

## 间甲酚对盆栽小麦间作蚕豆生产力及根重的影响\*

柴 强

(甘肃农业大学农业生态工程研究所 兰州 730070)

**摘 要** 盆栽试验研究浓度为  $0(A_0)$ 、 $150 \times 10^{-6} \text{ mol/kg}(A_1)$ 、 $300 \times 10^{-6} \text{ mol/kg}(A_2)$  和  $450 \times 10^{-6} \text{ mol/kg}(A_3)$  的间甲酚对小麦间作蚕豆、单作小麦和蚕豆生产力及根冠比的影响,结果表明: $A_0 \sim A_3$  4 个浓度下,成熟期间作小麦产量相对于单作分别提高 59.26%、25.16%、-44.33%、-74.15%,间作蚕豆产量相对于单作分别提高 -8.79%、5.52%、13.40%、160.38%。间作群体中两种作物对化感物质适应的补偿作用形成了间作稳产的重要基础。低浓度间甲酚对间作经济产量和收获指数的化感正效应大于单作,但高浓度时在间作中产生的负效应较小; $A_1$  和  $A_3$  浓度间甲酚作用下,小麦间作蚕豆根冠比小于单作,间作具有较高的将光合产物转化为地上组织的特点。

**关键词** 间作 化感作用 收获指数 生产力 根重 间甲酚 小麦 蚕豆

**Effect of 3-methyl-phenol on root weight and productivity in wheat-faba bean intercropping.** CHAI Qiang (Institute of Agro-Ecology Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China), *CJEA*, 2007, 15(4): 109~112

**Abstract** A pot experiment was carried out to study the effect of 3-methyl-phenol on the productivity and root/canopy ratio in wheat-faba bean intercropping and mono-cropping at concentrations of  $0(A_0)$ ,  $150 \times 10^{-6} \text{ mol/kg}(A_1)$ ,  $300 \times 10^{-6} \text{ mol/kg}(A_2)$  and  $450 \times 10^{-6} \text{ mol/kg}(A_3)$ . Results show that in the maturity stage, yield of intercropped wheat improves by 59.26%, 25.16%, -44.33% and -74.15% compared to mono-cropping treatments of  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  and  $A_3$  respectively. Yield of intercropped faba bean improves by -8.79%, 5.52%, 13.40% and 160.38% respectively. In intercropping system, compensation for different components is an important function of yield stability. 3-methyl-phenol shows greater positive economic benefit and yield harvest index under intercropping than under mono-cropping system at  $A_1$  dose, but as the dosage improves to  $A_2$  and  $A_3$ , 3-methyl-phenol shows less negative economic effect and yield harvest under intercropping than under mono-cropping system. Root/canopy ratio of wheat and faba bean intercropping decreases at 3-methyl-phenol dose of  $A_1$  and  $A_3$ . Compared with mono-cropping system, intercropping shows an advantage of transferring photosynthesis to above-ground biomass.

**Key words** Intercropping, Allelopathic effect, Harvest index, Productivity, Root weight, 3-methyl-phenol, Wheat, Faba bean

(Received Nov. 18, 2005; revised Feb. 19, 2006)

在由两种或两种以上作物组成的复合群体中,不同作物间通过次生物质产生的化感作用普遍存在<sup>[1~3,5]</sup>,但通过化感作用途径调控复合群体的研究十分薄弱。本研究以小麦根系分泌物间甲酚为参试化感物质,研究了不同浓度间甲酚对小麦蚕豆间作群体生产力和根冠比的影响,旨在探索化感作用下包括供体植物的复合群体生产力和根冠比的变化,并为通过化感作用途径调控复合群体提供理论依据。

### 1 试验材料与方 法

供试春小麦(*Triticum aestivum*)为“永良 4 号”,春蚕豆(*Vicia sativa*)为“临蚕 5 号”。供试土壤为灌淤土,取自兰州植物园,其全 N 和全 P 含量分别为 0.766g/kg、73.2g/kg,有效氮 21.06mg/kg,速效磷 29.18mg/kg, pH 8.24。施 N 水平为纯 N100mg/kg(土),施 P 水平为  $P_2O_5$ 100mg/kg(土)。参试化感物质为间甲酚,分子式  $C_7H_{14}O$ 。

试验采用盆栽法,在甘肃农业大学农学基地网室进行,试验用盆高与直径都为 30cm。供试土壤风干后过 2mm 筛,播前将土壤与肥料混合均匀,每盆装土 15kg,浇水至田间持水量的 60%,表土稍干后播种,播种种子均用  $H_2O_2$  消毒。单作小麦每盆留主茎苗 30 株,蚕豆保苗 8 株,间作时密度均减半,各占盆面积的 1/2。小麦 3 月 15 日播种,蚕豆 3 月 25 日播种,每处理重复 3 次。5 月 10 日用间甲酚按  $0(A_0)$ 、 $0.2565 \text{ g/盆}[A_1]$ ,

