

不同基因型小麦成熟期地上部的化感作用研究

左胜鹏, 马永清, 李秀维

(西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,
陕西 杨凌 712100)

摘 要:采用种子发芽的生物测试方法研究了 7 份不同基因型的小麦材料在成熟期地上部的化感作用。结果表明,不同基因型的小麦材料在成熟期地上部的化感作用差异显著,其水提取液明显抑制受体幼苗胚根的生长,而对胚芽伸长的影响不明显,成熟期不同基因型的小麦材料地上部的抑制作用与水提取液的浓度呈明显的正相关性。分析不同基因型的小麦染色体组型发现,当染色体组型由 AA→AABB→AABBDD 的进化过程中,化感抑制作用有逐渐增强的趋势,其中茎叶水提取液抑制作用表现为 AABBDD>AA>AABB,而颖壳水提取液抑制作用表现为 AABB> AABBDD>AA。大多数小麦材料茎叶部与颖壳的化感作用比值均大于 1。当染色体组由 2n→4n→6n 变化时,不同基因型小麦茎叶与颖壳对小麦幼苗总根长的化感作用比值逐渐升高,对最大根长的化感比值先降低后逐渐升高,对苗长的影响为先逐渐升高而后降低。

关键词:小麦; 基因型; 成熟期; 地上部; 化感作用

中图分类号:S131 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)04-0652-06

Allelopathy of Mature Aerial Parts of Different Wheat Genotypes

ZUO Sheng-Peng, MA Yong-Qing, LI Xiu-Wei

(The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resource, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

Abstract: Allelopathy of aerial parts from seven different wheat genotypes in the mature phase was studies using bioassay of seeds germination in this study. A significant difference, the effect on the growth of acceptor plant radicle, was observed in different wheat genotypes extracts at the mature stage. However they affect the elongation of coleoptile unremarkably, which implied that radicle is more susceptible than coleoptile to extracts. Allelopathic inhibition effect in aerial parts of tested wheat materials was increased by the genome evolution from AA to AABB to AABBDD, from which allelopathic effect in stem and leaf increased with genomes from AABB、AA to AABBDD and declined as AABB, AABBDD to AA in seed shell. A positive relationship was built up between allelopathy effect and the concentration of extracts, which meant that the effect of extracts would vary from inhibition to stimulation while diluted. The rate of allelopathic effect in stem and leaf to seed shell was above 1 in most materials, which showed that stem and leaf would play an important role in resistance to environment pressure in the aerial part. When the extracts of aerial parts were diluted frequently the rate would change as the enhance effect of Shan 160 on the most length radicle and French. Secale cereale L. on seedling length of acceptor plant, the falling effect of Triticum monococcum L. and Triticum dicoccoides K. on the total length radicle, Triticum boeoticum L. and Triticum monococcum L. on the most length of radicle and T. boeoticum., T. dicoccoides and Tritium aestivum L. on the seedling length of acceptor plant. When genomes evolving from AA, AABB to AABBDD in different wheat genotypes the rate of allelopathic effect on the total length increased. And it descended first and then ascended in the effect on the most length of radicle, whose contrary result is depicted on the seedling elongation. The research will be available for the technologies improvement of straw mulching and seed shell returning to fields.

Keywords: wheat; genotype; stage of mature; aerial part; allelopathy

收稿日期:2004-09-16

基金项目:中国科学院水利部水土保持研究所,黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-95)

作者简介:左胜鹏(1979—),男,汉族,江西丰城人,在读硕士,目前主要从事小麦化感作用的研究。

联系人:马永清。E-mail:yongqingma@nwsuaf.edu.cn

利用作物内在的化感作用机制控制农田杂草已成为当前国内外生物除草的研究热点^[1]。作物本身的抗逆性受到越来越多的重视,而具有抗草性能的化感特性广泛存在于众多的品种中,作物的化感作用与作物的品种显著相关^[2],作物品种间的化感潜力的差异是不同品种产生和释放化感物质的种类和浓度差异造成的^[3]。

