长的影响

施用小麦秸秆浸提液和腐解液砂培水稻后,均显著降低了水稻地上部和地下部生物量的累积($p < 0.05$)。4 种秸秆浸提液和腐解液中,小麦秸秆 15 d 腐解液对水稻生长的抑制作用最强,小麦茎秆纯水浸提液对水稻幼苗生长的抑制作用最弱。而小麦秸秆 7 d 腐解液和小麦叶纯水浸提液的作用介于两者之间,化感效应指数比较也表明小麦秸秆腐解液的抑制作用强于浸提液。4 种浸提液和腐解液经 5 倍稀释后均减缓了对水稻地上和地下部生物量的抑制作用,其中 D₁₅ 稀释 5 倍施用后对地上部的抑制作用显著降低($p < 0.05$),但均未使水稻的生物量恢复到对照水平(表 2)。

表 1 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻种子萌发的影响

Table 1 Germination rate and index of rice seeds treated with wheat straw water extract and decomposition liquids

处理 Treatments	种子发芽率 Seeds germination rate		种子发芽指数 Seeds germination index (GI)	
	发芽率	化感效应指数	发芽指数	化感效应指数
	Germination rate (%)	Response index (RI)	Germination index (GI)	Response index (RI)
CK	92.50 ± 5.00a	—	1.00 ± 0.21a	—
E _L	81.25 ± 8.54a	-0.12	0.56 ± 0.08cd	-0.44
E _S	83.75 ± 11.09a	-0.09	0.65 ± 0.19bc	-0.35
D ₇	78.75 ± 14.36a	-0.15	0.31 ± 0.12e	-0.69
D ₁₅	85.00 ± 10.00a	-0.08	0.39 ± 0.02de	-0.61
20% E _L	81.25 ± 4.79a	-0.12	0.72 ± 0.05bc	-0.28
20% E _S	87.50 ± 2.89a	-0.05	0.99 ± 0.08a	-0.01
20% D ₇	82.50 ± 8.66a	-0.11	0.79 ± 0.15b	-0.21
20% D ₁₅	86.25 ± 13.77a	-0.07	0.60 ± 0.09bcd	-0.40

注: E_L、E_S、D₇、D₁₅ 分别表示成熟小麦叶纯水浸提液、成熟小麦茎秆纯水浸提液、小麦秸秆 7 d 腐解液、小麦秸秆 15 d 腐解液, 下同; 同列不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$, 下同 Notes: E_L, E_S, D₇ and D₁₅ stands for pure water extract of mature wheat leaves, pure water extract of mature wheat stalks, 7 d wheat straw decomposition liquid and 15 d wheat straw decomposition liquid, respectively; The same below; Values in the same column followed by different lowercase are significantly different at $p < 0.05$ using Duncan' test, and the same below

表 2 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻苗期生物量的影响

Table 2 Effects of the extracts and liquids on rice biomass during the seedling stage

处理 Treatments	水稻地上部 Rice shoot		水稻地下部 Rice root		水稻地下部/地上部 Root/Shoot	
	鲜重	化感效应指数	鲜重	化感效应指数	根冠比	化感效应指数
	Fresh weight (g)	Response index (RI)	Fresh weight (g)	Response index (RI)	Root shoot ratio	Response index (RI)
CK	8.97 ± 0.63a	—	4.15 ± 1.03a	—	0.46 ± 0.09a	—
E _L	4.83 ± 0.73bcd	-0.46	2.01 ± 0.71bc	-0.51	0.41 ± 0.12ab	-0.10
E _S	6.06 ± 1.14b	-0.32	2.08 ± 0.50bc	-0.50	0.34 ± 0.04ab	-0.26
D ₇	4.44 ± 0.54cd	-0.51	1.28 ± 0.23c	-0.69	0.29 ± 0.05b	-0.37
D ₁₅	3.99 ± 0.31d	-0.56	1.24 ± 0.24c	-0.70	0.32 ± 0.01ab	-0.30
20% E _L	5.38 ± 0.81bc	-0.40	2.10 ± 0.11bc	-0.49	0.45 ± 0.06a	-0.02
20% E _S	6.08 ± 1.12b	-0.32	2.72 ± 0.23b	-0.34	0.37 ± 0.09ab	-0.19
20% D ₇	5.11 ± 0.13bcd	-0.43	1.79 ± 0.07c	-0.57	0.38 ± 0.10ab	-0.18
20% D ₁₅	5.27 ± 0.63bc	-0.41	1.89 ± 0.47bc	-0.54	0.37 ± 0.12ab	-0.21

