

黄土高原旱地小麦氮磷钾与有机肥优化配施试验

许晶晶¹, 郝明德², 赵云英³

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 试验研究了不同施肥处理对小麦产量及肥料、水分利用率的影响。结果表明: 氮磷配施对产量的贡献率最高, 产量达 5 099.8 kg/hm², 增产率达 21.5%, 较氮、磷肥单施产量分别增产 14.0% 和 18.4%, 具有正交互效应; 单施有机肥较 NM、PM、NPM 增产率分别达到 6.63%、4.12%、11.3%。化肥配施可显著提高旱地小麦的肥料利用率和水分利用效率, 氮磷有机肥配施肥料氮、磷肥的利用率分别较氮、磷肥单施提高 1.71 和 12.55 个百分点; 氮磷配施可同时提高氮肥、磷肥肥效, 此时氮贡献率为 15.53%, 磷贡献率达 12.26%, 且水分利用率提高了 24.1%, 耗水系数降低了 17.57%。

关键词: 冬小麦; 产量; 氮磷钾与有机肥; 水肥利用效率; 黄土高原

中图分类号: S143.6; S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0143-05

黄土高原是我国人口、资源、环境矛盾集中的区域之一。干旱频繁、水土流失严重, 粮食作物产量一直较低, 处于 1 000 kg/hm² 左右。长期以来, 以人畜粪尿为主要肥源, 土壤肥力低下已成为该区作物产量提高的一个重要限制因素^[1]。20 世纪 80 年代以来, 增加化肥投入, 是黄土高原地区提高粮食单产的一项重要措施。由于不合理地施用化肥, 导致化肥利用率降低, 肥料的当季利用率不高^[2], 肥料效益下降, 甚至对生态环境带来潜在危害^[3~6]。因此研究农田生态系统中施肥对土壤肥力的影响, 加强对养分循环的调控在可持续农业中具有极其重要的地位。如何合理施肥, 提高作物产量及水肥利用效率, 是目前需要研究的课题^[7~9]。本试验研究了不同施肥处理对小麦生长的影响, 以期对旱地合理施肥、提高小麦产量和水肥利用效率提供依据。

1 材料及方法

1.1 试验地概况

试验地位于黄土高原中南部的陕西省长武县, 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 为典型的旱作农业区。试验地海拔 1 200 m, 多年平均降雨 578.5 mm, 年平均气温 9.1℃, ≥10℃ 积温 3 029℃, 无霜期 171 d。试验地地面平坦, 土壤为黄盖粘黑垆土, 母质是深厚的中壤质马兰黄土, 剖面通透性好, 肥力中等, 地下水位 60 m 左右^[10]。

本试验 2006 年 9 月布设, 在试验以前一直为大田耕种, 为传统施肥方式, 通常为氮磷配施, 施肥量均为 90~110 kg/hm², 无有机肥的投入。试验区基础肥力中上水平, 有机质 13.35 g/kg、全氮 1.05 g/kg、速效氮 54.37 mg/kg、全磷 0.89 g/kg、速效磷 19.20 mg/kg、速效钾 142.46 mg/kg。

1.2 试验设计

本试验设有 10 个处理: CK、N、P、K、M、PM、NM、NP、NPM、NPK。氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为硫酸钾, 有机肥为厩肥(全氮含量 1.59 g/kg, 全磷含量为 0.8 g/kg), 其中肥料用量: 氮肥(纯 N) 120 kg/hm², 磷肥(P₂O₅) 60 kg/hm², 钾肥(K₂O) 90 kg/hm², 有机肥 75 t/hm²。肥料在冬小麦播种前撒施, 翻入土中。试验小区面积为 30 m²(6 m×5 m), 三次重复, 随机区组设计。供试小麦品种为长武 134, 播种量为 180 kg/hm², 2006 年 9 月 23 号播种, 2007 年 6 月 29 号收获。

生育年(2006 年 7 月~2007 年 6 月)内降水 496.2 mm, 与多年平均降水量 578.5 mm 相比, 降水量减少了 14.2%, 属于干旱年份^[3]。

1.3 样品采集和分析

1.3.1 样品采集和数据处理 土壤水分在小麦播种前和收获后, 用烘干法(105℃)测定; 小麦收获期(6 月 29 日)采集植物样品考种; 分小区收获, 实收计产。所得数据通过 Microsoft Excel、DPS 和 SAS 数