\* 国家自然科学基金(30170547)、甘肃省自然科学基金项目(ZS021-A25-044-N)资助

收稿日期:2005-11-18 改回日期:2006-02-19

$150 \times 10^{-6} \text{ mol/kg(土)}$ ],  $0.5130 \text{ g/盆}$  [ $A_2, 300 \times 10^{-6} \text{ mol/kg(土)}$ ] 和  $0.7695 \text{ g/盆}$  [ $A_3, 450 \times 10^{-6} \text{ mol/kg(土)}$ ] 做相关处理。作物生长期充分供水,在两种作物的营养与生殖生长并进期(5月27日,小麦拔节期)和收获期(7月9日)分别测定地上干物质量和根干物质量。

化感作用强度用响应指数  $RI$  表示<sup>[6]</sup>:

$$RI = 1 - C/T (T \geq C) \quad \text{或} \quad RI = T/C - 1 (T < C) \quad (1)$$

式中,  $C$  表示对照值,本试验中以无间甲酚处理作对照;  $T$  表示处理值,若  $0 < RI < 1$ ,化感物质具有正效应,当  $-1 < RI < 0$  时,化感物质具有负效应。

间作与单作生产力差异采用土地当量比  $LER$  衡量<sup>[7]</sup>:

$$LER = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{y_{ii}} \quad (2)$$

式中,  $y_i$  表示第  $i$  个作物的间作产量,  $y_{ii}$  表示第  $i$  个作物单作时的产量。当  $LER > 1$  时,说明间作较单作具有增产作用,反之,间作较单作减产。试验结果用 SPSS11.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 间甲酚对小麦、蚕豆及小麦间作蚕豆地上产量的影响

由表 1 可知,小麦、蚕豆两作生长盛期,在  $A_0 \sim A_2$  水平处理中,小麦间作蚕豆  $LER$  均小于 1,当间甲酚浓度达到  $A_3$  水平时,  $LER$  大于 1;收获期,除  $A_2$  水平下的间作  $LER < 1$ ,其他间作均表现为增产作用,其中间甲酚浓度为  $A_3$  水平时间作相对于单作的增产作用最显著。比较不同间作的生物产量发现,  $A_1$  浓度间甲酚处理在两个生育时期均表现为增产作用,与  $A_0$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  相比,生物产量在生长盛期分别提高 13.51%、21.78%、51.56%,成熟期分别提高 2.03%、58.42%、112.92%。 $A_0 \sim A_3$  水平下,间作小麦较单作小麦产量在 5 月 27 日和 7 月 9 日的增减量分别为 -51.99%、-45.29%、-55.06%、-54.46% 和 59.26%、25.16%、-44.33%、-74.15%,间作蚕豆较单作的产量增减量分别为 32.87%、26.48%、29.81%、79.94% 和 -8.79%、5.52%、13.40%、160.38%。

表 1 不同浓度间甲酚对小麦间作蚕豆地上干物质量的影响\*

Tab.1 Effect of 3-methylphenol on shoot biomass of wheat-faba bean intercropping system at different concentrations

浓度 Concentration	地上干物质量/ $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ Shoot biomass									
	小麦拔节期(05-27) Wheat jointing stage					收获期(07-09) Harvest stage				
	单作小麦	单作蚕豆	间作小麦	间作蚕豆	LER	单作小麦	单作蚕豆	间作小麦	间作蚕豆	LER
	Mono-cropping wheat	Mono-cropping faba bean	Inter-cropping wheat	Inter-cropping faba bean		Mono-cropping wheat	Mono-cropping faba bean	Inter-cropping wheat	Inter-cropping faba bean	
$A_0$	1.04a	4.16ab	0.50b	5.53a	0.9044b	1.78b	8.87a	2.83a	8.09a	1.2524b
$A_1$	1.15a	4.78a	0.63a	6.04a	0.9060b	1.94a	9.47a	2.42b	9.99a	1.1534b
$A_2$	1.03ab	3.97b	0.46b	5.16a	0.8737b	1.69b	7.52b	0.94c	8.53b	0.8453c
$A_3$	0.91b	2.22c	0.41c	3.99b	1.1274a	1.48c	2.89c	0.38d	7.53c	1.4312a