相比于对照, 施用秸秆浸提液和腐解液也使水稻植株根冠比下降, 各处理水稻植株根冠比下降程度依次为 D₇ > D₁₅ > E_S > E_L, 其中小麦秸秆腐解液使水稻根冠比的下降幅度更明显, 施用小麦秸秆 7 d 腐解液后水稻根冠比下降幅度显著 ($p < 0.05$)。4 种浸提液和腐解液经 5 倍稀释后均提高了水稻根冠比, 但其值均低于对照 (表 2)。

2.3 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻植株幼苗生理生化过程的影响

相较于对照, 施用小麦秸秆浸提液和腐解液后均显著降低了水稻植株叶绿素 a、叶绿素 b 以及总

叶绿素的含量 ($p < 0.05$), 均使其值降低 50% 以上, 其中小麦秸秆腐解液对水稻植株叶绿素含量的抑制作用要大于小麦叶和茎秆浸提液; 施用小麦秸秆浸提和腐解的稀释液均有助于提高水稻植株中叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素的含量, 其中腐解液稀释 5 倍对水稻植株叶绿素 a 和总叶绿素含量的恢复效果显著 ($p < 0.05$) (表 3)。

与对照相比, 小麦秸秆浸提液和腐解液施用后均显著增加水稻植株丙二醛含量 ($p < 0.05$), 其含量上升幅度均达 4 倍以上, 其中施用小麦秸秆腐解液相比施用小麦秸秆浸提液更易增加水稻植株丙二醛含量。

4 种浸提液和腐解液经 5 倍稀释后施用均有助于降低水稻植株丙二醛含量,其中 E_L 、 D_7 和 D_{15} 稀释后施用对水稻丙二醛含量的降幅显著 ($p < 0.05$),但均未恢复到与对照处理含量相当的水平(表 3)。

相比于对照,施用小麦秸秆浸提液和腐解液均显著降低了水稻植株的根系活力 ($p < 0.05$),降幅

均在 50% 以上,其中秸秆腐解液施用的水稻根系活力所受影响远大于秸秆浸提液。4 种小麦秸秆浸提液和腐解液经 5 倍稀释后施用均减缓了对水稻幼苗根系活力的影响,其中小麦秸秆腐解液稀释 5 倍后施用使水稻根系活力显著增加 ($p < 0.05$),但仍未能恢复到对照水平(表 3)。

表 3 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻植株生理生化指标的影响

Table 3 Effects of the extracts and liquids on physiological and biochemical indices of the treated plants

处理 Treatments	叶绿素 a Chlorophyll a		叶绿素 b Chlorophyll b		总叶绿素 Total chlorophyll		丙二醛 Malondialdehyde		根系活力 Root activity	
	含量 Content (mg g ⁻¹)	RI	含量 Content (mg g ⁻¹)	RI	含量 Content (mg g ⁻¹)	RI	含量 Content (nmol g ⁻¹)	RI	活力 Activity (TTC, μg g ⁻¹ h ⁻¹)	RI
	CK	4.47a	—	1.89a	—	6.06a	—	9.74d	—	4.70a
E_L	1.91bc	-0.57	0.74b	-0.61	2.64bcd	-0.56	44.65ab	0.78	1.47bc	-0.69
E_S	1.96bc	-0.56	0.80b	-0.58	2.76bcd	-0.54	40.71bc	0.76	1.83b	-0.61
D_7	1.56d	-0.65	0.79b	-0.58	2.33d	-0.62	48.91a	0.80	1.06c	-0.77
D_{15}	1.82cd	-0.59	0.60b	-0.68	2.41cd	-0.60	49.38a	0.80	0.99c	-0.79
20% E_L	2.03bc	-0.54	0.90b	-0.52	3.07b	-0.49	34.31c	0.72	1.82b	-0.61
20% E_S	2.06bc	-0.54	0.81 b	-0.57	2.87bc	-0.53	32.30c	0.70	1.90b	-0.60
20% D_7	2.03bc	-0.55	0.83b	-0.56	2.87bc	-0.53	33.68c	0.71	1.73b	-0.63
20% D_{15}	2.12b	-0.52	0.83b	-0.56	2.89b	-0.52	32.67c	0.70	1.84b	-0.6