Manievel 等(2001)报道一种基因型为 CE145-66 的高粱对下茬作物花生有负面影响,各地区的种植的不同高粱品系化感差异不明显,但气候变化对化感作用影响显著,鉴定出其中的酚酸物质为根干重的 1.1%~1.5%,为地上部干重的 1.1%~2.2%,主要是阿魏酸、对羟基苯甲酸和香豆酸^[4]。Antonio 等(2000)指出化感植物的地上部是水溶性植物毒性物质的主要来源^[5]。Naumov 等(2004)指出田间作物种子用小麦发芽时的胚根分泌物处理后,可增强种子的发芽活力,较早诱导茎的产生,提高对不利环境和病虫害的抗性,激活共生微生物,促进氮的固定以及氮和磷在根区土壤的转变,进而促进植物的生长发育以及提高最终产量^[6]。张改生等(1988)指出普通小麦的形成是自然变异和人工选择的结果,其经历了二倍体→四倍体→六倍体的进化过程,即由野生一粒小麦(AA)驯化成栽培一粒(AA),同时与拟斯卑尔脱山羊草(*Ae. Speltoides*, BB)天然杂交,产生野生二粒小麦(AABB),二粒小麦在分化出其他四倍体小麦的同时,又与节节麦(DD)天然杂交,产生了普通小麦(AABB-DD)^[7]。李善林等(1997)报道小麦颖壳提取物对白茅均有杀除效果,并指出小麦颖壳的甲醇可溶物有望开发成为防治白茅的生物除草剂^[8]。

本研究分析了 7 份小麦进化材料在成熟期地上部化感作用的变化规律,试图揭示小麦材料成熟期地上部化感作用的进化变异机制,从而为秸秆覆盖,颖壳还田技术等农业可持续发展措施提供有效的理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

实验选用 7 份不同基因型小麦进化材料,主要由邓西平研究员、钟冠昌研究员以及沈天民研究员提供,其中有染色体组型为 AA 的一粒小麦,品种为野生一粒(*Triticum boeoticum* L.)、栽培一粒(*Triticum monococcum* L.);染色体组型为 RR 的栽培黑麦的一个品种为法国黑麦(*French. Secale cereale* L.);染色体

组型为 AABB 的二粒小麦,品种为野生二粒(*Triticum dicoccoides* K.)、栽培二粒(*Triticum dicoccum* S.);染色体组型为 AABBDD 的现代普通小麦,其品种有宁冬一号(*Triticum aestivum* Var. No. 1 Ningdong)以及陕 160(*T. aestivum* Var. Shan 160)。小麦成熟期地上部的材料分为茎叶和颖壳部分。生物测试受体为现代小麦品种:小偃 22 号(*T. aestivum* Var. No. 22 Xiaoyan),其种子来源于西北农林科技大学农业种子推广中心。

1.2 生物测定

7 份小麦材料均在 2002 年 10 月 8 日播种,并于 2003 年 5 月 28 日收割(法国黑麦为 6 月 5 日,野生一粒和栽培一粒于 6 月 11 日收割),各材料均未倒伏,并达到正常生育期而完全成熟。收获后地上部分离出茎叶部和颖壳部,清洗、自然晾干除去表面水分,在-4.0℃的冰柜中冷冻 24 h,在-50.0℃的低温冻干机中干燥 36 h,用 $2.4 \times 10^4 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的高速万能粉碎机粉碎,冷藏备用。分别取茎叶部和颖壳部干重各 1.0 g,加水 24 mL,放于 25 mL 容量瓶,摇匀,在 80 D 的超声波上处理 20 min,再在循环水式真空泵进行真空抽滤,分别得到小麦茎叶部和颖壳部提取液,作为原液,再分别稀释 10、100 倍,冷冻备用。用所得的提取液做小麦种子发芽实验,以蒸馏水为对照,主要采用 Leather 等(1986)的培养皿滤纸法进行种子发芽的生物测试方法^[9]。在直径 9 cm 培养皿中放双层 9 cm 的定性滤纸,加提取液 3.0 mL,播种 10 粒种子,将培养皿用保鲜袋包扎封口,放于 GXZ 型智能光照培养箱(宁波江南仪器厂制造)中培养。培养条件为光照度 3 000 lx,光暗周期为 12 h/12 h,昼夜温度为 25℃/20℃,使小麦种子萌发。种子播种 24、48 h 后分别加蒸馏水 1 mL,种子播种 64 h 后测量每株幼苗的总根长、最大根长以及苗长。另外,同时单独加 3 mL 蒸馏水播种小麦设为对照,各处理均重复 3 次。