\* 表中数字后小写字母表示 5% 水平差异显著,下同。

表 2 间甲酚对小麦间作蚕豆地上干物质量产生的化感效应

Tab.2 Allelopathic effect of 3-methylphenol on shoot biomass of wheat-faba bean intercropping system

项 目 Item	小麦拔节期(05-27) Wheat jointing stage			收获期(07-09) Harvest stage		
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1$	$A_2$	$A_3$
单作小麦	0.0972c	-0.0032a	-0.1250a	0.0831b	-0.0511a	-0.1663b
单作蚕豆	0.1285bc	-0.0462a	-0.4671c	0.0626b	-0.1527ab	-0.6743c
间作小麦	0.2078a	-0.0669a	-0.1700ab	-0.1429c	-0.6683c	-0.8647d
间作蚕豆	0.0844c	-0.0682a	-0.2784b	0.1897a	0.0507a	-0.0701a
小麦间作蚕豆	0.1190bc	-0.0679a	-0.2510b	0.0199bc	-0.3559b	-0.5208c

间作小麦表现为负效应,但对其他作物表现为促进作用,对间作蚕豆的促进作用显著高于其他处理;  $A_2$  水平下,间作小麦所受化感抑制作用显著大于其他处理,单作小麦与间作小麦受抑制作用差异显著,单作蚕豆与间作蚕豆受抑制作用差异不显著;  $A_3$  浓度的间甲酚对间作蚕豆的化感负效应显著低于其他处理,间作小麦

间甲酚对不同作物产生的化感效应见表 2。除收获期间作蚕豆外,浓度大于  $A_1$  的间甲酚对不同作物产量均表现为负效应,随浓度的增大不同作物减产幅度增大。收获期,相同间甲酚浓度不同作物比较,  $A_1$  水平的间甲酚对

受抑程度最大。

间甲酚对不同作物经济产量和生物产量的影响相似,但对收获指数的影响与生物产量不同(表3)。比较发现,间甲酚对小麦收获指数的影响小于蚕豆,对间作作物的影响大于单作作物。对小麦而言,间甲酚浓度不超过 A<sub>2</sub> 水平时,其收获指数与 A<sub>0</sub> 水平差异不显著,但蚕豆在间甲酚浓度达 A<sub>2</sub> 水平时收获指数显著降低。与 A<sub>0</sub> 水平相比, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 水平下作物收获指数增减量分别为:单作小麦 4.71%、-10.59%、-31.47%,间作小麦 3.15%、-4.72%、-9.97%,单作蚕豆 2.09%、-23.26%、-51.63%,间作蚕豆 3.15%、-24.55%、-35.14%。

表3 间甲酚作用下不同作物经济产量与收获指数的差异

Tab.3 The economic yield and harvest index differences of crops at different concentrations of 3-methylphenol

浓度 Concentration	单作小麦		单作蚕豆		间作小麦		间作蚕豆	
	Mono-cropping wheat		Mono-cropping faba bean		Intercropping wheat		Intercropping faba bean	
	经济产量	收获指数	经济产量	收获指数	经济产量	收获指数	经济产量	收获指数
	Economic yield	Harvest index	Economic yield	Harvest index	Economic yield	Harvest index	Economic yield	Harvest index
A <sub>0</sub>	18.11a	0.340a	30.53a	0.430a	16.15a	0.381a	14.37b	0.444a
A <sub>1</sub>	20.66a	0.356a	33.24a	0.439a	14.29a	0.393a	18.31a	0.458a
A <sub>2</sub>	15.38ab	0.304a	19.82b	0.330b	5.11b	0.363ab	11.41c	0.335b
A <sub>3</sub>	10.34b	0.233b	4.82c	0.208c	1.97c	0.343b	8.68d	0.288c

间甲酚对小麦、蚕豆在单作和间作的经济产量和收获指数产生的化感作用见表4。3个间甲酚浓度梯度下,单作小麦经济产量受抑制程度显著低于间作小麦;单作蚕豆经济产量在 A<sub>1</sub> 水平下受间甲酚的化感正效应显著低于间作,但 A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 水

表4 间甲酚对不同作物经济产量与收获指数的化感效应

Tab.4 Allelopathic effect of 3-methylphenol on economic yield and harvest index of different crops

项目 Item	经济产量 Economic yield			收获指数 Harvest index		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
单作小麦	0.1234ab	-0.1507a	-0.4290a	0.0449a	-0.1059b	-0.3147b
单作蚕豆	0.0815b	-0.3508b	-0.8421b	0.0205b	-0.2326c	-0.5163c
间作小麦	-0.1152c	-0.6836c	-0.8780b	0.0305b	-0.0472a	-0.0997a
间作蚕豆	0.2152a	-0.2060a	-0.3960a	0.0306b	-0.2455c	-0.3514b