注:RI 指化感效应指数 Note: RI means response index

2.4 酚酸和养分含量与水稻生长发育间的关系

小麦秸秆 4 种浸提液和腐解液的总酚酸含量均较高,含量介于 90 ~ 222 mg L⁻¹ 间,其中叶部浸提液的含量最高,茎秆浸提液、秸秆 7 d 和 15 d 腐解液的含量差异不大(表 4)。相关性分析显示小麦秸秆浸提液和腐解液总酚酸含量与水稻植株地上部鲜重、地下部鲜重、根系活力、叶绿素以及水稻发芽指数之间呈显著或极显著负相关 ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$),

而与水稻植株丙二醛含量之间呈极显著正相关 ($p < 0.001$)(表 5),表明小麦秸秆不同浸提液或腐解液对植株生理生化过程产生抑制与腐解液中总酚酸含量有关。但令人不解的是,尽管 4 种浸提液和腐解液中 E_L 的总酚酸含量最高,约是 E_S 、 D_7 和 D_{15} 的 2 倍,但其对水稻植株鲜重、叶绿素含量、发芽指数的抑制作用低于 D_7 和 D_{15} ,对植株中丙二醛含量的促进作用也低于 D_7 和 D_{15} 。

表 4 不同小麦秸秆浸提液和腐解液配制砂培养液中总酚酸及养分含量

Table 4 Total phenolic acids and contents of nitrogen, phosphorus and potassium in culture media prepared out of different extracts and liquids

处理 Treatments	总酚酸 Total phenolic acids (mg L ⁻¹)	总氮 Total nitrogen (mg L ⁻¹)	总磷 Total phosphorus (mg L ⁻¹)	总钾 Total potassium (mg L ⁻¹)
CK	4.57	35.00	9.30	39.00
E_L	222.1	54.29	57.41	41.45
E_S	90.89	42.00	25.52	42.67
D_7	90.80	48.14	17.00	40.63
D_{15}	96.91	44.15	17.08	41.18
20% E_L	51.21	38.86	18.92	39.49
20% E_S	19.48	36.40	12.54	39.73
20% D_7	20.65	37.63	10.84	39.33
20% D_{15}	21.84	36.83	10.86	39.44

小麦秸秆 4 种浸提液和腐解液及其稀释液配制成砂培营养液时加入相同量的 Hogland 营养成分,因而含有更多的氮、磷和钾,但分析表明水稻生长发育状况各种指标并未与养分含量间有显著性相关关系(表 5),反而是施用小麦秸秆浸提液或腐解液后水稻生长发育与对照相比均下降,这说明营养

液养分状况不足以全面决定对水稻生长发育的影响,水稻生长发育同时受到如酚酸等化感物质的作用。小麦秸秆 4 种浸提液或腐解液相比对照使水稻的根冠比降低,而 5 倍稀释后水稻的根冠比有所提高,这也可能是养分效应使植株以较小的根冠比获得所需营养元素。

表 5 不同营养液中酚酸和养分含量与水稻生长发育指标间的相关关系

Table 5 Relationships of phenolic acids and nutrient contents in the media with rice growth indicators

