

京郊地区小麦、玉米 两茬间氮、磷、钾肥的合理施用

孙政才* 陈国平

(北京市农林科学院作物所, 北京 100081)

汪学才

(北京市大兴县农科所, 北京 102600)

张文诗 刘永贵 周长宝

(北京市昌平区农科所, 北京 102200)

摘 要 在京郊不同土壤肥力条件下, 进行小麦、玉米两茬间氮、磷、钾肥合理施用的研究。三年多点试验结果表明, 全年氮素投入 $0.036 \sim 0.048 \text{ kg/m}^2$, 以小麦、玉米各半或玉米居多为宜。冬小麦施氮在下茬玉米上无明显后效。冬小麦适宜施氮量为 0.024 kg/m^2 , 夏玉米适宜施氮量 0.030 kg/m^2 , 冬小麦和夏玉米施磷肥不仅对当季有增产作用, 而且对下茬作物也有明显的后效。冬小麦施 P_2O_5 0.045 kg/m^2 、夏玉米 0.007 kg/m^2 为宜。夏玉米比冬小麦对钾肥高度敏感, 土壤速效钾含量在 90×10^{-6} 以下, 冬小麦施钾有一定增产效果, 而夏玉米施钾肥显著增产。

关键词 小麦 玉米 平播 氮肥 磷肥 钾肥 后效应

小麦、玉米需肥规律和施肥方法在国内外已进行了大量研究。关于施肥残效问题的研究多只限于一年一季条件下, 前茬作物施肥对后茬作物的影响^[1,2,4,6,7]。在小麦、玉米两熟制下, 两种作物施肥效应和相互作用, 以及统筹考虑两茬的施肥技术尚无报道^[1]。因此我们对不同肥力条件下, 小麦、玉米两茬间氮、磷、钾的合理施用进行了研究。

1 材料和方法

1.1 氮肥

全年 0.225 kg/m^2 和 0.300 kg/m^2 碳酸铵在两茬间的分配见表 1(小区面积 133.34 m^2)。小麦、玉米氮肥裂区试验, 以冬小麦施氮量 0.007 kg/m^2 , 0.015 kg/m^2 , 0.022 kg/m^2 , 0.030 kg/m^2 为主区; 夏玉米施氮

表 1 全年定量化肥在两茬间的分配 (kg/m^2)

全年碳酸铵用量	作物	各处理化肥施量				
		1	2	3	4	5
0.225	小麦	0.0375	0.0750	0.1125	0.1500	0.1875
	玉米	0.1875	0.1500	0.1125	0.0750	0.0375
0.300	小麦	0.0750	0.1125	0.1500	0.1875	0.2250
	玉米	0.2250	0.1875	0.1500	0.1125	0.0750

1991-02-27 收稿。

* 现在北京市农科院土肥所工作。

量 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.030\text{kg}/\text{m}^2$ 为副区。

1.2 磷肥

冬小麦不同施磷量对下茬玉米磷效的影响 采用裂区设计,以冬小麦施磷量(P_2O_5)为主区: 0 、 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$; 夏玉米施磷量 (P_2O_5): 0 、 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 为副区。

夏玉米不同施磷量对下茬冬小麦磷效的影响 裂区设计以夏玉米施磷量 0 、 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 为主区, 下茬冬小麦施磷量 0 、 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 为副区。

氮、磷裂区试验均为多点进行, 随机区组排列, 重复 $3\sim 4$ 次。主区面积为 266.68m^2 , 副区面积为 66.67m^2 。

不同施氮量水平夏玉米施磷的效果 试验在昌平(高肥地)、本所水泥池(低肥地)进行。以施氮量为主区: $0.011\text{kg}/\text{m}^2$ 和 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$; 施磷量为副区: 0 、 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 随机排列, 重复 3 次。

1.3 钾肥

采用裂区设计, 以冬小麦施钾量 (0 和 $0.030\text{kg}/\text{m}^2$) 为主区, 夏玉米施钾量 (0 和 $0.030\text{kg}/\text{m}^2$) 为副区, 随机区组排列, 重复 3 次。主、副区面积分别为 133.34m^2 和 66.67m^2 。同时进行全年 $0.045\text{kg}/\text{m}^2$ K_2O 在两茬间的合理分配试验。

2 结果与分析

2.1 全年定量氮肥在两茬间的合理分配

全年 $0.225\text{kg}/\text{m}^2$ 碳酸铵在小麦、玉米两茬间分配产量结果列于表 2。试验结果表明, 小麦产量随施氮量增加而提高, 但超过 $0.1500\text{kg}/\text{m}^2$ 时, 产量下降。而下茬玉米产量始终随施氮量的增加而提高。

