

灌淤土小麦/玉米间套不同供磷水平 群体产量和根系生长形态分析

杨蕊菊

(甘肃农业科学院土壤肥料研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 采用根箱法在不同供磷水平下,对春小麦和玉米在间作和单作情况下的产量和根系形态进行了比较研究。结果表明,适量的供磷能促进小麦、玉米产量的提高,过高反而减少。在施纯 P_2O_5 0.1 g/kg 土(P_1)、0.2 g/kg 土(P_2)、0.3 g/kg 土(P_3)的 3 个供磷水平下, P_2 水平和 P_3 水平比 P_1 水平总体产量增长 55.09% 和 40.17%;籽粒产量增长 51.28% 和 56.27%。单作小麦生物产量提高了 35.89%~41.11%,穗粒重提高了 21.71%~65.79%。随供磷水平的增加,整个根系根重基本上呈现出先增加后减少的趋势,但均高于低磷水平。单作小麦和间作玉米的根长在 0~50 cm 的土层中随供磷水平的增高,呈增长趋势,相对于低磷水平其增长幅度分别为 11.78%~31.16% 和 39.83%~53.76%,而单作玉米根长呈先增加后减少的趋势。

关键词: 小麦;玉米;间套种植;产量;根系
中图分类号: S344.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0068-04

立体间套种植是西北一熟灌区高产高效持续农业发展的方向之一^[1~3],其最明显的特征是在资源条件受限或充足的情况下提高单位面积和时间的生产力,从而达到综合增产和提高养分利用率的目的^[4]。间套复合群体产量除受地上因素作用外,还受地下因素的限制。地下竞争一直被植物生态学家重视^[5]。土壤缺磷是世界范围内普遍存在的问题^[6],也是作物生产的重要限制因素之一^[7]。磷肥对根系的影响较大,磷肥供应不足,土壤对水溶性磷酸盐的吸收和固定使磷肥利用率不高,是制约作物增产的重要因素之一;间作产量优势很大程度上取决于作物根系养分和水分吸收扩展区的大小,但根系的生长比较复杂,受环境因素的影响非常大^[8],而且根系样品的采集及测定较复杂繁琐,实际生产中带田作物根系很难做到量化、系统化。所有这些因素极大地限制了这一方面的深入研究。因此本试验以根箱法为手段研究不同供磷水平下间套系统中根系生长及根际效应,初步揭示间作体系中根系吸收磷素营养的运行机制。

1 材料与方法

1.1 供试材料

箱栽试验于 2002 年 3 月~10 月期间在甘肃农业大学网室中进行。试验用土为灌淤土,土壤理化性状为:有机质 0.38%,Olsen-P 2.9 mg/kg,速效

氮 0.33 mg/kg,速效钾 70 mg/kg,土样过 1 mm 筛。试验用根箱选用聚乙烯材料作成,长、宽、高分别为 56(其中两个小室各长 14 cm,一个大室长 28 cm)、50、50 cm。根箱用 350 目的尼龙网隔成根室和土壤室两个域,每箱种植模式分为单作小麦、小麦玉米间作、单作玉米,其中单作小麦和单作玉米种在小室中,小麦玉米带田种植在大室中,均设置一个磷肥水平。供试品种为甘春 20 号(小麦)和豫玉 22 号(玉米)。

1.2 试验方法

本试验设单作小麦(MW)、单作玉米(MC)和小麦/玉米(IWC)三个种植模式,每个种植模式又设 P_1 、 P_2 、 P_3 三个磷水平,施肥量分别为施纯 P_2O_5 0.1、0.2、0.3 g/kg 土。每处理施用相同的氮肥、钾肥和微量元素,施用量分别为纯氮 0.2 g/kg 土,纯 K_2O 0.15 g/kg 土,微量元素 Fe、Mn、Cu、Zn 均为 0.005 g/kg 土。将土壤与肥料混合均匀后分别装入根箱的两室,大箱装土 30 kg,小箱装土 15 kg。单作和间作小麦穴播均 18 粒。待小麦三叶期在预留行播玉米,单作玉米和间作玉米穴播均为 3 穴 6 粒,定苗均为 3 株,整个生育期间箱栽土壤保持湿润,每隔两天浇水 100 ml/kg 土。

收获后分别测定小麦、玉米的地上部分经济产量和生物产量并进行室内考种。收获时打开根箱分段截取 0~10、20~30、30~40、40~50 cm 的根样为试

验材料,对根的鲜重、干重、根长及根密度进行测定。

根长的测定采用交叉测定法^[9],根鲜重、干重的测定方法是,将根箱分段截取 0~10、20~30、30~40、40~50 cm 的土样用自来水轻轻冲洗干净,过筛网剔除异物,收集根样用吸水纸吸干根表面积附着的水分,先称鲜重,然后将根样放入 105℃烘箱 0.5~2.0 h 后,在 60~70℃下烘干称重。