指标 Index	地上部鲜重 Shootfresh weight	地下部鲜重 Rootfresh weight	根冠比 Root shoot ratio	根系活力 Root activity	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	总叶绿素 Total chlorophyll	丙二醛 Malondialdehyde	发芽指数 Germination index
酚酸 Total phenolic acids	-0.444 **	-0.367 *	-0.077	-0.442 **	-0.388 *	-0.381 *	-0.401 *	0.583 ***	-0.535 **
总氮 Total nitrogen	-0.210	-0.115	0.034	-0.332	-0.317	-0.329	-0.323	0.327	-0.082
总磷 Total phosphorous	-0.275	-0.120	0.145	-0.283	-0.246	-0.231	-0.238	0.319	-0.194
总钾 Total potassium	-0.173	-0.059	0.229	-0.282	-0.276	-0.261	-0.255	0.134	0.139

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3 讨 论

3.1 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻种子萌发和幼苗生长的影响

秸秆还田是提高土壤有机质含量和改善土壤结构的常用措施,稻麦轮作系统中秸秆还田正面效应的研究已经很多,但不可忽视稻麦秸秆还田所产生的负面效应。已有的小麦秸秆化感效应试验研究表明其对作物生长发育产生抑制作用,涉及小麦秸秆浸提液或腐解液对大豆、小麦、黄瓜、番茄、萝卜、苜蓿、玉米、白茅等的种子发芽或幼苗生长产生抑制^[18-19];水稻作为受体作物的研究也证实植物残体如三裂叶蟛蜞菊^[20]、空心莲子草^[21]等均会对水稻产生化感效应。本试验表明小麦秸秆浸提液和腐解液均对水稻种子萌发和幼苗生长产生抑制作用,其中秸秆腐解液相比浸提液对水稻发芽和水稻地上部、地下部的抑制作用要大,这与文献报道中玉米秸秆、水稻秸秆、大豆秸秆浸提液和腐解液对辣椒化感作用的影响不同^[22]。一般认为植株根、茎、叶各部位对相同受体植物的化感效应不同,本试验中小麦秸秆叶浸提液对水稻化感效应的影响要大于茎叶浸提液的,与他人的研究结果一

致^[23]。本试验中小麦秸秆 7 d 和 15 d 腐解液对水稻种子萌发和幼苗生长的影响不同,也与他人的结果类似^[24],原因应归于不同时间段植物残体分解释放化感物质的种类和数量差异所致^[25]。概括之,小麦秸秆不同部位浸提液和不同时段腐解液化感作用的差异均可能与其中所含化感物质的种类和浓度差异相关,而各浸提液和腐解液经稀释后对水稻化感效应的减缓程度不同,其原因也在此。

3.2 小麦秸秆对水稻化感作用的机理

植物受到化感物质的作用后,发生一系列生理生化过程改变,如植株酶系发生变化^[26]、细胞膜完整性受到破坏^[27]等。叶绿素含量与植株光合速率、营养状况等密切相关,叶绿素含量的多少反映了植物进行光合作用的能力强弱,丙二醛是膜脂过氧化作用的最终产物,其含量是膜脂过氧化程度的一个重要标志,而且与细胞膜受损害程度直接相关。本试验中,小麦秸秆浸提液和腐解液均使水稻植株叶绿素含量和根系活力显著下降,而使植株丙二醛含量显著升高,显示出水稻在逆境条件下的胁迫反应,类似于他人的研究结果^[28]。