平下间甲酚对单作蚕豆经济产量产生的化感负效应显著大于间作。A<sub>1</sub> 浓度的间甲酚对两种作物收获指数均具有提高作用,且对单作小麦提高作用显著大于蚕豆和间作小麦;间甲酚浓度增大到 A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 时,间作小麦收获指数受抑作用显著低于单作;单作蚕豆和间作蚕豆收获指数受 A<sub>2</sub> 浓度间甲酚的负效应差异不显著,浓度达到 A<sub>3</sub> 水平时,间作蚕豆收获指数受抑制程度显著低于单作蚕豆。

2.2 间甲酚对小麦、蚕豆及小麦间作蚕豆根重的影响

表5 间作及间甲酚对不同处理根干重的影响

Tab.5 Effect of intercropping and 3-methylphenol on dry root weight of different crops

项目 Item	浓度 Concentration	小麦拔节期(05-27)Wheat elongation stage			收获期(07-09)Harvest stage		
		单作小麦 Mono-cropping wheat	单作蚕豆 Mono-cropping faba bean	小麦间作蚕豆 Wheat-faba bean intercropping	单作小麦 Mono-cropping wheat	单作蚕豆 Mono-cropping faba bean	小麦间作蚕豆 Wheat-faba bean intercropping
根干重/g·盆 <sup>-1</sup>	A <sub>0</sub>	4.45a	4.90a	4.34a	2.80b	8.01a	6.04a
	A <sub>1</sub>	4.17a	4.68a	4.57a	3.10a	7.19b	5.10b
	A <sub>2</sub>	4.04ab	4.22b	4.36a	2.63b	6.39c	4.29c
	A <sub>3</sub>	3.46b	3.83c	4.16a	2.40c	3.90d	3.12d
化感效应	A <sub>1</sub>	-0.0629	-0.0449	0.0503	0.0968	-0.1024	-0.1556
	A <sub>2</sub>	-0.0921	-0.1388	0.0046	-0.0607	-0.2022	-0.2897
	A <sub>3</sub>	-0.2225	-0.2184	-0.0415	-0.1429	-0.5131	-0.4834

表5表明,两作生长盛期, A<sub>3</sub> 浓度下,单作小麦根干重较 A<sub>0</sub> 水平低 22.25%, 差异显著;单作蚕豆在间甲酚浓度达到 A<sub>2</sub> 水平时根干重已显著低于 A<sub>0</sub> 水平,复合群体根干重在 4 种溶液作用下的差异不显著。以单作

值的一半之和为对照值研究单作与复合群体的差异发现, A<sub>0</sub>~A<sub>3</sub> 4 种溶液作用下的复合群体根干重较对照分别增加 -7.17%、3.28%、5.57% 和 14.13%, 即随化感物质浓度的提高,间作群体总根重相对于单作的优势增大。作物成熟时,3 种植模式在不同溶液作用下的差异增大,其中间作蚕豆和小麦间作蚕豆在相邻浓

度间的差异均达到显著水平。比较单作与间作根系差异可以看出,间作总根重小于单作对照,  $A_0 \sim A_3$  4 种溶液作用下,随间甲酚浓度的增大间作总根量与单作对照差异加大。

间甲酚对 3 种植模式根干重产生的化感效应不同。从成熟期结果看,化感物质  $A_1$  和  $A_2$  水平下对复合群体根干重产生的抑制作用均大于相应单作对照,但在  $A_3$  水平下对蚕豆根干重的抑制作用最大,该结果与化感物质对地上组织产生的化感作用结果完全相符。

### 2.3 间甲酚作用下不同模式的根冠比

表 6 间甲酚对不同模式根冠比的影响

Tab.6 Effect of 3-methylphenol on weight ratio of root and canopy in different cropping patterns

浓度 Concentration	小麦拔节期(05~27) Wheat elongation stage			收获期(07~09) Harvest stage		
	单作小麦 Mono-cropping wheat	单作蚕豆 Mono-cropping faba bean	小麦间作蚕豆 Wheat-faba bean intercropping	单作小麦 Mono-cropping wheat	单作蚕豆 Mono-cropping faba bean	小麦间作蚕豆 Wheat-faba bean intercropping
	$A_0$	0.143	0.147	0.147	0.053	0.113
$A_1$	0.121	0.122	0.136	0.053	0.095	0.067
$A_2$	0.130	0.133	0.158	0.052	0.106	0.089
$A_3$	0.127	0.216	0.188	0.054	0.169	0.087