数据处理采用 SPSS12.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 供磷对间作作物产量性状的影响

从表 1 中的结果得出,同一供磷水平下单位面

积小麦/玉米间作的总体产量均高于单作模式下两种作物产量之和;不同供磷水平下,间作玉米、间作小麦和单作玉米生物产量均呈先增加而后减少的趋势,即供磷在一定范围内可促进生物产量的增加,过高反而下降;对于经济产量而言,不同种植模式籽粒产量随供磷水平的提高均呈增长的趋势。就总体生物产量而言,P₂ 水平和 P₃ 水平比 P₁ 水平分别增长 55.09%和 40.17%;籽粒产量增产幅度则分别为 51.28%和 56.27%。另外对间作体系来说,小麦和玉米的生物产量和经济产量随供磷水平的提高均呈先增长而后减小的趋势,而对单作小麦,两者则均呈逐渐增长趋势。

表 1 不同供磷水平对作物总产量的影响(g/箱)
Table 1 Effect of different phosphorus levels to total yield

处理 Treatment		MW	MC	IW	IC	每箱总产量 Total yield
生物产量 Biological yield	P ₁	51.77±1.02 C	303.76±9.44 C	77.82±2.09 B	401.2±7.39 C	834.55
	P ₂	69.51±0.62 B	497.49±2.67 A	89.44±4.31 A	637.94±9.04 A	1294.38
	P ₃	73.38±1.38 A	450.78±5.54 B	85.32±1.27 AB	560.2±21.07 B	1169.77
经济产量 Economical yield	P ₁	27.42±0.46 C	31.42±0.47 C	38.94±0.42 B	44.1±0.9 C	141.88
	P ₂	33.09±0.38 B	62.69±2.21 B	43.12±1.54 A	75.74±1.66 B	214.64
	P ₃	36.53±0.50 A	68.32±1.40 A	41.94±1.26 AB	74.94±1.26 A	221.73

注:M—单作 monocropped,I—间作 intercropping,W—小麦 wheat,C—玉米 corn

2.2 供磷对小麦经济性状的影响

由表 2 可知,磷肥对小麦产量性状的影响较大,随着施磷水平的增加,间作小麦的株高、穗长、生物产量、穗粒数、穗粒重均高于相应的单作小麦体系,尤其以 IWP₂ 处理,株高、穗长、生物产量、穗粒数、穗粒重最高。随施磷水平的增加,单作小麦株高、穗

长、生物产量、穗粒数、穗粒重性状呈增长趋势,以 P₁ 为对照时,磷肥增加到 P₂ 和 P₃ 单作小麦生物产量分别提高了 35.89%和 41.11%,穗粒重提高了 21.71%和 65.79%;间作小麦则除千粒重外,其他性状均呈先增加而后减少的趋势。

表 2 小麦产量性状的比较
Table 2 Comparison of yield traits in wheat

处理 Treatment	株高(cm) Plant height	穗长(cm) Panicles per plant	生物产量(g) Biological yield	穗粒数(个) Kernels per spike	穗粒重(g) Grains per ear	千粒重(g) 1000 grain weight
MWP ₁	62.08d	12.38bc	2.87d	26.81d	1.52d	56.91a
MWP ₂	71.36c	12.21c	3.90c	39.67c	1.85c	48.15bc
MWP ₃	72.72c	13.58a	4.05bc	39.61c	2.03c	51.84b
IWP ₁	77.81b	13.56a	4.28bc	45.86b	2.11bc	51.58b
IWP ₂	83.28a	13.77a	4.94a	57.55a	2.44a	42.92c
IWP ₃	78.42b	13.32ab	4.55ab	49.94b	2.32ab	45.70c

2.3 供磷对间作作物根系生长的影响

2.3.1 供磷对间作作物根重的影响 从表 3 可知,在低、中、高不同供磷水平下,根重呈逐渐增长的趋势。而中磷根重的增加量明显大于高磷根重的增加量,整个根系根重基本上呈现出先增加后减少的趋

势。足见磷肥过高对根系增重作用减弱,但磷肥的肥效对根系的下扎作用较明显;根鲜重中磷和高磷水平分别比低磷肥水平单作小麦增加 100.01%和 89.66%,间作玉米增加 47.53%和 44.83%,而单作玉米 P₂ 水平增加 18.91%,P₃ 水平反而减少 34.34%。

表 3 不同土层供磷水平对根重的影响(g/kg)
Table 3 Effect of phosphorus levels on roots weight in different soil layer