收稿日期: 2008-04-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-424-3 和 ksxex1-yw-N-15-04); 国家科技支撑计划(2006BAD05B07 和 2006BAD15B01-03)

作者简介: 许晶晶(1984-), 女, 江西弋阳人, 硕士研究生, 主要从事作物栽培学与耕作学方面的研究。E-mail: jxxujingjing@126.com。

* 通讯作者: 郝明德(1957-), 男, 陕西华县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。E-mail: mdhao@ms-

据统计软件进行处理。

1.3.2 相关指标的计算

肥料交互作用的连应值=肥料配施的增产量-各肥料单施的增产量。

肥料对产量的贡献率(%)=(施肥区产量-无肥区产量)/施肥区产量×100%。

肥料利用率(%)=(施肥处理小麦养分吸收量-不施肥小麦养分吸收量)/施肥量×100%。

肥料组分贡献率=某组分增产量/某施肥处理产量×100%

水分利用效率[kg/(hm²·mm)]=作物产量/生育期所消耗的水分

耗水系数[(mm·hm²)/kg]=生育期所消耗的水分/作物产量

2 结果分析

2.1 不同施肥对小麦产量的影响

对不同施肥的小麦产量结果的方差分析和多重比较(LSD法)表明(表1):NP、M、PM、NPK、NM、N、NPM、K处理与CK之间的产量差异均显著,其中NP、M、PM、NPK、NM、N处理与CK之间的产量差异达到极显著。其中氮磷配施产量最高,可达5 099.8 kg/hm²,比CK增产903.3 kg/hm²,增产率达21.5%,增产效果最好;氮磷配施较氮、磷肥单施产量分别提高了625.3 kg/hm²和792.1 kg/hm²,增产率分别为14.0%和18.4%。

表1 施肥对小麦产量的影响(kg/hm²)

Table 1 Wheat yield of different fertilizing treatments

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	增产率 Yield increase rate (%)	显著性 Significance	
			5%	1%
NP	5099.8	21.5	a	A
M	4919.2	17.2	b	AB
PM	4724.6	12.6	c	BC
NPK	4613.4	9.9	cd	CD
NM	4613.4	9.9	cd	CD
N	4474.5	6.6	de	DE
NPM	4418.9	5.3	e	DEF
K	4405.0	5.0	e	DEF
P	4307.7	2.7	ef	EF
CK	4196.5	0	f	F

注:不同大小字母表示差异分别达1%和5%显著水平,下同。

Note: Different capital and small letters mean significance at 1% and 5% levels, respectively. They are the same as follows.

在肥料单施中,有机肥单施的增产效果最好,与CK相比增产722.7 kg/hm²,增产率为17.2%,较NM、

PM、NPM的增产率分别为6.63%、4.12%、11.3%;单施磷处理产量最低,仅为4 307.7 kg/hm²,增产率为2.7%;氮磷有机肥配施效果较差,增产率仅为5.3%,较氮磷配施降低了13.4%。因此,不同施肥对小麦的增产作用不一,肥料合理配施优于单施,这与前人研究结果相似^[11,12]。

2.2 交互作用和对产量的贡献率

2.2.1 不同施肥的交互效应 肥料的交互作用是在一定土壤条件下,不同肥料养分间相互影响所产生的对产量的增加或减少作用。N×P交互作用最大(表2),其连应值达514.1 kg/hm²,比值达2.32,说明氮肥与磷肥配合施用增产效果比单施氮肥磷肥增效之和增加132%;而其它配施方式连应值均为负值,同时交互作用间的比值均小于1,说明有机肥分别与氮、磷配合施用,及氮磷钾配合施用其增效小于各配肥对应的肥料单施的增产效应之和,其中N×P×M连应值达-889.5 kg/hm²,交互效应最差,且N×P×K连应值为-180.8 kg/hm²,说明在氮磷配施的基础上增施有机肥或钾肥,均不利于肥效的发挥,具体原因有待于进一步研究。因此,合理施肥不仅能达到增产目的,还可节约不同肥料资源。

在早年氮磷肥配施有利于肥效的发挥,增加小麦产量;氮肥有机肥、磷肥有机肥和氮磷有机肥的配施肥料间的连应值均为负值,表明肥料间不但不能产生增产效应,相反影响各肥料肥效的发挥。

表2 不同施肥肥料间的交互作用(kg/hm²)

