

不同供水水平下间甲酚和间作对小麦、蚕豆 耗水特性及产量的影响^{* *}

罗照霞 柴强^{**}

(甘肃农业大学农学院 兰州 730070)

摘要 通过盆栽试验,研究了3个供水水平(田间持水量的45%、60%和75%)和间甲酚对小麦间作蚕豆耗水量及产量的影响。结果表明:间作总耗水量较相应单作总耗水量的加权平均低12.87%~31.56%,间甲酚对不同作物全生育期总耗水量的作用不显著,但供水和种植模式与作物总耗水量间的相关性极显著。间甲酚对小麦、蚕豆的产量均具有负效应,提高供水量可弱化间甲酚对小麦产量的负效应,但不同供水水平下间甲酚对蚕豆经济产量的化感作用差异不显著。间作生物产量和经济产量较相应单作的加权平均分别高15.3%~37.41%和5.98%~31.27%,间作同时具有弱化间甲酚对蚕豆化感负效应的作用。

关键词 供水水平 间甲酚 化感作用 间作 单作 耗水量 小麦 蚕豆

中图分类号:S512.1;S311 文献标识码:A 文章编号:1671-3990(2008)06-1478-05

Effect of 3-methyl phenol at different rates of irrigation and intercropping on water consumption, and yield of wheat and faba-bean

LUO Zhao-Xia, CHAI Qiang

(College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract A pot experiment was conducted to investigate the effect of 3-methyl phenol and the rate of irrigation on water consumption and yield of wheat and faba-bean in monocropping and intercropping systems. Irrigation was done to keep soil water contents to be 45%, 60% and 75% of field capacity at 3-methyl phenol concentration of $300 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Results show that the total water consumption of wheat and faba-bean under intercropping is 12.87% ~ 31.56% lower than that for wheat and faba-bean under monocropping. Allelopathic effect (AE) of 3-methyl phenol on water consumption of different crops is insignificant; but irrigation rate, and cropping pattern are significant correlated with total water consumption. 3-methyl phenol negatively affects yield of wheat and faba-bean, but that effect on wheat is weakened by enhanced irrigation rate, while 3-methyl phenol AE on faba-bean yield under different irrigation rates is not significantly different. Both biological and economic yield of intercropping systems increases by 15.3% ~ 37.41% and 5.98% ~ 31.27% respectively, in comparison with monocropped wheat and faba-bean yield. Intercropping as well weakens the negative effect of 3-methyl phenol AE on faba-bean yield.

Key words Irrigation rate, 3-Methyl-phenol, Allelopathy, Intercropping, Monocropping, Water consumption, Wheat, Faba-bean

(Received Nov. 11, 2007; accepted March 6, 2008)

间作套种是提高单位耕地产出率、实现农产品多样化、解决耕地与人口数量逆向增长的重要手段。随着水资源供给对农业生产制约性的日益增大,限量供水条件下间作套种水分高效利用理论和技术已成为多熟种植领域的研究重点。研究表明,

合理的间套作并未增加作物对水分的需求量,但提高了作物的水分利用效率(WUE)^[1-5],间套群体的水分利用效率受灌溉制度、田间结构、作物组成等多种因素的影响。由两种或两种以上作物组成的复合群体中,作物间通过次生物质产生的化感作用

* 国家自然科学基金项目(30771264)、国家科技支撑计划(2007BAD89B17、2007BAD46B06)、甘肃省中青年基金(3YS061-A25-021)和甘肃农业大学创新基金(GAU-CX0502)资助

** 通讯作者:柴强(1972~),男,博士,副教授,主要从事多熟种植、植物化感和节水农业教学与科研工作。E-mail: chaiq@gsau.edu.cn
罗照霞(1983~),女,硕士生,主要进行多熟种植节水理论与技术研究。E-mail: luozhaoxi@mail@gmail.com