表 2 $0.225\text{kg}/\text{m}^2$ 碳酸铵不同分配对全年产量的影响 (3 点平均)

碳酸铵分配 (kg/m^2)		小麦 产量	玉米 产量	全年 产量	玉米 占比
小麦	玉米	(kg/m^2)	(kg/m^2)	(kg/m^2)	(%)
0.0375	0.1875	0.4122	0.6876	1.0998	62.5
0.0750	0.1500	0.4470	0.6600	1.1070	59.6
0.1125	0.1125	0.4912	0.6109	1.1021	55.4
0.1500	0.0750	0.5092	0.5749	1.0841	53.0
0.1875	0.0375	0.4812	0.5545	1.0357	53.5

表 3 全年施 $0.300(\text{kg}/\text{m}^2)$ 碳酸铵不同分配对产量的影响 (5 点平均)

碳酸铵用量 (kg/m^2)		小麦 产量	玉米 产量	全年 产量
小麦	玉米	(kg/m^2)	(kg/m^2)	(kg/m^2)
0.0750	0.2250	0.4683	0.7002	1.1684
0.1125	0.1875	0.5410	0.7308	1.2718
0.1500	0.1500	0.5452	0.6976	1.2428
0.1875	0.1125	0.5629	0.6660	1.2289
0.2250	0.0750	0.5490	0.6055	1.1545

全年施碳酸铵 $0.300\text{kg}/\text{m}^2$ 在两茬间分配结果(表 3)表明, 冬小麦产量最高的碳酸铵用量是 $0.1875\text{kg}/\text{m}^2$, 但与 $0.1500\text{kg}/\text{m}^2$ 和 $0.1125\text{kg}/\text{m}^2$ 差异不显著。获得玉米最高产量的碳酸铵用量为 $0.1875\text{kg}/\text{m}^2$, 对全年施碳酸铵 $0.2625\text{kg}/\text{m}^2$ 的研究, 获得与上述相同的结果。

综上所述, 全年施碳铵 $0.2250\text{kg}/\text{m}^2 \sim 0.3000\text{kg}/\text{m}^2$ 产量以小麦、玉米各半或玉米稍多为宜。适宜用量为冬小麦 $0.150\text{kg}/\text{m}^2$ 碳酸铵 (折纯氮 $0.024\text{kg}/\text{m}^2$); 夏玉米 $0.187\text{kg}/\text{m}^2$ 碳酸铵 (折纯氮 $0.03\text{kg}/\text{m}^2$)。

2.2 小麦、玉米裂区试验结果

以小麦施氮量为主区, 下茬玉米施氮量为副区的裂区试验结果列于表 4。从表 4 看出, 冬小麦产量随着施氮量的增加而提高, 到 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$, 产量开始下降。各主区玉米产量都以 $0.030\text{kg}/\text{m}^2$ 施氮产量最高。两种作物的适宜施氮量与上述结果一致。

从表 4 还看出, 主区与副区互作差异不显著, 说明冬小麦施氮在下茬玉米上无明显后效, 小麦施氮 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.030\text{kg}/\text{m}^2$, 下茬玉米施氮 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 的产量依次为 $0.572\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.524\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.556\text{kg}/\text{m}^2$ 和 $0.595\text{kg}/\text{m}^2$, 无明显差异。

2.3 小麦施磷量对玉米磷肥肥效的影响

2.3.1 冬小麦不同施磷量 试验结果表明, 增施磷肥对提高冬小麦产量有显著效果 (表 5)。

施 P_2O_5 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 时, 虽然在多数试验中表现增产趋势, 但就经济效益而言, 以施 P_2O_5 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 较为适宜。

表 5 不同施磷量对冬小麦产量的影响

地 点	(kg/m ²)			
	施 P_2O_5 量			
	0	0.007	0.015	0.022
昌平(1988)	0.394	0.437	0.459	0.490
昌平(1989)	—	0.627	0.642	0.636
昌平(1989)	0.396	0.452	0.471	0.494
朝阳(1989)	0.466	0.481	0.508	0.512
房山(1989)	—	0.600	0.702	0.787