1.3 数据分析及评价

数据统计分析分别采用 JMP 4.0 进行标准误分析、DSP V3.11 软件进行最小差异性分析、采用 EX-CEL2000 进行相关性分析。根据 Williamson 等(1988)提出的化感作用评价方法,用处理与相应对照的 T/C 作为衡量指标(T 是处理值, C 是对照值)。得出化感作用指数 $RI = T/C - 1$ 。

当 $RI > 0$ 时,表示促进作用;当 $RI < 0$ 时,表示抑制作用。 RI 的绝对值代表化感作用强度的大小^[10]。茎叶与颖壳的化感平衡指数为茎叶的 RI 的绝对值与颖壳的 RI 的绝对值比值。

2 结果与分析

2.1 化感作用的表现

将小偃 22 号小麦作为生物测定受体,从图 1 可以看出不同基因型小麦成熟期提取液在原液时地上部的茎叶部和颖壳对小麦幼苗总根的影响均呈抑制作用,其中茎叶部的抑制作用比较为:栽培一粒>栽培二粒>陕 160>野生一粒>宁冬一号>法国黑麦>野生二粒,见图 1 A。颖壳的抑制作用比较为:栽培二粒>陕 160>栽培一粒>野生二粒>宁冬一号>野生一粒>法国黑麦,见图 1 B。随着原液稀释 10、100 倍,地上部均表现为促进作用,其中栽培一粒、野生二粒、陕 160 的

地上部,栽培二粒的颖壳明显地表现为高浓度抑制、低浓度促进作用。

分析不同基因型小麦成熟期地上部提取液原液对小麦最大根长的影响发现,茎叶部和颖壳均呈抑制作用。茎叶部的抑制作用比较为:栽培一粒>栽培二粒>陕 160>法国黑麦>野生一粒>宁冬一号>野生二粒,见图 1 C 所示。颖壳的抑制作用比较为:栽培二粒>陕 160>栽培一粒>野生二粒>宁冬一号>野生一粒>法国黑麦,见图 1 D。随着原液稀释 10、100 倍,地上部均表现为促进作用。栽培二粒、陕 160 的茎叶部和野生一粒、栽培一粒、野生二粒、宁冬一号的颖壳水提取液随着浓度减低由抑制作用变为促进作用(图 1