收稿日期:2007-11-11 接受日期:2008-03-06

普遍存在。据 Einhellig^[6] 研究,即使轻微的水分胁迫也可以加剧酚酸类物质对发芽和幼苗生长的抑制,并与温度胁迫间存在累加效应。化感作用在水分胁迫下变得更加显著,胁迫条件是产生化感抑制作用的主要原因之一。

复合群体中,由于不同作物的耗水特性不同,化感物质对不同作物产生的化感效应不同,探索基于复合群体特性且能优化作物相互关系的水分调控理论,对构建化感物质作用下或存在类似化学污染物复合群体的水分高效利用技术意义重大^[7,8]。小麦生长过程中,根系会分泌具有显著化感作用的间甲酚^[9],这种物质不仅可影响作物光合产物的累积,同时对土壤微生物种群结构具有明显影响^[10]。本研究以西北普遍应用的小麦间作蚕豆为研究对象,以间甲酚为参试化感物质,在不同供水水平和间甲酚作用下对3种植模式的耗水特性和产量进行了量化研究,对寻求复合群体高效调控技术具有一定指导作用。

1 材料与方法

1.1 供试土壤及作物

供试土壤采自甘肃农业大学试验田,为黄河灌淤土,田间持水量为24.4%,全氮含量 $1.766 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $0.732 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷 $29.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH为8.24;施肥量为纯N $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (土)、 P_2O_5 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (土);间甲酚由天津化工厂生产。供试春小麦(*Triticum aestivum*)为“永良4号”,由甘肃省农业科学院提供;春蚕豆(*Vicia sativa*)为“临蚕5号”,由临夏州农业科学研究所提供。

1.2 试验方法

试验设3种因素,分别为供水水平、种植模式和间甲酚的应用。供水设3个水平,分别为田间持水量的45%(I₁)、60%(I₂)、75%(I₃);种植模式为单作小麦(W)、单作蚕豆(B)、小麦间作蚕豆(WB);间甲酚设施 $300 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (土)(A)和不施两个水平(加相应量的淡水)。共组合为18个处理,即WI₁、WI₂、WI₃、BI₁、BI₂、BI₃、WBI₁、WBI₂、WBI₃、AWI₁、AWI₂、AWI₃、ABI₁、ABI₂、ABI₃、AWBI₁、AWBI₂、AWBI₃,每处理重复3次。

本试验采用盆栽法,试验用瓦氏盆高与直径都为30 cm。供试土壤风干后过2 mm筛,播前将土壤与肥料混合均匀,每盆装土15 kg,浇水至田间持水量的60%,表土稍干后播种。小麦3月23日播种,蚕豆4月1日播种。单作小麦每盆种8穴,每穴留主茎苗5株,单作蚕豆每盆保苗8株,间作时密度均减半,各占盆面积的1/2。4月29日蚕豆苗齐时进行间甲酚处理,即将预先配制好的浓度为 $9 \times$

$10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的间甲酚溶液按每盆500 mL加入相应处理,其他处理加500 mL淡水,此后开始控水处理,拉开不同处理的水分梯度;试验期间用称重法控制各处理水分,每天称重1次。

两作收获时,按盆收获,测定不同处理的生物产量和经济产量。

1.3 分析方法

化感效应指数用 Willimson^[11]法分析,表达式如下:

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

式中,RI表示化感效应指数,C表示对照值,T表示处理值。当 $0 < RI < 1$ 时,化感物质具有促进作用;当 $-1 < RI < 0$ 时,化感物质具有抑制作用。

2 结果与分析

2.1 不同处理的耗水特性

2.1.1 小麦间作蚕豆与单作蚕豆、单作小麦耗水量的差异

尽管不同的间套作消耗的水分绝对量因作物类型和环境条件差异很大,但与相应单作(加权平均)比较,水分消耗量的差异很小,一般变化在 $-6\% \sim +7\%$ 之间,这种特性在间作条件下表现更明显^[4]。本研究中(表1),在45%、60%供水水平下无间甲酚和45%供水的间甲酚处理中,小麦间作总耗水量均小于相应单作,但在其他处理中间作耗水量均处于两种单作总耗水量之间,证明间作未增加作物的总耗水量。以两种单作作物耗水量的加权平均作对照比较发现,无间甲酚3个供水水平下的间作总耗水量较单作减小 $12.87\% \sim 31.56\%$,且随供水水平的降低间作较单作耗水量减少的幅度加大;间甲酚处理中,间作耗水量较单作降低 $13.91\% \sim 22.66\%$,75%供水水平下的间作较单作耗水量下降幅度最大。随供水水平的提高,作物总耗水量显著增大,说明在农业生产中选择适宜的灌水量是同时提高收益与水分利用效率的重要技术。