表 4 小麦、玉米氮肥裂区试验结果

(4 点平均, kg/m ²)				
小 麦		玉 米		全年 产量
N	平均	N	平均	
0.007	0.424	0.007	0.572	0.996
		0.015	0.621	1.045
		0.022	0.720	1.144
		0.030	0.804	1.228
0.015	0.511	0.007	0.524	1.035
		0.015	0.575	1.086
		0.022	0.726	1.237
		0.030	0.837	1.348
0.022	0.559	0.007	0.556	1.115
		0.015	0.639	1.198
		0.022	0.696	1.255
		0.030	0.825	1.383
0.030	0.532	0.007	0.595	1.127
		0.015	0.659	1.191
		0.022	0.762	1.294
		0.030	0.853	1.385

表 6 冬小麦不同施磷量对下茬玉米后效

及施磷效果的影响 (kg/m ²)									
夏玉 米施 磷量	冬 小 麦 施 磷 量								
	0	%	0.007	%	0.015	%	0.022	%	
0	0.421	100.0	0.456	108.3	0.510	121.1	0.513	121.9	
0.007	0.542	100.0	0.536	99.0	0.568	104.7	0.581	107.2	
+ %	28.7		17.6		11.4		13.3		

2.3.2 冬小麦施磷在下茬玉米上的后效 从表 6 看出, 冬小麦施磷 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 与不施磷相比, 下茬夏玉米即使不施磷也可增产 8.3%、21.1% 和 21.9%。随着冬小麦施磷量的增加, 夏玉米施磷增产效果减小。显然是冬小麦施磷肥后效所致。即使冬小麦施磷 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 时, 下茬玉米施磷仍有增产效果。

2.3.3 夏玉米不同施磷量对产量的影响, 不考虑冬小麦施磷的后效, 仅将夏玉米不同施磷量效果列于表 7。各点肥力不一, 参试品种不同, $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ P_2O_5 均有明

显增产效果,不同施肥量处理之间产量差异不显著。所以夏玉米生产每 m^2 施磷量以 0.007kg 以上为佳。

2.4 玉米不同施磷量对下茬小麦磷效的影响

2.4.1 夏玉米施磷效果 主区处理夏玉米不同施磷量的产量结果列于表 8。从表 8 看出,夏玉米增施磷肥增产效果明显。试验系在大田条件下进行,前茬小麦多施 $0.015\text{kg}/\text{m}^2 \sim 0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 二铵,说明在目前冬小麦磷肥投入量下,夏玉米增施磷肥仍有普遍的意义,夏玉米的经济施磷量以 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 为最好。

表 7 不同施磷量对夏玉米产量的影响 (kg/m^2)

地 点	施 磷 量			
	0	0.007	0.015	0.022
昌平(1988)	0.564 ^b	0.660 ^a	0.705 ^a	0.704 ^a
昌平(1989)	0.357 ^B	0.453 ^A	0.459 ^A	0.455 ^A
昌平(1989)	0.591 ^b	0.633 ^a	0.645 ^a	0.649 ^a

注:小写字母示不同差异显著,大写字母示极显著。

2.4.2 夏玉米施磷在下茬冬小麦上的后效分析 在夏玉米不同施磷量条件下,下茬冬小麦不施磷的产量差异是玉米施磷在冬小麦上后效的直观表现。表 9 结果表明,夏玉米施磷在冬小麦上后效明显。从表 9 和表 6 结果

表 8 夏玉米施磷效果 (kg/m^2)

地点	施 磷 量			
	0	0.007	0.015	0.022
丰台	0.510	0.652	0.562	0.594
大兴	0.422	0.502	0.493	0.493
昌平	0.522	0.622	0.717	0.707
平均	0.485 ^B	0.592 ^A	0.591 ^A	0.598 ^A

表 9 夏玉米施磷在下茬小麦上的后效(产量 kg/m^2)

夏玉米施磷量	小麦施磷量	大兴	昌平	平均	增产%
0	0	0.398	0.452	0.425	0
0.007	0	0.485	0.502	0.494	16.1
0.015	0	0.575	0.499	0.537	26.4
0.022	0	0.552	0.509	0.531	24.9

看出,夏玉米施磷在冬小麦上的后效要比冬小麦施磷在夏玉米上的后效大。

2.4.3 夏玉米不同施磷条件下冬小麦施磷效果 夏玉米施磷对下茬小麦施磷效果有明显影响,如玉米不施磷,冬小麦施 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$,比不施增产 32.3%;玉米施 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 时,只增 11.8%;而当玉米施磷 $0.015\text{kg}/\text{m}^2 \sim 0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 时,小麦施磷无增产作用。

试验结果显示,玉米施磷 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$ 在下茬小麦上的后效作用与玉米不施磷小麦施同量磷效果接近,而随施磷量增加,二者差异加大,尽管玉米施磷在冬小麦上后效明显,但仍以两种作物分开施磷为好。就全年产量和效益看,玉米施 P_2O_5 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$,冬小麦施 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 为宜。