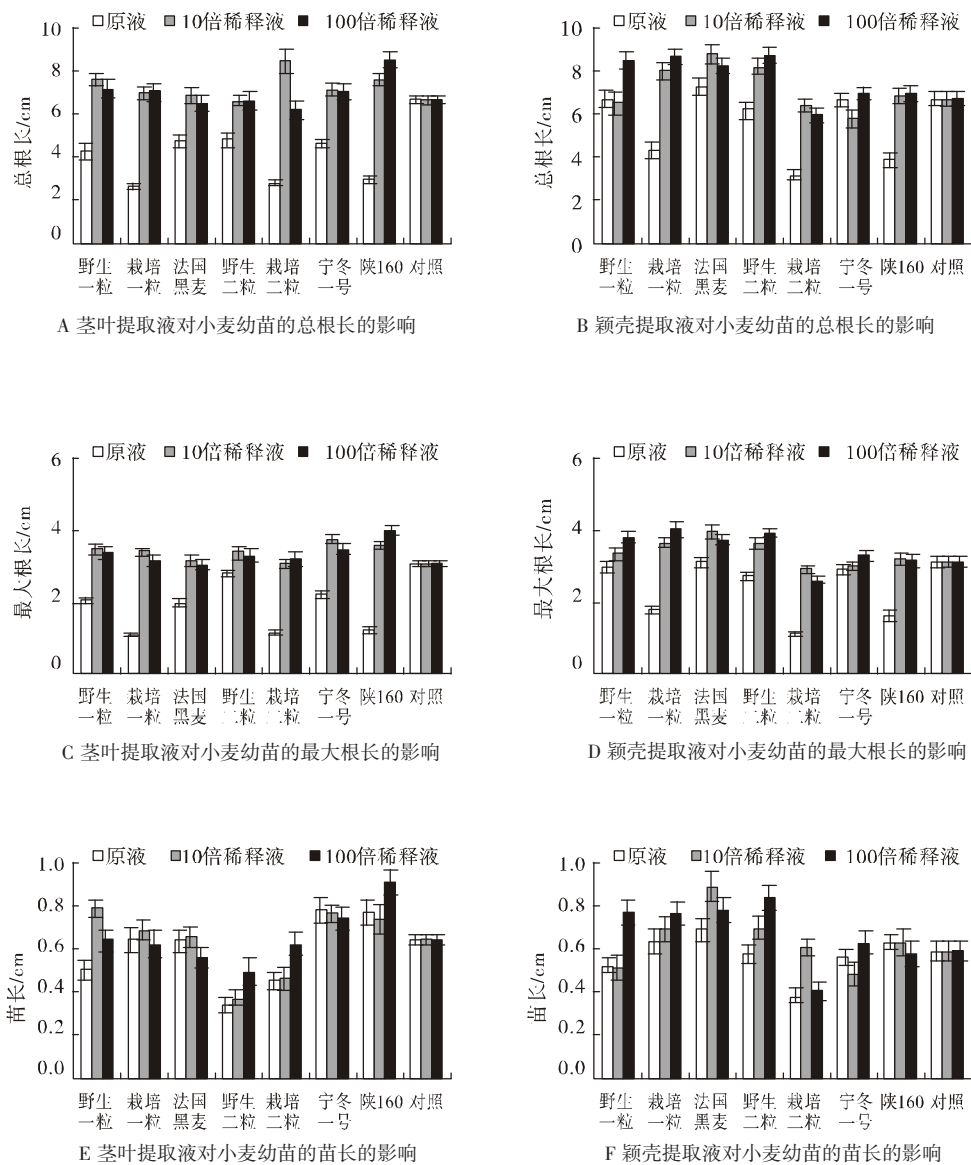


图 1 不同基因型小麦成熟期地上部提取液对小麦幼苗的影响

Figure 1 Effect of extracts from the mature aerial parts of different wheat genotypes

C、D)。

茎叶部和颖壳的原液时 对小麦幼苗苗长的影响则不明显,表现为微弱的抑制作用或促进作用。茎叶部的抑制作用比较为野生二粒>栽培二粒>野生一粒;促进作用比较为宁冬一号>陕 160 >栽培一粒>法国黑麦。颖壳的抑制作用比较为栽培二粒>野生一粒>宁冬一号>野生二粒;促进作用比较为法国黑麦>栽培一粒>陕 160。随着原液稀释 10、100 倍,大部分小麦材料的地上部表现为促进作用,栽培二粒、野生二粒、栽培一粒、野生二粒的颖壳随着提取液浓度的减低,幼苗伸长呈上升趋势(图 1 E、F)。通过线性相关分析发现成熟期地上部的茎叶部分和颖壳部分化感作用与浓度均存在明显的正相关性,见表 1。

2.2 化感作用动态的平均表现分析

表 1 不同基因型小麦成熟期地上部化感作用与提取液浓度的相关性分析(数字表示为相关系数 r^2)