2.1.2 间甲酚对不同模式耗水量的影响及因子间的互作效应

不同供水水平下,间甲酚对不同模式耗水量产生的影响不同(图1)。45%供水水平下,间甲酚使3种模式的总耗水量均下降,且对单作小麦耗水量的影响最大,对小麦间作蚕豆耗水量的影响相对较小。60%和75%供水水平下,间甲酚使3种模式的耗水量均有不同程度的增大。其中,60%的供水处理中,间甲酚对间作耗水量的增大作用显著高于单作小麦和单作蚕豆,而75%供水水平下间甲酚对间作耗水量的增大作用小于两个单作。

表 1 供水及间甲酚对小麦间作蚕豆耗水量的影响
Tab. 1 Effect of water supply rates and 3 - methyl-phenol on water consume amount of wheat faba-bean intercropping

供水水平 Water supply rate (%)	无间甲酚处理 No 3 - methyl-phenol treatment			间甲酚处理 3 - methyl-phenol treatment		
	单作小麦 Monocropped wheat	单作蚕豆 Monocropped faba-bean	小麦/蚕豆 Wheat/faba-bean intercropping	单作小麦 Monocropped wheat	单作蚕豆 Monocropped faba-bean	小麦/蚕豆 Wheat/faba-bean intercropping
	45	4 713 c (a)	4 287 c (a)	3 080 c (a)	3 607 c (a)	3 530 c (a)
60	6 507 b (b)	10 040 b (a)	6 040 b (b)	6 667 b (b)	11 570 b (a)	7 850 b (ab)
75	12 473 a (a)	17 727 a (a)	13 157 a (a)	13 220 a (a)	20 347 a (a)	13 917 a (a)

小写字母表示处理在 5% 水平上差异显著, 括号中字母表示同一供水水平不同模式间的耗水量差异。The small letters mean the difference between treatments is significant at the level of 5%, and the letters in brackets mean the difference between cropping patterns at the same water supply rate is significant.

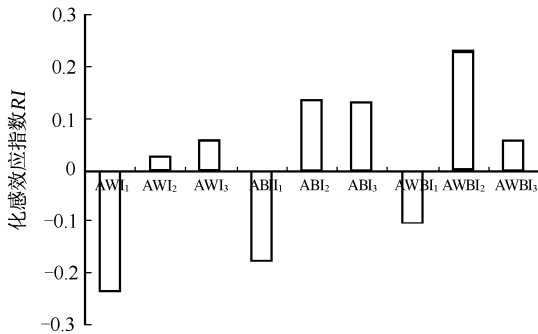


图 1 间甲酚对不同模式耗水量的化感作用

Fig. 1 Allelopathic effect of 3 - methyl-phenol on water consumption of different cropping systems

将间理作为主区, 供水作为副区, 种植模式作为副副区进行统计分析, 结果表明, 间甲酚对耗水量的效应不显著, 但供水水平和种植模式对耗水总量的效应达到极显著水平 ($F_{\text{供水}} = 71.093 < F_{0.01}$; $F_{\text{模式}} = 8.267 < F_{0.01}$)。各因子之间的互作用均不显著。