不同作物两个生育时期根冠比随间甲酚的变化趋势相似(见表 6),除成熟期单作小麦外,其他处理在  $A_1$  水平下的根冠比最小;  $A_3$  水平下,除成熟期间作外,其他处理的根冠比均大于较低浓度的间甲酚处理。这些现象说明,低浓度间甲酚作用下不同作物地上生物量的增大幅度大于根系,当间甲酚浓度增大时,根干重受抑制程度小于地上组织,使根冠比增大。以单作小麦和单作蚕豆根冠比一半之和为对照,成熟期  $A_0 \sim A_3$  水平下小麦间作蚕豆根冠比与对照相比增加幅度分别为  $-2.41\%$ 、 $-9.46\%$ 、 $12.66\%$  和  $-21.97\%$ ,即间作在  $A_0$ 、 $A_1$  和  $A_3$  浓度的间甲酚作用下根冠比小于单作,表明间作在这 3 种情况下将合成物质转化为地上组织的能力大于单作。

象说明,低浓度间甲酚作用下不同作物地上生物量的增大幅度大于根系,当间甲酚浓度增大时,根干重受抑制程度小于地上组织,使根冠比增大。以单作小麦和单作蚕豆根冠比一半之和为对照,成熟期  $A_0 \sim A_3$  水平下小麦间作蚕豆根冠比与对照相比增加幅度分别为  $-2.41\%$ 、 $-9.46\%$ 、 $12.66\%$  和  $-21.97\%$ ,即间作在  $A_0$ 、 $A_1$  和  $A_3$  浓度的间甲酚作用下根冠比小于单作,表明间作在这 3 种情况下将合成物质转化为地上组织的能力大于单作。

### 3 小结与讨论

间甲酚对不同间作作物生物产量的影响不同,当浓度达到  $A_2$  水平时小麦单株生产力低于单作,但间作蚕豆在间甲酚作用下较单作均表现为增产作用。小麦、蚕豆单作时,间甲酚对其生产力的影响相反。这些现象说明,由包括供体作物组成的间作群体中,当化感物质浓度较高时,由于不同作物之间的补偿作用而受化感物质的影响相对小于单作,形成了间作群体稳产的重要基础。

当间作群体中存在化感物质,且浓度低于界限浓度时,化感物质有利于光合产物转化为经济产品。间作群体中,不同组分通过根系向土壤释放分泌物,这些分泌物中的化感物质在正常环境下的浓度多低于界限浓度,形成了间作高产的基础之一。同时,间作作物收获指数受高于界限浓度化感物质的负效应小于单作,形成化感物质作用下间作比单作具有更高的稳产特性。

两种作物生长盛期,间甲酚对单作根重的抑制作用显著大于间作,但成熟后,化感物质对单作和间作作物根重的影响完全相反。造成这一现象的可能原因:一是由不同处理根区化感物质浓度的动态变化所致,即作物生长前期,由于小麦产生和积累的间甲酚数量有限,化感作用主要来自外源间甲酚,其作用浓度与间甲酚界限浓度差异不大,但随小麦根系分泌间甲酚数量的不断累积,使土壤特别是小麦根际区间甲酚总浓度缓慢提高,超过界限浓度后表现为显著抑制作用;二是间作在生长后期干物重由地下向地上部的转化比例大于单作,使得其总根重小于单作对照。本研究中,间作在  $A_0$ 、 $A_1$  和  $A_3$  浓度的间甲酚作用下根冠比小于单作,说明间作具有比单作更高的将光合产物富集在地上组织的优势。

植物的化感作用受土壤、水分、光照、生物等多重因子的影响<sup>[4]</sup>,间作群体中由于作物种类的增加,群体内的微生态环境不同于单作群体。故复合群体中生态因子与化感物质间的互作关系值得进一步研究。

### 参 考 文 献

- 曹享云. 营养胁迫与根系分泌物. 土壤学进展, 1994, 22(3): 27~33
- 吴 辉, 郑师章. 根分泌物及其生态效应. 生态学杂志, 1992, 11(6): 42~47
- 黄高宝, 柴 强. 植物化感作用的表现形式及开发应用研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(5): 172~174
- 黄高宝, 柴 强, 黄 鹏. 植物化感作用影响因素的再认识. 草业学报, 2005, 14(2): 16~22
- Rice E. L. Allelopathy (2ed edition). London: Academic Press, 1984. 1~50, 309~315
- Willamson G. B., Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. J. Chem. Ecol., 1988, 14(1): 181~187
- Wiley R. W. Intercropping: its importance and research needs. II. Agronomy and research approaches. Field Crop Abstracts, 1979, 32(2): 73~85