Table 1 1 Relationship analysis between allelopathy of the mature aerial parts of different wheat genotypes and the concentrations of their extracts (The figure of r^2)								
材料	地上部	野生一粒	栽培一粒	法国黑麦	野生二粒	栽培二粒	宁冬一号	陕 160
总根长	茎叶	0.223 7	0.326 8	0.187 7*	0.318 4*	0.037 7	0.289 6*	0.471 1**
	颖壳	0.971 5*	0.460 2*	0.062 0	0.540 8**	0.216 6*	0.390 6**	0.359 6**
最大根长	茎叶	0.259 5	0.238 5	0.254 8*	0.154 3*	0.371 8**	0.184 1*	0.455 2**
	颖壳	0.850 8*	0.474 2**	0.111 3*	0.544 8**	0.190 4*	0.972 2**	0.295 5*
苗长	茎叶	0.001 8	0.428 6**	0.941 5**	0.978 0**	0.999 9**	0.897 2**	0.933 5**
	颖壳	0.986 4**	0.890 0**	0.001 5	0.845 2**	0.116 0*	0.663 0**	0.993 2**

注:**、* 显著水平分别为 0.01、0.05。

2.2.1 小麦染色体组型 AA→AABB→AABBDD 进化过程中茎叶提取液对小麦幼苗的作用趋势

在小麦染色体组型从 AA 到 AABB 到 AABBDD 的进化过程中,可看出茎叶提取液原液对小麦总根长的抑制作用为 AABBDD>AA>AABB,说明茎叶提取液对小麦总根长的抑制作用随小麦进化而逐渐增强。当稀释 10 倍、100 倍时表现为促进作用,稀释 10 倍时促进作用 AABB>AA>AABBDD,稀释 100 倍时促进作用 AABBDD>AA>AABB,表明了随着浓度的降低,小麦进化中茎叶提取液对小麦总根长的促进作用得到增强。对小麦最大根长的抑制作用为 AABBDD>AA>AABB,稀释 10 倍、100 倍时均表现为促进作用,其中稀释 10 倍时促进作用 AABB>AA>AABBDD,稀释 100 倍时促进作用 AABBDD>AA>AABB,表明了

小麦染色体组型在 AA→AABB→AABBDD 进化过程中,原液茎叶提取液对小麦最大根长的抑制作用逐渐增强和当提取液稀释倍数增大时促进作用也逐渐增强。原液和稀释液中,对小麦幼苗长 AABBDD 和 AA 都表现为促进作用,只有 AABB 表现为抑制作用,但随着浓度的降低抑制作用逐渐减弱。而在原液,10 倍、100 倍稀释液中促进作用均表现为:AABBDD>AA (表 2),表明了小麦染色体组型在 AA→AABB→AABBDD 进化过程中,茎叶提取液对小麦苗长的影响不明显。

2.2.2 小麦染色体组型 AA→AABB→AABBDD 进化过程中颖壳提取液对小麦幼苗的作用趋势

颖壳提取液对小麦总根长的抑制作用为 AABB>AABBDD>AA; 稀释 10 倍、100 倍时 AA、AABB 均表

表 2 不同染色体组型小麦成熟期地上部提取液对小麦幼苗的影响(cm)

Table 2 Effects of extracts from the mature aerial parts of different wheat genomes on the growth of tested wheat seedling (cm)									
	总根长			最大根长			苗长		
	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍
茎叶部提取液									
AA	3.46	7.28	7.08	1.58	3.45	3.28	0.57	0.734	0.62
AABB	3.79	7.53	6.39	1.98	3.26	3.26	0.39	0.42	0.55
AABBDD	3.40	7.11	7.93	1.50	3.51	3.83	0.75	0.75	0.84
CK	6.67	6.67	6.67	3.08	3.08	3.08	0.63	0.63	0.63
颖壳提取液									
AA	5.51	7.26	8.56	2.40	3.52	3.92	0.58	0.61	0.77
AABB	4.74	7.28	7.35	1.94	3.30	3.29	0.48	0.65	0.62
AABBDD	5.07	6.45	6.52	1.99	3.14	3.01	0.60	0.58	0.55
CK	6.71	6.71	6.71	3.13	3.13	3.13	0.59	0.59	0.59