2.1.3 供水及间甲酚作用下不同模式的耗水动态

供水及间甲酚对 3 种植模式全生育期耗水动态的影响与不同模式总耗水量相似 (表 2)。在 75% 供水水平下, 3 种模式不同生育阶段的耗水量均明显高于 60% 和 45% 供水水平; 3 种植模式全生育期耗水量的动态变化趋势基本相同, 说明种植模式、供水对不同作物耗水规律的影响较小, 在间套作的管理中根据作物的不同特性制定相应的措施至关重要。对比相同供水、种植模式间甲酚和未加间甲酚处理的耗水趋势发现, 间甲酚对作物耗水特性影响较小, 说明在存在化感物质的作物生长系统内仍可根据作物正常的耗水规律制定水分管理措施。

2.2 不同处理的产量差异

供水量显著影响小麦和蚕豆的经济产量和生

物产量, 随供水水平的提高, 不同模式、不同作物的产量均有不同程度的提高。当供水水平达到田间持水量的 60% 以上后, 增加供水对小麦、蚕豆产量增加作用基本不显著 (表 3)。表明在不同种植模式、有无化感物质的作物群体内, 60% 的田间持水量可作为获取最大水分效益的参考指标。

以单作产量加权平均作对照, 以两种间作物的混合产量为间作产量指标, 研究间作对小麦、蚕豆产量的影响。结果表明, 无间甲酚处理中间作相对于单作的生物产量在 45%、60% 和 75% 供水水平下的增减幅度分别为 15.3%、26.98% 和 37.41%, 经济产量的增减幅度分别为 5.98%、26.01% 和 21.74%; 间甲酚作用下间作予单作 3 个供水梯度下的生物产量和经济产量差异分别为 26.11%、23.27%、19.91% 和 13.79%、17.38%、31.27%。即在无化感物质条件下, 间作相对于单作的生物产量优势随供水量的提高而持续提高, 但经济产量在 60% 供水梯度下的优势最大, 表明 60% 的供水梯度可作为促进间作小麦、蚕豆光合产物有效化的参考指标之一。间甲酚作用下间作相对于单作的产量优势随供水量的提高而下降, 但经济产量的变化趋势相反, 说明在存在化感物质的复合群体中可通过增加供水的方式促进光合产物转化为经济产品, 以弥补生物产量下降造成的产量损失。

在不同供水水平及不同种植方式下, 间甲酚对小麦、蚕豆的生物产量和经济产量均具有负效应 (表 4)。增加供水可显著降低间甲酚对间作和单作小麦及单作蚕豆生物产量的化感作用, 但间作蚕豆在 75% 供水水平所受抑制作用最大。与生物产量所受影响不同, 间甲酚对两种作物经济产量的负效应随供水水平的变化较小, 其中对蚕豆在两种模式和 3 个供水水平下的作用差异均不显著, 小麦经济

表2 不同处理全生育期的耗水动态

Tab.2 Water consumption dynamics of different treatments in the whole growth period

处理 Treatment	日期(月-日) Date(month-day)								
	05-01~	05-09~	05-16~	05-23~	05-30~	06-07~	06-14~	06-21~	06-28~
	05-08	05-15	05-22	05-29	06-06	06-13	06-20	06-27	
WI ₁	8	75	630	963	227	677	937	642	554
WI ₂	327	657	830	777	437	880	1 090	873	637
WI ₃	1 392	1 342	1 317	1 867	1 067	1 483	1 907	1 350	750
AWI ₁	0	23	413	713	233	570	787	401	466
AWI ₂	294	439	710	1 123	350	763	1 197	990	800
AWI ₃	1 708	1 532	1 547	1 933	933	1 567	1 883	1 356	761
BI ₁	240	513	560	730	160	493	600	580	410
BI ₂	1 126	838	1 327	1 120	553	1 047	1 393	1 794	842
BI ₃	2 388	1 866	1 683	2 000	1 150	1 783	2 423	2 389	2 044
ABI ₁	150	343	720	373	137	403	573	553	277
ABI ₂	1 277	1 170	1 263	1 490	770	1 313	1 727	1 446	1 114
ABI ₃	2 892	2 012	2 090	2 417	1 283	2 200	3 133	2 526	1 794
WBI ₁	58	178	440	610	73	380	530	456	354
WBI ₂	273	564	773	943	320	680	993	834	659
WBI ₃	1 329	1 304	1 500	1 767	917	1 517	1 873	1 572	1 378
AWBI ₁	0	100	250	537	23	343	540	452	514
AWBI ₂	650	873	947	1 240	503	930	1 127	921	659
AWBI ₃	1 767	1 417	1 483	1 767	1 017	1 400	2 050	1 611	1 406