深度 Depth(cm)	鲜重 Fresh weight											
	MWP ₁	MWP ₂	MWP ₃	平均 Average	MCP ₁	MCP ₂	MCP ₃	平均 Average	ICP ₁	ICP ₂	ICP ₃	平均 Average
0~10	2.10	2.15	2.28	2.18 _a	57.63	63.29	29.91	50.28 _a	32.56	29.50	41.24	34.43 _a
10~20	1.12	1.66	1.85	1.54 _a	27.72	37.86	23.34	29.64 _b	13.35	26.25	25.25	21.62 _b
20~30	1.19	2.78	2.94	2.30 _a	32.06	25.95	17.73	25.25 _b	14.14	31.63	20.63	22.13 _b
30~40	0.91	4.10	3.02	2.68 _a	28.54	30.45	18.03	25.67 _b	24.13	21.46	22.82	22.80 _b
40~50	—	—	—	—	12.47	30.83	15.01	19.44 _b	0.00	15.35	11.98	9.11 _c
平均 Average	1.33 _b	2.67 _a	2.52 _{ab}	—	31.68 _a	37.68 _a	20.80 _b	—	16.84 _a	24.84 _a	24.38 _a	—

深度 Depth(cm)	干重 Dry weight											
	MWP ₁	MWP ₂	MWP ₃	平均 Average	MCP ₁	MCP ₂	MCP ₃	平均 Average	ICP ₁	ICP ₂	ICP ₃	平均 Average
0~10	0.45	0.50	0.52	0.49 _a	13.24	15.16	5.12	11.17 _a	6.40	6.38	8.23	7.00 _a
10~20	0.30	0.37	0.37	0.35 _a	5.82	10.69	4.54	7.02 _{ab}	3.68	4.67	4.77	4.37 _{ab}
20~30	0.23	0.65	0.91	0.60 _a	10.83	7.38	3.51	7.24 _{ab}	4.32	12.53	4.60	7.15 _a
30~40	0.21	2.43	1.64	1.43 _a	12.01	10.79	4.93	9.24 _a	6.00	7.34	8.11	7.15 _a
40~50	—	—	—	—	2.48	6.65	2.63	3.92 _b	0.00	4.41	2.91	2.44 _b
平均 Average	0.30 _a	0.99 _a	0.86 _a	—	8.88 _a	10.13 _a	4.15 _b	—	4.08 _a	7.07 _a	5.72 _a	—

2.3.2 供磷对根长的影响 箱栽试验表明,在 0~50 的土层中随供磷水平的增高(表 4),单作小麦和间作玉米的根长呈增长趋势,相对于低磷水平,其增长幅度分别为 11.78%~31.16%和 39.83%~53.76%,而单作玉米根长呈先增加而后减少的趋势。另外,从土壤垂直分布来看,根长随土层深度的增加而降低,基本呈递减趋势。80%左右的根系集

中在 0~30 cm 的土层中,小麦根系一般根密集区及根系主要吸收区在 10~45 cm 土层,表现为吸收浅层的根际营养物质,而箱栽试验根系生长限制在 50 cm 以内,这对小麦生长有利。玉米根系强大,次生根多可以吸收深层养分,随土层的加厚根系的密度变大、根长增长。

表 4 不同土层根长的分布(cm/kg)
Table 4 The length root density distribution of wheat in different soil layer

处理 Treatment	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	40~50 cm	平均 Average
MWP ₁	24.80	15.46	11.36	10.45	—	15.52 _b
MWP ₂	22.90	14.80	13.60	10.40	—	15.43 _b
MWP ₃	26.20	18.20	14.20	11.23	—	17.46 _a
平均 Average	24.63 _a	16.15 _b	13.05 _c	10.69 _d	—	—
MCP ₁	476.64	192.06	281.58	156.13	52.08	231.70 _a
MCP ₂	545.76	342.08	154.98	226.59	139.65	281.81 _a
MCP ₃	368.64	290.56	84.24	147.90	110.46	200.36 _a
平均 Average	463.68 _a	274.90 _b	173.60 _{bc}	176.87 _{bc}	100.73 _c	—
ICP ₁	217.60	77.25	89.96	72.00	59.24	103.21 _a
ICP ₂	204.16	149.44	263.13	36.12	68.74	144.32 _a
ICP ₃	291.26	104.94	138.00	170.31	88.96	158.69 _a
平均 Average	237.67 _a	110.54 _b	163.70 _{ab}	92.81 _b	72.31 _b	—

3 讨 论

磷在土壤中易固定难以移动,植物对磷素的吸收利用主要靠根系所接触到的土壤磷素来实现,因

此,对根系形态特征的研究成为近年来磷胁迫条件下磷素利用效率研究的热点,目前,认为根系的许多特征,如根长,根质量和根表面积等与磷吸收有密切的关系^[10,11],而间作产量的优势很大程度上取决