现为促进作用,稀释 10 倍时促进作用 AABB>AA,稀释 100 倍时促进作用 AA>AABB,而 AABBDD 仍为抑制作用,且随浓度逐渐降低,抑制作用减弱。表明了在小麦染色体组型 AA→AABB→AABBDD 进化过程中,颖壳提取液对小麦总根长的抑制作用总体为增强趋势。对小麦最大根长的抑制作用为 AABB>AABBDD>AA, 稀释 10 倍时促进作用 AA>AABB>AABBDD,稀释 100 倍时促进作用 AA>AABB,说明了颖壳提取液对小麦总根长的抑制作用随小麦进化先增强而后减弱。原液和稀释液中,对小麦幼苗长表现为促进作用和抑制作用。在原液中 AABBDD 为微弱的促进作用,而抑制作用为 AABB>AA;稀释 10 倍、100 倍中 AABBDD 均为微弱的抑制作用,而 AA、AABB 的促进作用分别为 AABB>AA、AA>AABB(表 2),表明了小麦染色体组型在 AA→AABB→AABBDD 进化中,颖壳提取液对小麦苗长的影响也不明显。

2.3 化感作用平衡指数变化

在原液时,不同基因型小麦茎叶与颖壳的化感指

数比值变化:对小麦幼苗总根长的影响为宁冬一号>野生二粒>法国黑麦>栽培一粒>陕 160>栽培二粒>野生一粒;对小麦幼苗最大根长的影响为野生一粒>宁冬一号>栽培一粒>陕 160>栽培二粒>野生二粒>法国黑麦;对小麦幼苗苗长的影响为野生二粒>宁冬一号>陕 160>野生一粒>栽培二粒>法国黑麦和栽培一粒。说明不同基因型小麦中成熟期地上部的化感物质的种类和浓度在茎叶和颖壳中的分配比值存在明显的差异,导致对小麦幼苗生长的明显差异性。

当提取液逐渐稀释时,不同基因型小麦茎叶化感指数与颖壳的比值变化:逐渐升高的有陕 160 对最大根长的影响,法国黑麦对苗长的影响,表明陕 160 和法国黑麦地上部的化感物质当浓度减低时有逐渐向茎叶部转移的趋势;逐渐降低的有栽培一粒、野生二粒对总根长的影响,野生一粒、栽培一粒对最大根长的影响,野生一粒、野生二粒对苗长的影响,说明野生一粒、栽培一粒、野生二粒地上部化感物质当浓度减低时有逐渐向颖壳部转移的趋势(表 3)。

表 3 不同基因型小麦成熟期茎叶与颖壳的化感指数比值变化

Table 3 Rate variations of allelopathic effects on stem, leaf and seed shell in the mature wheat materials of different genotypes

材料	总根长			最大根长			苗长		
	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍
野生一粒	0.00	4.33	0.27	8.25	1.75	0.45	2.10	2.00	0.00
栽培一粒	1.67	0.26	0.17	1.55	0.65	0.10	0.00	0.47	0.06
法国黑麦	3.50	0.06	0.13	0.00	0.11	0.05	0.00	0.06	0.41
野生二粒	4.67	0.05	0.03	0.69	0.71	0.27	23.00	2.16	0.52
栽培二粒	1.11	5.40	0.64	1.00	0.00	0.25	0.81	9.00	0.06
宁冬一号	30.00	0.50	1.50	3.86	5.50	2.60	4.40	1.24	2.43
陕 160	1.33	7.00	6.75	1.25	17.30	30.00	3.00	2.29	21.50