表3 不同供水水平及间甲酚作用下的小麦、蚕豆产量

Tab.3 Effect of water supply rates and 3-methyl-phenol on yield of wheat and faba-bean in different cropping systems

处理 Treatment		生物产量 Bio-yield (g·pot ⁻¹)				经济产量 Economical yield (g·pot ⁻¹)			
间甲酚水平 Rate of 3-methyl-phenol (10 ⁻⁶ mol·kg ⁻¹)	供水水平 Water supply rate (%)	单作小麦	间作小麦	单作蚕豆	间作蚕豆	单作小麦	间作小麦	单作蚕豆	间作蚕豆
		Monocropped wheat	Intercropped wheat	Monocropped faba-bean	Intercropped faba-bean	Monocropped wheat	Intercropped wheat	Monocropped faba-bean	Intercropped faba-bean
0	45	46.33 b	27.54 bc	73.62 a	41.61 c	14.89 c	8.32 b	25.25 bc	12.95 b
	60	59.55 a	36.93 a	76.39 a	49.38 b	20.96 ab	13.32 a	28.86 ab	18.07 a
	75	64.37 a	37.92 a	77.57 a	59.6 a	24.49 a	14.03 a	29.69 a	18.95 a
300	45	39.22 c	23.00 c	60.18 b	39.68 c	11.24 c	5.61 c	17.41 d	10.69 c
	60	58.84 a	32.58 b	66.31 ab	44.56 bc	19.08 bc	9.89 ab	22.12 bc	14.29 b
	75	63.39 a	37.81 a	76.67 a	46.16 bc	21.93 ab	12.64 a	20.67 c	15.32 b

不同小写字母表示相同供水和相同间甲酚水平下单作与间作产量在5%水平上差异显著。Different small letters mean the yields difference between monocropped and intercropped crops is significant at the level of 5% that treated by same rate of water and 3-methyl-phenol.

产量在75%供水水平下受间甲酚的负效应显著低于45%供水处理。

间甲酚在单作和间作群体中对小麦、蚕豆产量的化感作用大小不同。60%供水水平下,间甲酚对小麦的化感作用在单作中显著小于间作,但在其他处理中,单作小麦与间作小麦经济产量和生物产量受间甲酚的影响差异均不显著。与小麦不同,间作蚕豆生物产量受间甲酚的化感作用

在45%、60%供水水平下显著小于单作,但在75%水平下结果相反;间作蚕豆经济产量受间甲酚的影响在45%、75%供水水平下显著低于单作。这些现象说明,在以小麦为供体,蚕豆为受体的小麦间作蚕豆复合群体中,受体植物受化感作物的影响大于供体植物,同时说明,存在化感抑制物质的条件下,通过间作的方式可产生一定的缓解化感作用的效果。

表 4 不同供水水平下间甲酚对小麦、蚕豆产量的化感效应

Tab. 4 Allelopathic effect of 3-methyl-phenol on yields of wheat and faba-bean at different water supply rates

供水水平 Water supply rates (%)	生物产量 Bio-yield (g·pot ⁻¹)				经济产量 Economical yield (g·pot ⁻¹)			
	单作小麦	间作小麦	单作蚕豆	间作蚕豆	单作小麦	间作小麦	单作蚕豆	间作蚕豆
	Monocropped wheat	Intercropped wheat	Monocropped faba-bean	Intercropped faba-bean	Monocropped wheat	Intercropped wheat	Monocropped faba-bean	Intercropped faba-bean
45	-0.153 5 b	-0.164 9 c	-0.182 6 c	-0.046 4 a*	-0.245 1 b	-0.325 7 b	-0.310 5 a	-0.174 5 a*
60	-0.011 9 a	-0.117 8 b	-0.132 0 b	-0.097 6 a*	-0.089 7 a	-0.257 5 b*	-0.233 5 a	-0.209 2 a
75	-0.015 2 a	-0.002 9 a	-0.011 6 a	-0.225 5 b*	-0.104 5 a	-0.099 1 a	-0.303 8 a	-0.191 6 a*