2.5 夏玉米不同施氮量下的施磷效果。

表 10 列出了不同土壤肥力不同施氮水平下,夏玉米施磷效果。结果显示,在低肥力地上,夏玉米施磷增产显著;在高肥地上施磷也有较明显的增产效果。在低肥条件下,氮、磷互作明显,增施氮肥提高了磷肥的效应,增施磷肥亦大大提高了施氮效果(特别是在低肥的条件下)。高肥地试验结果也表现了相似的趋势。在施氮 $0.011\text{kg}/\text{m}^2$ 的条件下,适宜的施磷量为 $0.007\text{kg}/\text{m}^2$;而施氮 $0.022\text{kg}/\text{m}^2$ 时,施磷则为 $0.015\text{kg}/\text{m}^2$ 。

2.6 钾肥在两茬间的合理分配

在京郊进行了 9 个点次的裂区试验和全年 $0.045\text{kg}/\text{m}^2$ K_2O 在两茬间分配的试验。结

果表明,夏玉米较冬小麦对钾高度敏感,冬小麦施钾在 9 个点的试验中,仅有 2 个点增产,其中一个点增产 23%,达显著水平,另一个点仅增产 6.1%,其它 7 个点平产或减产。表现增产的 2 块地土壤有效钾均在 90×10^{-6} 以下,增产 23.1% 的有效钾仅为 67.2×10^{-6} 。而夏玉米施钾全部表现增产,增产幅度为 5.9%~20.9%,平均增产 15.3%。在冬小麦施钾量为 0 和 0.03 kg/m^2 下,夏玉米施钾 0.030 kg/m^2 分别增产 19.3% 和 8.0%,其差异显然是由于冬小麦施钾肥的后效所致,在夏玉米不施钾的情况下,产量因上茬小麦施 0.003 kg/m^2 的钾而提高产量 15.1%,同样夏玉米施钾在下茬小麦上也有后效。

表 10 不同施氮水平下夏玉米施磷产量效果 (kg/m^2)

地力	施氮量	施 磷 量							
		0(ck)	0.007	%	0.015	%	0.022	%	平 均
低 肥	0.011	0.382	0.529	138.4	0.578	151.0	0.562	147.0	0.513
	0.022	0.389	0.551	141.9	0.617	158.8	0.676	173.8	0.558
	$\pm \%$	1.6	4.2		6.8		20.2		8.8
高 肥	0.011	0.565	0.670	118.5	0.673	119.0	0.684	121.1	0.648
	0.022	0.703	0.747	16.3	0.826	117.5	0.748	16.4	0.756
	$\pm \%$	24.4	11.6		22.8		9.3		16.7

3 讨 论

3.1 关于小麦、玉米两茬平播氮肥的施用

氮肥投入是生产上一大宗开支,如何合理施用十分重要。由于氮素在土壤中移动性大,其变化主要是个生物过程^[2],所以在小麦、玉米两茬平播下,两种作物间氮肥的合理分配尤为重要。本研究表明,小麦多施氮肥在下茬玉米上无明显的后效,反之亦然。

3.2 关于两茬平播磷肥的施用

在相同生态条件下,玉米比小麦对磷敏感。原因尚须进一步研究。温度对磷有效性有明显的影响^[5,8],在低温下,微生物活动差,造成磷肥的矿化率低;低温还导致磷肥在土壤中溶解性差,土壤溶液粘滞度高,磷扩散速率降低,到达根系表面的磷量大大减少。另一方面,低温下作物根系发育慢,不易形成庞大的根系,影响磷的吸收。冬小麦与夏玉米所处生态条件相差很大,尤其生育前期,主要表现在温度上造成冬小麦比夏玉米对磷敏感,所以磷肥应优先施于冬小麦,就大面积生产而言,以冬小麦施 0.015 kg/m^2 ,夏玉米 0.007 kg/m^2 为宜。

与氮不同,磷在土壤中的有效性基本上是个化学过程,几乎不存在淋失的问题。本试验结果表明,冬小麦和夏玉米施磷均有明显后效。Fox^[6]及 Halvorson^[7]也有类似发现。因此,在全年及年度间磷肥的分配上有三种方案可供选择:一是小麦玉米各按其适宜用量普施磷肥;二是在一种作物上一次施入,采用一季施磷管全年的方法;三是一年大量施磷,以后 1~2 年内不施。就目前生产而言,我们认为第一方案和小麦大量施磷,玉米补施的方法较好。