当染色体组由 AA 到 AABB 到 AABBDD 变化时,不同基因型小麦对总根长的影响茎叶与颖壳化感指数的比值逐渐升高,对最大根长的影响茎叶化感指数与颖壳的比值先降低后逐渐升高,而对苗长的影响茎叶与颖壳的化感指数比值先逐渐升高而后降低。表明了影响小麦幼苗胚根生长的地上部的化感物质随小麦的进化历程而导致茎叶逐渐积累化感物质,而对胚芽生长有影响的化感物质主要存在颖壳中。但比值指数绝大多数大于 1,表明了小麦进化过程中,成熟期茎叶部分在地上部的防御作用中担任主要角色。当提取液浓度逐渐降低时,AABB 对总根长、最大根长和苗长的影响,AA 对最大根长和苗长的影响,茎叶化感指数与颖壳的比值变化逐渐降低,而 AABBDD 对苗长的影响,茎叶化感指数与颖壳的比值变化逐渐升高;AA 对总根长的影响茎叶化感指数与颖壳的比值

先升高后降低,而 AABBDD 小麦的茎叶与颖壳对总根长和最大根长的化感指数比值均先下降而后升高(表 4)。说明不同染色体组型的小麦地上部化感物质浓度逐渐降低时,化感物质在地上部的转移方向有明显差异,但随染色体组由 AA 到 AABB 到 AABBDD 变化而呈现化感物质由颖壳向茎叶转移的趋势。

3 结论

成熟期地上部的茎叶部分和颖壳部分化感作用与浓度存在明显的正相关性,而 Huang 等(2003)通过琼脂培养基方法分析发现化感型小麦对黑麦草的毒性与根分泌物中化感物质有明显的相关性^[1],充分说明了小麦化感作用存在浓度效应,同时发现小偃 22 号小麦种子幼苗的胚根比胚芽对不同基因型小麦成熟期地上部提取液更敏感。本研究以小偃 22 号小麦

表 4 不同染色体组型的小麦成熟期茎叶与颖壳的化感指数比值变化

Table 4 Rate variations of allelopathic effects on stem, leaf and seed shell in the mature wheat materials of different genomes

	总根长			最大根长			苗长		
	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍	原液	稀释 10 倍	稀释 100 倍
AA	0.84	2.04	0.22	4.9	1.2	0.28	1.05	0.77	0.03
AABB	2.89	2.73	0.31	0.85	0.36	0.01	11.91	5.58	0.23
AABBDD	11.12	1.83	2.25	2.12	1.93	10.31	1.87	2.68	6.93

品种作为受体,一方面可以把不同基因型小麦材料的化感作用生物评价规范统一,另一方面可以有效地探索小麦之间的相互影响,如原液时茎叶部和颖壳对小麦幼苗的总根和最大根长的影响均呈抑制作用,但浓度低时有一定的促进作用,因而秸秆覆盖、颖壳还田时应保持适宜的水分条件。Yu(2001)指出象西瓜、葫芦和黄瓜等葫芦科植物存在明显的自毒作用,极易导致土壤病,产生连作障碍^[12]。通过本研究发现不同基因型成熟期地上部材料对小麦幼苗生长影响差异显著,抑制作用明显,与马永清等(1995)研究麦秸的品种差异及其覆盖夏玉米的化感效应结果一致^[13,14],因而可能导致后期小麦大田生产中小麦百粒重和产量受到影响^[15],其中的化感物质是导致不同基因型小麦材料对生殖生长的影响差异的重要原因之一^[16]。

本研究分析不同基因型的小麦染色体组型材料时,发现染色体组型在由 AA 到 AABB 到 AABBDD 的进化过程中,成熟期时地上部的化感作用有逐渐增强的趋势。但 Bertholdsson (2004)从芬兰、瑞典、丹麦等国的大麦种质资源库中筛选 100 年来育种出的 127 个代表品种,进行黑麦草生物评价实验,发现随着新品系的引入,化感基因的分化和稀释,导致大麦种质资源品种的化感作用呈逐渐下降趋势^[17]。实验还发现当染色体组由 AA 到 AABB 到 AABBDD 变化时,不同基因型小麦对总根长的影响茎叶与颖壳化感指数的比值变化逐渐升高,表明了小麦在长期进化过程中,化感物质由颖壳向茎叶转移导致成熟期地上部的抗逆性有逐渐增强的趋势,可能更有利于子实的形成以及种质资源的自我保护性遗传^[18,19],同时产生一定的防御性生理消耗^[20]。对于不同基因型成熟期地上部材料化感物质随进化历程的变化趋势和与根部化感作用的协同进化以及长期处于环境胁迫等各种逆境过程中对不同基因型小麦材料的化感作用的影响,值得进一步深入研究。