Table 2 Interaction between different fertilizing treatments

处理 Treatment	连应值 Interaction	比值 Ratio
N×P	514.1	NP/(N+P)=2.32
N×M	-583.8	NM/(N+M)=0.42
P×M	-305.8	PM/(P+M)=0.63
N×P×M	-889.5	NPM/(N+P+M)=0.20
N×P×K	-180.8	NPK/(N+P+K)=0.35

2.2.2 肥料对产量的贡献率 肥料的贡献率与肥料对产量的影响趋势相同(图1),氮磷配施对产量的贡献率最高,达17.7%,较氮、磷单施分别提高了11.5和15.1个百分点,较磷有机肥配施、氮磷钾配施、氮有机肥配施、氮磷有机肥配施分别提高了6.5、8.7、8.7和12.7个百分点;在肥料单施中,磷肥单施肥料贡献率最低,为2.6%,有机肥单施贡献率最高,较氮、磷、钾肥单施贡献率提高了11.5、12.1和10个百分点;氮有机肥、磷有机肥的肥料贡献率较氮、磷单施分别提高了3.2和12.1个百分点。

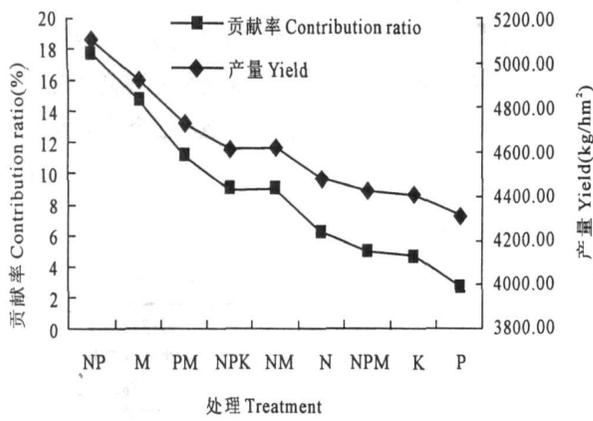


图 1 不同施肥的肥料贡献率(%)

Fig.1 The contribution ratio of fertilizer to yield of different fertilizer treatments

通过以上分析可知,氮磷配施是提高肥料贡献率的有效措施,化肥单施其贡献率较化肥有机肥配施低。干旱年施用氮肥有利于提高肥料对产量的贡献率,单施磷肥作用不明显。

2.2.3 不同肥料的肥效 有机肥单施或配施增产效果均明显,有机肥单施增产率达最高值为

54.91%,每吨有机肥可以增加籽粒 9.6 kg/hm²,配施时以磷有机肥配施增产效果最好,可增产 31.67%,每吨有机肥增加籽粒 5.6 kg/hm²;氮肥平均肥效为 1.0 kg/hm²,氮的平均贡献率为 2.05%,在氮磷配施处理中,氮贡献率最高,为 15.53%,单位重量肥料平均增产作物最多可达 6.6 kg/hm²,增产率达 18.88%,增产效果显著;磷单施表现为增产,增产率为 3.99%,每千克磷肥增产 1.4 kg/hm²,在氮磷配施中,增产优势最为明显,增产率达 27.10%,每千克肥料可增产 10.4 kg/hm²,磷贡献率达 12.26%,增产效果最优;NPM 配施处理中的 N、P、M 的贡献率均为负值,分别为 -6.92%、-4.40%、-15.41%,说明 NPM 配施均不利于 N、P、M 肥效的发挥,以至于产量不能大量提高;PM 配施较 P 单施表现为增产,增产率为 31.67%,而 PM 配施较 M 单施无论是增产率还是组分贡献率均为负值,说明磷肥有机肥配施促进有机肥肥效的发挥,却不利于磷肥肥效的发挥。钾肥的平均肥效为 -1.1 kg,钾的平均贡献率为 -2.66%,说明钾肥的施入,不利于产量的提高。

表 3 化肥 N、P、K 和有机肥 M 的增产效果和对小麦产量的贡献率(kg)

Table 3 Yield-increasing effects of N, P, K and organic manure and each of their contribution rate to wheat yield