小麦秸秆浸提液和腐解液通常被认为是养分的来源,但同时也含有多种未完全分解的化感物质,进而对其他作物的生理生化过程产生影响。已

有的研究表明麦秸腐解产生的化感物质有酚、酸、醛和酮类化合物等^[29];大量的文献报道植物残体产生的化感作用主要由酚酸引起,酚酸类物质在林地和农地中广泛存在^[30-31],主要由植物在生长过程中合成及微生物参与腐解而产生。试验中我们测定了各浸提液及腐解液中总酚酸含量,发现总酚酸含量显著高于对照,且与植物生长发育指标显著相关,这似乎表明小麦秸秆对水稻的化感效应可能由酚酸物质所致。不同秸秆及生境产生的酚酸物质种类不同,小麦秸秆中经证实的酚酸类物质有阿魏酸、对羟基苯甲酸和苯甲酸^[32-33],本试验中小麦秸秆4种浸提液和腐解液总酚酸含量与水稻生长发育指标不完全一致的关系也证实了上述观点。需要强调的是,本研究是在砂培条件下开展,试验结果与土壤实际情况差异较大,在土壤中需进一步考虑土壤理化性状与生物学性质对酚酸物质的迁移、转化及其有效性的影响。以后需进一步开展实际土壤中小麦秸秆自身及腐解过程中酚酸物质种类及含量动态的相关研究,以更好明确小麦秸秆中主要酚酸物质与化感效应间的关系。由于化感作用除了对作物生产有不利影响外,也有其积极作用,如利用作物秸秆替代除草剂用于作物保护、杂草防治和害虫控制等^[34],因而也可在麦秸还田技术开发中利用不同作物品种对小麦秸秆化感作用的响应差异、化感物质组成差异^[35]以及胁迫条件下育秧^[11]等措施克服秸秆还田障碍。

4 结 论

小麦秸秆浸提液和腐解液均会对水稻产生化感效应,其中小麦秸秆腐解液的化感效应强于浸提液,小麦秸秆叶部浸提液的化感效应强于茎秆部,小麦秸秆15 d腐解液的化感效应强于7 d腐解液;小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻植株种子发芽和植株生理生化过程产生抑制与浸提液和腐解液中酚酸物质有关。

参 考 文 献

[1] 蔡晓布, 钱成, 张永青, 等. 秸秆还田对西藏中部退化土壤环境的影响. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 411—415. Cai X B, Qian C, Zhang Y Q, et al. Effect of straw returning on the environment of degenerated soil in central Tibet (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(4): 411—415

[2] Gaind S, Nain L. Chemical and biological properties of wheat

soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants. Biodegradation, 2007, 18(4): 495—503

- [3] Becker M, Asch F, Maskey S L, et al. Effects of transition season management on soil N dynamics and system N balances in rice-wheat rotations of Nepal. Field Crops Research, 2007, 103(2): 98—108
- [4] Chou C H. The role of allelopathy in biochemical ecology: Experience from Taiwan. Biologia Plantarum, 1989, 31(6): 458—470
- [5] Javaid A, Shafique S, Bajwa R. Effect of aqueous extracts of allelopathic crops on germination and growth of *Parthenium hysterophorus* L. South African Journal of Botany, 2006, 72(4): 609—612
- [6] Kato-Noguchi H. Assessment of allelopathic potential of shoot powder of lemon balm. Scientia Horticulturae, 2003, 97(3—4): 419—423
- [7] Kato-Noguchi H. Isolation and identification of an allelopathic substance in *Pisum sativum*. Phytochemistry, 2003, 62(7): 1141—1144
- [8] 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. Crop Protection, 2002, 21(10): 1077—1082
- [9] Tesio F, Vidotto F, Ferrero A. Allelopathic persistence of *Helianthus tuberosus* L. residues in the soil. Scientia Horticulturae, 2012, 135(0): 98—105
- [10] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, et al. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. Science of The Total Environment, 2003, 301: 1377
- [11] Zuo S P, Li X W, Ma Y Q. Response of transgenic potato seedlings to allelopathic pressure and the effect of nutrients in the culture medium. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 226—232
- [12] Wuest S B, Albrecht S L, Skirvin K W. Crop residue position and interference with wheat seedling development. Soil and Tillage Research, 2000, 55(3/4): 175—182
- [13] Kumar A, Silim S N, Okamoto M, et al. Differential expression of three members of the AMT1 gene family encoding putative high-affinity NH_4^+ transporters in roots of *Oryza sativa* subspecies indica. Plant, Cell and Environment, 2003, 26(6): 907—914
- [14] 汤江武, 吴逸飞, 薛智勇, 等. 畜禽固弃物堆肥腐熟度评价指标的研究. 浙江农业学报, 2003, 15(5): 293—296. Tang J W, Wu Y F, Xue Z Y, et al. Study on evaluation index of maturity of livestock and poultry solid wastes (In Chinese). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2003, 15(5): 293—296
- [15] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术. 北京: 化学工业出版社, 2006: 55—160. Hao J J, Kang Z L, Yu Y. Technique of plant physiological experiment (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 55—160
- [16] Blum U, Wentworth T R, Klein K, et al. Phenolic acid content of soils from wheat-no till, wheat-conventional till, and fallow-conventional till soybean cropping systems. Journal of Chemical Ecology, 1991, 17(6): 1045—1068
- [17] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Meas-