参考文献:

[1] 左胜鹏,马永清.小麦化感作用研究进展[J].农业现代化研究,2004,25:Supplement,81-85.
[2] Putnam A R, Duke W B. Biological suppression of weeds: Evidence for

allelopathy in accessions of cucumber[J]. *Science*, 1974, 185: 370-372.
[3] 孔垂华,胡 飞,陈雄辉,等.作物化感品种资源的评价利用[J].中国农业科学,2002,35(9):1159-1164.
[4] Manievel P, Christiane G, Thierry D. Phenolic compounds in a Sahelian sorghum (*Sorghum bicolor*) genotype (ce: 145-66) and associated soils [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(1): 81-92.
[5] Antonio P, Sergio M. Allelopathic potential of pasture weeds: effects on forage legumes[J]. *Quarterly*, 2000, 28(4): 146-156.
[6] Naumov G F, Podoba L V, Kuforiji O A, Nikolaenko A.N., Yelnikova V. A.Stimulatory allelopathic effects of germinating seed exudates on field crops[J]. *Allelopathy Journal*, 2004, 13(1): 37-46.
[7] 张改生,曹海录.小麦非整倍体及其在育种中的应用[J].陕西农业科学,1988,1-5.
[8] 李善林,王南金.小麦化感作用物的提取、分离及其对白茅的杀除效果[J].植物保护学报,1997,24(1):81-84.
[9] Leather G R. and Einhellig F A. Bioassays in the study of allelopathy[A]. In: Putman A. R. and Tang C. S. Ed. The Science of Allelopathy[C]. New York: John Wiley & Sons, 1986.133-145.
[10] Williamson G B and Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. *Journal of Chemistry Ecology*, 1988, 14(1): 181-187.
[11] Huang Z Q, Haig T, Wu H W, et al. Correlation between phytotoxicity on annual ryegrass (*Lolium rigidum*) and production dynamics of allelochemicals within root exudates of an allelopathic wheat[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29(10): 2263-2279.
[12] Yu J Q, Shou S Y, Qian Y R, Zhu Z J, Hu W H. Autotoxic potential of cucurbit crops[J]. *Plant and Soil*, 2000, 223 (1-2): 147-151.
[13] 马永清,陈素英,钟冠昌.不同品种麦茬杂草生长差异性初步研究[J].农业现代化研究,1995,16(5):54-56.
[14] 马永清,韩庆华.麦秸覆盖对夏玉米生长发育及产量的影响[J].华北农学报,1995,10(1):106-110.
[15] 马瑞霞,刘秀芬,袁光林,等.麦秸腐解产生的化感物质对小麦生长及产量影响的小试结果[J].环境科学,1996,17(3):11-12.
[16] Wu H W, Haig T, Pratley J. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): cultivar difference in the exudation of phenolic acids[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2001, 49(8): 3742-3745.
[17] Bertholdsson N O. Variation in allelopathic activity over 100 years of barley selection and breeding[J]. *Weed Research*, 2004, 44(2): 78-86.
[18] Rizvi J H., Rizvi V, Tahir M, Rahimian M H, Shimi P, and Atri T. Genetic variation in allelopathic activity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype[J]. *Wheat Information Service*, 2000, 91: 25-29.
[19] Wu H W, Pratley J, Ma W, Haig T. Quantitative trait loci and molecular markers associated with wheat allelopathy[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, 107(8): 1477-1481.
[20] Siemens D H., Garnaer S H., Mitchell-Olds T, Callaway R M. Cost of defense in the context of plant competition: Brassica rapa may grow and defend[J]. *Ecology*, 2002, 83(2): 505-517.