肥料 计算式 Calculation formula	增产量 Yield increasing (kg/hm ²)	增产率 Yield increasing rate (%)	每公斤肥 料增产 Yield increasing by 1 kg of fertilizer (kg/hm ²)	平均每公斤 肥料增产 Average yield increasing by 1 kg of fertilizer (kg/hm ²)	肥料组分 贡献率 Contribution rate of each fertilizer component (%)	平均贡献率 Average contribution rate of fertilizer (%)
N	N-CK	278.0	6.62	2.3	1.0	6.21
	NP-P	792.1	18.88	6.6	-	15.53
	NM-M	-305.8	-7.29	-2.5	-	-6.63
	NMP-MP	-305.7	-7.28	-2.5	-	-6.92
P	P-CK	111.2	3.99	1.9	1.4	2.58
	NP-N	625.3	27.10	10.4	-	12.26
	PM-M	-194.6	-8.43	-3.2	-	-4.12
	NMP-N	-194.5	-11.19	-3.2	-	-4.40
M	M-CK	722.7	54.91	9.6	2.0	14.69
	PM-P	416.9	31.67	5.6	-	8.82
	NM-N	138.9	3.31	1.9	-	3.01
	NPM-NP	-680.9	-16.23	-9.1	-	-15.41
K	NPK-NP	-416.9	-9.93	-4.6	-1.1	-9.04
	K-CK	208.5	4.97	2.3	-	4.73

注:氮、磷肥效以施用 1 kg 化肥(N、P₂O₅)小麦的增产量表示,有机肥肥效则以施每吨有机肥的小麦增产量表示。

Note: The efficiency of N and P is donated by the yield increasing of 1 kg of fertilizer(N and P₂O₅), and the organic fertilizer is donated by the yield increasing of 1t of organic fertilizer.

2.3 施肥对肥料利用率的影响

因大田基础肥力较好,且肥效单季发挥不完全,

所以本试验氮肥利用率普遍较低(表 4)。各施肥处理的总吸氮量、总吸磷量与 CK 的比较,差异均达极

显著水平。氮磷钾配施时,氮肥利用率最高,为 33.85%,较氮磷配施氮肥利用率提高了 28.81 个百分点,总吸氮量提高了 28.33 kg/hm²,说明氮磷肥与钾肥配施,有利于氮肥肥效的发挥;氮肥单施的氮肥利用率为 26.94%;有机肥虽然营养丰富,但由于其

肥效较长,养分释放速度较慢,使得单施有机肥当季氮肥利用率较低,仅为 2.33%;有机肥与氮磷配施后氮肥利用率增加迅速,较氮磷肥配施提高了 23.61 个百分点,较有机肥单施提高了 26.32 个百分点,效果显著。

表 4 不同施肥条件下小麦肥料利用率

Table 4 Effect of different applying methods on fertilizer use efficiency (FUE)

处理 Treatment	总吸氮量 N uptake (kg/hm ²)	氮肥利用率 N use efficiency (%)	总吸磷量 P ₂ O ₅ uptake (kg/hm ²)	磷肥利用率 P ₂ O ₅ use efficiency (%)
NPM	182.30 bB	28.65	18.82 aA	8.92
NP	153.97 cC	5.04	14.50 dC	1.72
NPK	188.54 aA	33.85	16.35 bcB	4.80
NM	154.03 cC	5.09	16.01 cB	4.23
PM	138.34 fF	-7.98	12.35 fE	-1.87
M	150.71 dD	2.33	16.05 bcB	4.30
N	180.25 bB	26.94	16.55 bB	—
K	151.90 dD	3.32	14.63 dC	1.93
P	130.75 gG	—	11.29 gF	-3.63
CK	147.92 eE	—	13.47 eD	—

由于单施磷肥,致使土壤氮磷不平衡,因而单施磷肥利用率不高,为负值;与有机肥配施后有所增加,施用有机肥能够活化土壤中的磷素,增加磷肥有效性,单施有机肥利用率为 4.30%,氮磷有机肥配施利用率最高,为 8.92%,较氮磷配施增加了 7.2 个百分点,较有机肥单施提高了 4.62 个百分点,说明氮磷与有机肥配施是提高肥料利用率的有效途径^[13,14];氮磷钾配施,磷肥利用率达 4.80%,总吸磷

量提高了 2.88 kg/hm²,效果仅次于氮磷有机肥配施;当季磷肥肥效较低,发挥不完全是磷肥利用率低下的原因之一。

2.4 旱地施肥对小麦水分利用率的影响

旱地施肥在提高作物产量的同时,也会提高对水分的利用率,起到以肥调水的作用,且不同肥料的增产效果不同,对水分利用率的影响也不同(表 5)。

表 5 不同施肥处理的水分利用率(kg/mm)