- uring treatment responses within dependent controls. *Journal of Chemical Ecology*, 1988, 14(1):181—187
- [18] 张强, 苏印泉. 小偃22 秸秆对作物种子的化感作用. *西北农业学报*, 2010, 19(8): 80—83. Zhang Q, Su Y Q. Allelopathy of *xiaoyan* 22 wheat straw to different crop seed germination (In Chinese). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2010, 19(8): 80—83
- [19] 李善林, 由振国, 梁渡湘, 等. 小麦化感作用物的提取、分离及其对白茅的杀除效果. *植物保护学报*, 1997, 24(1): 81—84. Li S L, You Z G, Liang D X, et al. Extraction and separation of allelochemicals in wheat and its herbicidal efficacy on *im-perata cylindrica* (In Chinese). *Acta Phytopylacia Sinica*, 1997, 24(1): 81—84
- [20] 聂呈荣, 曾任森, 骆世明, 等. 三裂叶螞蝗菊对水稻化感作用的初步研究. *作物学报*, 2004, 30(9): 942—946. Nie C R, Zeng R S, Luo S M, et al. Allelopathic potentials of *wedelia trilobata* L. on rice (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(9): 942—946
- [21] 张远兵, 刘爱荣, 吴倩. 空心莲子草水浸液对水稻种子萌发和幼苗生长的化感效应. *热带作物学报*, 2009, 30(10): 1526—1531. Zhang Y B, Liu A R, Wu Q. Allelopathic effects of aquatic livivium and extracts from *alternanthera philoxeroides* on the seed germination and early seedling growth of rice (In Chinese). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2009, 30(10): 1526—1531
- [22] 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲. 不同作物秸秆对辣椒的化感效应. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1107—1111. Hou Y X, Zhou B L, Wu X L. Allelopathic effects of different crop stalks on pepper growth (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(6): 1107—1111
- [23] Oueslati O. Allelopathy in two durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 96(1/3): 161—163
- [24] 张琴, 李艳宾, 李勇, 等. 不同腐解方式下棉秆腐解液对棉花种子萌发的化感效应. *种子*, 2011, 30(4): 17—21. Zhang Q, Li Y B, Li Y, et al. Allelopathy effect of decomposed liquids of cotton stalk under different decomposing modes on cotton seeds germination (In Chinese). *Seed*, 2011, 30(4): 17—21
- [25] 韩丽梅, 王树起, 鞠会艳, 等. 大豆根茬腐解产物的鉴定及化感作用的初步研究. *生态学报*, 2000, 20(5): 771—778. Han L M, Wang S Q, Ju H Y, et al. Identification and allelopathy on the decomposition products from soybean stubs (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 771—778
- [26] 刘建新, 胡浩斌, 王鑫. 黄瓜地上部水浸液对番茄的化感抑制效应. *中国生态农业学报*, 2009, 17(2): 312—317. Liu J X, Hu H B, Wang X. Allelopathic effect of aqueous extract from cucumber (*Cucumis sativus* L.) aboveground part on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(2): 312—317
- [27] 李培栋, 王兴祥, 李奕林, 等. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用. *生态学报*, 2010, 30(8): 2128—2134. Li P D, Wang X X, Li Y L, et al. The contents of phenolic acids in continuous cropping peanut and their allelopathy (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 2128—2134
- [28] Bogatek R, Gniazdowska A, Zakrzewska W, et al. Allelopathic effects of sunflower extracts on mustard seed germination and seedling growth. *Biologia Plantarum*, 2006, 50(1): 156—158
- [29] 马瑞霞, 刘秀芬, 袁光林, 等. 小麦根区微生物分解小麦残体产生的化感物质及其生物活性的研究. *生态学报*, 1996, 16(6): 632—639. Ma R X, Liu X F, Yuan G L, et al. Study on allelochemicals in the process of decomposition of wheat straw by microorganisms and their bioactivity (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(6): 632—639
- [30] 孙海兵, 毛志泉, 朱树华. 环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化. *生态学报*, 2011, 31(1): 90—97. Sun H B, Mao Z Q, Zhu S H. Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 90—97
- [31] You L X, Wang P, Kong C H. The levels of jasmonic acid and salicylic acid in a rice-barnyardgrass coexistence system and their relation to rice allelochemicals. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2011, 39(4/6): 491—497
- [32] 马瑞霞, 冯怡, 李萱. 化感物质对枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 在厌氧条件下的生长及反硝化作用的影响. *生态学报*, 2000, 20(3): 452—457. Ma R X, Feng Y, Li X. Effects of allelochemicals on growth of *Bacillus subtilis* and its denitrification under anaerobic condition (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(3): 452—457
- [33] Sampietro D A, Vattuone M A, Isla M I. Plant growth inhibitors isolated from sugarcane (*Saccharum officinarum*) straw. *Journal of Plant Physiology*, 2006, 163(8): 837—846
- [34] Anaya A L. Allelopathic organisms and molecules: Promising bioregulators for the control of plant diseases, weeds, and other pests// Inderjit, Mukerji K G. *Allelochemicals: Biological control of plant pathogens and diseases*. Netherlands: Springer, 2006: 31—78
- [35] Chen B M, Peng S L, Ni G Y. Effects of the invasive plant *Mikania micrantha* H B K on soil nitrogen availability through allelopathy in South China. *Biological Invasions*, 2009, 11(6): 1291—1299