于作物根系养分和水分吸收扩展区的大小。本试验研究结果表明供磷促进了根系的下扎,增加根重,这与张礼军等研究相一致^[12],另外间作作物根量垂直分布呈递减特性。

本试验研究表明随供磷水平的提高,单作小麦、单作玉米、间作玉米的根干重、根鲜重均呈先增加而后减少的趋势,可见磷肥过高对根系增重作用减弱,但磷肥的肥效对根系的下扎作用较明显;间作体系,小麦和玉米的生物产量和经济产量随供磷水平的提高均呈先增长而后减小的趋势,即在一定范围内供磷有助于根系的下扎,磷水平过高反而不利于根系的生长,这与Forde等^[13]研究认为磷对根系的促生长作用是有范围的,过高的磷不但不会进一步改善根系性状,反而对根系生长产生抑制作用相吻合。

本研究表明供磷促进了间作体系根系的发育,但同时也造成了根系形态的空间差异,突出表现在供磷促进了根系下扎,增加了深层根系的分布,在单作小麦或间作玉米上表现更加突出。即供磷促进根系充分下扎,吸收深层土壤中的水分、养分等矿物质元素。小麦根系一般根密集区及根系主要吸收区在10~45 cm土层,表现为吸收浅层的根际营养物质,而箱栽试验根系生长限制在50 cm以内,这对小麦生长有利。玉米根系强大次生根多可以吸收深层养分,随土层的加厚根系的密度变大、根长增加。由于本试验以箱栽为手段对整个小麦玉米体系根系研究仍具有一定的片面性,但要阐明最佳磷肥用量与间作根系生长相互机理体系问题,还需要结合大田从

不同侧面结合不同的土壤环境条件,作进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 张恩和,胡 华. 小麦玉米带田根系竞争和补偿效应[J]. 甘肃农业大学学报, 1997, (12): 295—299.
- [2] 胡恒觉,黄高宝. 新型多熟种植研究[M]. 兰州: 甘肃科技出版社, 1999. 205—207.
- [3] 杨蕊菊. 小麦/玉米带田种植模式优化效应研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(6): 44—49.
- [4] Morris RA, Garrity DP. Resource capture and utilization in intercropping: non-nitrogen nutrient [J]. Field Crops Research 1993, 34: 319—344.
- [5] 李 隆,左元梅,刘永秀,等. 根际微生态系统理论在我国农业高产高效中的作用—间套种作物种间的根际微生态效应的发现及应用前景[J]. 中国农业科技导报, 1999, (4): 34—40.
- [6] 王兰珍,米国华,陈范骏,等. 不同产量结构小麦品种对缺磷反应的分析[J]. 作物学报, 2003, 29(6): 867—870.
- [7] 严小龙,廖 红,戈振扬,等. 植物根构型特性与磷吸收效率[J]. 植物学通报, 2000, 17(6): 511—519.
- [8] 梁 泉,廖 红,梅曼彤,等. 作物磷效率相关性状的 QTL 分析研究进展[J]. 分子植物育种, 2006, 4(4): 453—463.
- [9] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社出版, 1992. 137—139.
- [10] 严小龙,廖 红,戈振扬,等. 植物根构型特性与磷吸收效率[J]. 植物学通报, 1999, 22(3): 1—3.
- [11] 曹爱琴,严小龙. 不同供磷条件下大豆根构型的适应性变化[J]. 华南农业大学学报, 2000, 22(1): 21.
- [12] 张礼军,张恩和. 灌溉与供磷对复合群体作物根系的调控及其产量效应[J]. 中国农学通报, 2006, 22(12): 133—138.
- [13] Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development [J]. Plant soil, 2001, 232: 51—68.

Effect of phosphorus supplying level on soil in root growth and yield on wheat/maize intercropping populations

YANG Rui-ju

(Soil and Fertilizer Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: An experiment was carried out in difference phosphorus levels by root to study the yield and root morphology between intercropping and monoculture in spring wheat and maize. The results showed that appropriate phosphorus can increase wheat and maize yield, but more phosphorus can decrease. The phosphorus was divided into three levels, that was 0.1 g/kg(P₁), 0.2 g/kg(P₂) and 0.3 g/kg(P₃). Compared with P₁ level, the total yield was increased by 55.09% and 40.17% in P₂ level and P₃ level, the grain yield were increased by 51.28% and 56.27%, the biomass of mono-wheat increased by 35.89% and 40.17%, and the weight of per ear increased 21.71%~65.79%. Copared with low phosphorus, the weight of root was increased, while too higher phosphorus caused decrease. The length of root in monoculture wheat and intercropping maize were increased with the phosphorus levels increase. Compared to low phosphorus(P₁), the length of root was increased by 11.78%~31.16% in monoculture wheat, and the length of root was increased by 39.83%~53.76% in intercropping maize, but the length of root in mono-maize was increased at first while decreased later with the phosphorus increase.

Keywords: wheat; maize; intercropping; yield; root