Table 5 Water use efficiency of different fertilizer treatments

处理 Treatment	耗水量 Water consumption (mm)	水分利用率 WUE [kg/(mm·hm ²)]	水分利用率 增加值 Increasing of WUE (%)	耗水系数 Using water coefficient [mm/(kg·hm ²)]	耗水系数降低率 Decreasing of using water coefficient (%)
NP	682.1	7.48 aA	21.43	0.134 eB	17.57
M	695.6	7.07 bB	14.77	0.141 cdeAB	12.84
PM	684.5	6.90 cC	12.01	0.145 bcdeAB	10.71
NPK	684.1	6.74 dD	9.48	0.148 deAB	8.61
NM	723.3	6.38 eE	3.57	0.157 abcA	3.37
NPM	689.4	6.41 eE	4.06	0.156 abcdA	3.85
N	658.1	6.80 dCD	10.39	0.147 abcdAB	9.36
K	694.5	6.34 e EF	2.97	0.158 abA	2.83
P	690	6.24 fFG	1.30	0.160 abA	1.27
CK	680.9	6.16 fG	—	0.162 aA	—

与 CK 相比,氮磷配施水分利用率提高了 21.43%,耗水系数降低了 17.57%,较氮、磷肥单施

水分利用率分别提高了 10.0%和 19.9%,耗水系数分别降低了 9.1%和 16.5%,效果最好;有机肥单施

的水分利用率提高了14.7%,耗水系数降低了12.8%,较有机肥配施水分利用率提高了2.5%~10.8%,效果明显;单施氮肥有利于提高水分利用率,增加了10.4%;单施磷肥、钾肥效果不及单施有机肥、氮肥水分利用率分别仅提高了1.3%、2.97%,效果不明显。

合理的化肥配施能够明显提高水分利用率,降低耗水系数^[15]。氮磷配施、磷肥有机肥配施以及有机肥单施能够明显降低耗水系数,提高水分利用率,效果好于氮、磷肥单施,从而达到以肥调水、培肥土壤、增加小麦产量的作用;单施磷肥、钾肥不利于水分利用率的有效提高。

3 结 论

1) 不同肥料对小麦产量影响不同,氮磷配施产量最高,为5 099.8 kg/hm²,增产率达21.5%,增产效果显著,且交互作用明显;氮磷配施增产效果优于单施,较氮、磷肥单施增产率分别为14.0%和18.4%,因此,氮磷配施是提高旱地小麦产量的有效措施。有机肥单施增产722.7 kg/hm²,较NM、PM、NPM的增产率分别为6.63%、4.12%、11.3%,有机肥单施效果好于有机肥化肥配施。

2) 氮磷配施对产量的贡献率最高,达17.7%,较氮、磷单施分别提高了11.5和15.1个百分点;在肥料单施中,磷肥单施肥料贡献率最低,为2.6%,有机肥单施贡献率最高,较氮、磷、钾肥单施贡献率分别提高了11.5、12.1和10个百分点;氮磷配施是提高氮、磷肥效的最佳途径,有机肥单施有利于其肥效的发挥。N、P、K、M对产量的贡献顺序是:M>N>P>K;氮磷配施能同时提高氮、磷的肥效,N、P肥料贡献率分别为15.53%和12.26%。有机肥单施或配施增产效果均明显,单施时增产率达最高值为54.91%,每吨有机肥可以增加籽粒9.6 kg/hm²,磷有机肥配施可增产31.67%,每吨有机肥可增加籽粒5.6 kg/hm²,说明有机肥是增产的主要因素之一,应在粮食生产上予以充分重视。

3) 氮磷钾配施时,氮肥、磷肥利用率分别为33.85%和8.92%。单施有机肥当季氮肥利用率较低,仅为2.33%,氮磷有机肥配施肥料利用率较氮肥、磷肥单施分别提高1.71和12.55个百分点,较氮磷配施分别提高了23.61和7.2个百分点,较有机肥

单施分别提高了26.32%和4.62%,效果显著;当季磷肥肥效较低,发挥不完全是磷肥利用率低下的原因之一。

4) 氮磷有机肥配施有利于增加水分利用率,与对照相比水分利用率增加了24.1%,耗水系数降低了17.57%;有机肥单施的水分利用率提高了14.7%,耗水系数降低了12.8%,较有机肥配施水分利用率提高了2.5%~10.8%,从提高作物产量和提高旱地水分利用率的角度看,氮磷配施或与有机肥单施是行之有效的措施。

参 考 文 献:

- [1] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学分析常规分析方法[M]. 北京: 中国科学出版社, 1984.
- [2] 刘克礼, 高聚林, 张永平, 等. 春小麦氮、磷、钾三要素利用率的研究[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(3): 103-106.
- [3] 郝明德, 来 璐, 王改玲, 等. 黄土高原塬区长长期施肥对小麦产量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1893-1896.
- [4] 李科讲, 张素芳, 贾文竹, 等. 半干旱区长期施肥对作物产量与土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(1): 21-25.
- [5] 梁运江, 依艳丽, 许广波, 等. 水肥耦合效应的研究进展与展望[J]. 湖北农业, 2006, 45(3): 385-388.
- [6] 李玉山, 张孝忠, 郭明航, 等. 黄土高原南部作物水肥产量效应的田间研究[J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 1-7.
- [7] 赵晓齐, 鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7-131.
- [8] Mercik S, Nemeth K. Effect of 60-years N, P, K and Ca fertilizer on EUF² nutrient fraction in the soil and yields of rye and potato crops [J]. Plant Soil. 1985. (1): 151-159.
- [9] 章永松, 林咸永, 罗安成, 等. 有机肥对土壤中磷的活化作用及机理研究 I. 有机肥(物)对土壤不同形态无机磷活化作用[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145-150.
- [10] 张少民, 郝明德, 陈 磊. 黄土高原长期施肥对小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 85-89.
- [11] 党廷辉, 高长青, 彭 琳, 等. 长武旱塬轮作与肥料长期定位试验[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 61-64.
- [12] 刘 一. 施肥对黄土高原旱地冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 40-42.
- [13] Li S-Q, Li S-X. Estimation of nitrogen fertilizer use efficiency in dryland agroecosystem [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(1): 37-39.
- [14] 汪森富, 陈洪亮, 刘 辉. 氮磷钾平衡施肥对水稻及化肥利用率的影响[J]. 耕作与栽培, 2002, (2): 38-39.
- [15] Viets F G. Water deficits and nutrient availability [C]//Kozlowski T T. Water Deficits and Plant Growth. USA: Academic Press. 1972: 217-247.

(英文摘要下转第 153 页)

Analysis of the content of macro-elements in root system between maize genotypes with different tolerance to drought

LIU Sheng-qun¹, SONG Feng-bin¹, WANG Xiao-bo²

(1. Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;

2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The primary root and the first to ninth layer secondary roots of two maize genotypes of Yedan-13 (drought-tolerant) and Danyu-13 (non drought-tolerant) with different tolerance to drought in the field condition were investigated to study their content of nitrogen, phosphorous, kalian, calcium and magnesium by ICP. The results showed that the total nitrogen and available nitrogen of Danyu-13 were higher than that of Yedan-13 at the most significant difference level ($P < 0.01$). And the calcium and magnesium of Yedan-13 were higher than that of Danyu-13 at the most significant difference level ($P < 0.01$). However, there were no significant differences in phosphorous and kalian of root between the two genotypes ($P > 0.05$).

Keywords: maize; root system; macro-element; tolerance to drought.

(上接第147页)

Combination effects of nitrogen, phosphorus, potassium and organic manure on winter wheat in dryland of the Loess Plateau

XU Jing-jing¹, HAO Ming-de², ZHAO Yun-ying³

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effect of different fertilizing treatments on dryland wheat yield and water and fertilizer use efficiency was studied. The results show that: The combination of N and P application has the highest fertilizing contribution rate, with a wheat yield of $5\ 099.8\ \text{kg}/\text{hm}^2$ and an increasing rate of 21.5% ; the yield-increasing rate of the combination of N and P application is 14.0% and 18.4% higher than that of N application and P application separately, and there is obviously positive interaction; the increasing rate of wheat yield of the single application of organic manure is 6.63% , 4.12% and 11.3% higher than that of the combination of N and M, P and M, NP and M respectively. Fertilizer complication application can increase wheat yield, water use efficiency and fertilizer utilization, and the complication application of organic manure and N and P can increase fertilizer use efficiency of N and P by 17.71 and 12.55 percentage points; the combination of N and P can both increase the fertilizer use efficiency of N and P, with 15.53% of the contribution ratio of fertilizer component of N and 12.26% of P, which can reduce water consumption coefficient by 21.4% , and increase water use efficiency by 17.57% .

Keywords: winter wheat; yield; water and fertilizer use efficiency; Loess Plateau