考虑到二铵与普通过磷酸钙在有效性和成份上的差异,以及冬小麦、夏玉米对磷的不同

反应。我们认为二铵应优先施于小麦上,玉米施用普钙,或以二铵作种肥,普钙作底肥。

3.3 关于两茬平播间钾肥的施用

研究表明,无论是在高肥地上,还是在低肥地上,对夏玉米施钾肥均有明显的增产效果,而冬小麦施钾只在土壤速效钾含量在 90×10^{-6} 以下时才有增产效果。这表明玉米较小麦对钾敏感。相应地,在夏玉米及冬小麦上施钾也有明显后效。因此,从全年的角度看,应将有限的钾肥优先投向夏玉米,即使在含钾量低的土壤上仍应以夏玉米施钾为主,冬小麦补钾为辅。

3.4 关于小麦、玉米两茬平播全年施肥原则

综合上述试验结果,在京郊地区,全年肥料投入应本着冬小麦“稳氮、增磷、补钾”,夏玉米“增氮、施磷、施钾”的原则。今后增加氮肥应主要投向夏玉米;磷肥以小麦施用为主,玉米为辅;而钾肥应集中施在夏玉米,冬小麦补施。

参 考 文 献

- 1 陈伦寿、李仁岗.农田施肥原理与实践.北京:农业出版社,1984
- 2 孙政才.还田作物残渣的腐解及与下茬作物的关系.北京农业科学,1989(增刊): 11~17
- 3 孙政才、陈国平.小麦玉米两茬平播下肥料的合理运筹.北京农业科学,1992, 10(5):25~27
- 4 Arnon I. Mineral nutrition of maize. International Potash Institute, 1974
- 5 Barber SA. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: The Role of Phosphorus in Agriculture, 1980, 591~616
- 6 Fox RL et al. Estimating phosphate fertilizer requirements in the tropics - some tentative observations. In: Phosphorus and Potassium in Tropics, 1988, 355~363
- 7 Halvorson AD. Long term dryland crop response to residual phosphorus fertilizer soil. Sci Soc Am J, 1985, 49: 928~933
- 8 Schulte EE. Corn response to row phosphate better crops with plant food, 1985, 66(2): 10~13
- 9 Wallingford W. Phosphorus in starter fertilizer temperature relationships. In: Phosphorus for Agriculture, 1986, 49~56

N. P. K. Application for Winter Wheat—Summer Maize Double Cropping System in Beijing Suburbs

Sun Zhengcai Chen Guoping

(Institute of Crop Sciences, Beijing Municipal Academy of Agricultural
and Forestry Sciences, Beijing 100081)

Wang Xuecai Zhang Wenshi Liu Yonggui Zhou Changbao

(Agricultural Research Institute of Daxing (Agricultural Research Institute of Changping
County, Beijing) County, Beijing)

Abstract Experiments were carried out on different type of soils for 3 years. Results were as follows:

1. Half or more than half N should be applied for summer maize, followed by winter wheat, when $0.036\text{--}0.048\text{kg}/\text{m}^2$ was applied every year. Applied N for previous crops had no significant residual effects on the following crops. The appropriate amount of N fertilizer for winter wheat was $0.024\text{ kg}/\text{m}^2$, or less than $0.030\text{ kg}/\text{m}^2$, and for summer maize was more than $0.030\text{ kg}/\text{m}^2$.

To get higher yield and profit, more amount of N fertilizer should be applied to summer maize.

2. P application both for winter wheat and for summer maize had double effects on yield: P-application had significant effects on winter wheat and summer maize, and the residual effects of P application to the previous crops on the yield and P-requirement of the subsequent crops were also significant.

Applied P increased maize yield significantly. It was mainly determined by the available P content in soil, the rate of P applied to the previous winter wheat and the rate of applied N for maize.

3. Summer maize was more sensitive to K than winter wheat. Applied K increased yield significantly on all experimental sites for maize, but only on sites when soil available K was below 90 ppm for winter wheat. Potassium application also had significant residual effects on the subsequent crops. It was suggested that more K fertilizer should be applied to summer maize.

4. In view of the above, the principle of fertilizer application for wheat-maize double cropping system in Beijing suburbs should be: (1) For winter wheat, a stable amount of N should be applied and the rate of P application should be increased while K should be supplemented. (2) For summer maize, N rates should be increased while P and K should be applied.

Key words: Wheat-maize double cropping system; Nitrogen; Phosphorus; Potassium; Residual effects