ALLELOPATHIC EFFECTS OF WHEAT STRAW EXTRACT AND DECOMPOSITION LIQUID ON RICE

yu Jianguang^{1,2} Gu Yuan^{1,2,3} Chang Zhizhou^{1,2*} Li Ruipeng^{1,2,3}

(1 *Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

(2 *Jiangsu Provincial Engineering Research Centre for the Reclamation of Agricultural Waste, Nanjing 210014, China*)

(3 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract An experiment was carried out to investigate effects of wheat straw extract and wheat straw decomposition liquid on seed germination and seedling growth of rice, and to define allelopathic effect of wheat straw on rice. The straw used in the test came from mature wheat crop. Wheat straw extract was prepared by putting wheat straw in 30°C pure water for extraction for 48 h, and wheat straw decomposition liquid was prepared by immersing wheat straw in 30°C water for incubation for 7 or 15 days. The rice seed germination test was carried out using the plate culture method and the rice growth test using the sand culture method. Results show that compared with the control, the extract and the liquid both decreased seed germination index, plant biomass, chlorophyll content and root activity of the rice, significantly ($p < 0.05$), while increasing malondialdehyde content in the plant, significantly ($p < 0.05$). The liquid demonstrated stronger allelopathic effect than the extract, wheat leaf extract than stem extract, and the 15 day liquid than the 7 day liquid. Once diluted five folds, the extracts and liquids became less in their effect on rice germination and plant growth. The extracts and liquids were all quite high in total phenolic content, ranging from 90.80 ~ 222 mg L⁻¹. Total phenolic acid content was significantly and negatively related to rice plant fresh weight, root activity, chlorophyll and rice germination index, while malondialdehyde content in the plant was positively related. The allelopathic effects of the extracts and liquids varied in strength, which was related with straw decomposition method, different parts of straw and length of decomposition time, and to the total phenolic acid content in the extracts or liquids, as well.

Key words Wheat straw; Water extract; Decomposition liquids; Rice; Allelopathy

(责任编辑:汪枫生)