* 表示间甲酚对单作与间作产量的化感效应在相同供水水平下差异显著 * means the allelopathic effect of 3-methyl-phenol on yield of wheat and fababean between monocropped and intercropped is significant at the level of 5% under same water supply rate.

3 小结与讨论

模拟试验中,小麦间作蚕豆的总耗水量较单作加权平均下降 12.87% ~ 31.56%,间甲酚作用下间作耗水量与单作耗水量加权平均间的差异减小。间甲酚对小麦、蚕豆总耗水量的影响不显著,但供水水平和种植模式对作物总耗水量的影响显著,随供水水平的提高不同模式的总耗水量显著降低。间作具有降低总耗水量的作用。间甲酚对不同作物全生育期耗水动态影响极小,供水和种植模式对不同生育阶段作物耗水量的影响与总耗水量所受影响趋势相同。

间作能够显著提高小麦、蚕豆的生物产量和经济产量,在不同供水水平下生物产量和经济产量的增加幅度分别为 15.3% ~ 37.41% 和 5.98% ~ 31.27%。无间甲酚影响时,60%的供水水平可作为提高水分利用效率的参考,间甲酚作用下,增加供水可提高间作相对于单作小麦的产量优势。同一供水水平下,当存在间甲酚时,间作可显著降低间甲酚对蚕豆的化感作用。

现代农业生产中,随连作面积的增大和保护性耕作中秸秆还田数量的增大,化感作用现象不可避免。采用轮作时,往往难以保证某些大宗作物的播种面积。为达到既保证作物播种比例,又减小化感抑制作用的目的,间作和科学供水可作为重要的栽培措施加以考虑。不同化感物质的作用机理不同,间作和供水如何配套还需视栽培作物的生物学特性而定。

参考文献

[1] Mandal B. K., Dasgupta S., Ray P. K. Yield of wheat, mustard and chickpea grown as sole crop and intercrop with

4 moisture regimes[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 1986,56(8):577-583

- [2] Mandal B. K., Das D., Saha A., et al. Yield advantage of wheat (*Triticum aestivum*) and chickpea (*Cicer arietinum*) under different spatial arrangements in intercropping [J]. India Journal of Agronomy, 1996, 41(1):17-21
- [3] Morris R. A., Villegas A. N., Polthanee A., et al. Water use by monocropped and intercropped cowpea and sorghum grown after rice [J]. Agronomy Journal, 1990, 82: 664-668
- [4] Morris R. A., Garrity D. P. Resource capture and utilization in intercropping: water [J]. Field Crops Research, 1993, 34:303-317
- [5] Reddy M. S., Willey R. B. Growth and resource use studies in an intercrop of peanut millet/groundnut [J]. Field Crops Research, 1981,4:13-24
- [6] Einhellig F. A. Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy [J]. ACS Symp Ser., 1995b,582:96-116
- [7] 黄高宝, 柴强. 植物化感作用的表现形式及开发应用研究 [J]. 中国生态农业学报, 2003,11(3):172-174
- [8] 柴强. 间甲酚对盆栽小麦间作蚕豆生产力及根重的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2007,15(4):109-112
- [9] 陈英, 柴强. 小麦的根系分泌物及典型分泌物间甲酚的化感作用 [J]. 兰州大学学报, 2005,41(2):26-29
- [10] 柴强, 黄高宝, 黄鹏, 等. 间甲酚及施磷对小麦间作蚕豆土壤微生物和酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2006, 26(2):283-390
- [11] Willimson G. B., Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemistry Ecology, 1988, 14(1): 181-187