

不同施肥制度对土壤肥力及玉米产量的影响

杨兆顺, 吴俊强, 钱 芳, 楼辰军

(天津市农作物研究所, 天津 300112)

摘要:在潮土上进行了 5 年的定位试验, 研究了不同施肥制度对土壤肥力和玉米产量的影响。结果表明: 长期均衡施肥 (NPK、M、NPKM), 可以显著提高土壤全氮、全磷、速效氮、有效磷等肥力指标以及玉米产量, 尤以 M 处理增幅最大, 与本底值相比, 土壤全氮、全磷、速效氮和有效磷含量分别增加了 15.00%, 24.81%, 18.97% 和 21.43%; 而不均衡施肥 (N、NK、NP) 导致相应的营养元素的含量降低。分析表明, 在潮土上施氮肥和磷肥对提高玉米产量具有重要的作用。

关键词: 土壤肥力; 施肥制度; 定位试验; 玉米; 产量

中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2010)01-0208-05

Effects of Different Fertilizer Treatments on Soil Fertility and Maize Yield

YANG Zhao-shun, WU Jun-qiang, QIAN Fang, LOU Chen-jun

(Tianjin Crops Research Institute, Tianjin 300112, China)

Abstract: A study on soil fertility and maize yield with different fertilization systems were carried out in fluvo-aquic soil in Tianjin. The results indicated that maize yield of NPK, M and NPKM treatments were greater than other treatments. The contents of total N and total P, alkali-hydrolyzed nitrogen and available P increased in NPK, M and NPKM treatments. Especially in the M treatment, the contents of total N and total P, alkali-hydrolyzed nitrogen and available P increased by 15.00%, 24.81%, 18.97% and 21.43%, respectively. On the contrary, total N and P were exhausted in the treatments without N or P fertilizer. Similar trends were observed in the case of alkali-hydrolyzed nitrogen and available P in the treatments without N and P fertilizers. The N and P fertilizers had significant yield-increasing effects on maize in fluvo-aquic soil.

Key words: Soil fertility; Fertilizer regime; Location test; Maize; Yield

施用化肥不仅可以提高作物产量, 而且能改变土壤的理化性质^[1-3]。但不合理的施肥常导致肥料利用率低, 并造成一系列的环境问题^[4-6]。近年来, 国内外学者采取长期定位方法, 在肥料效应及其对土壤理化性状的影响方面作了大量的研究工作^[7-12]。然而, 长期施用无机肥料对土壤质量和生产能力的影响, 前人持有不同的看法: Yadav^[13]认为, 长期施用化学肥料仍可以维持土壤生产能力不下降; 而 Doran^[14]和 Aref^[15]则认为, 长期施用化学肥料不利于土壤肥力持续健康发展。本研究在长期定位试验基础上, 探讨了不同施肥制度对土壤肥力的影响, 以及对玉米的增产效应, 为指导科学施肥, 实现农业生产可持续发展提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地点位于天津市宁河县郊外 (东经 117°48', 北纬 39°17'), 属暖温带半湿润大陆性气候, 四季分明。年平均气温在 13℃ 以上, 年无霜期 240 d 左右, 年平均降水量为 550~680 mm。供试土壤为潮土, 耕层土壤理化性状为: pH 7.7, 土壤有机质含量 16.6 g/kg, 全氮 1.0 g/kg, 有效磷 14.2 mg/kg, 速效钾 99.2 mg/kg。

1.2 试验设计

试验从 2003 年开始, 共设 7 个处理, 分别为: CK, 不施肥处理; N, 单施 N 肥; NK, 氮肥和钾肥配施; NP, 氮肥和磷肥配施; NPK, 氮肥、磷肥和钾肥配

施;M,单施有机肥(猪粪,含 N 7.5 kg/t, P₂O₅ 3.6 kg/t) 20 t/hm²;MNPk,有机肥配合 NPK化肥(猪粪 10 t/hm², N 75 kg/hm², P₂O₅ 14 kg/hm², K₂O 50 kg/hm²)。其他无机肥处理施用量为, N 150 kg/hm², P₂O₅ 50 kg/hm², K₂O 50.0 kg/hm²。无机肥品种为尿素、重过磷酸钙、氯化钾。田间作物为玉米,采取连作制度。每个小区面积为 96 m²,3次重复。

1.3 样品采集

每年作物收获季节在试验地采集供分析用的 0~20 cm耕层土壤样品。土壤各项理化指标均采用常规法测定。

1.4 数据处理

应用 Microsoft Excel 2003和 SPSS11.0统计软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对土壤全量养分的影响

2.1.1 有机质的变化 由表 1可以看出,不施用猪粪处理的土壤有机质含量均呈下降趋势,对照下降最为迅速,单施 N处理次之,NPK处理下降最慢,这可能是由于 NPK处理残留了较高残茬量以及较多的根系分泌物造成的。施用猪粪处理的土壤有机质含量明显升高,最高达 18.3 g/kg,比本底值增加了 10.24%;猪粪配合化肥处理,效果尤为明显,5年间土壤有机质增加了 12.65%。说明欲提高土壤有机质含量,必须施用一定量的有机肥,单施化肥并不能取得满意的效果,有机肥配合化肥与单施有机肥效果相近。

表 1 不同施肥处理对土壤有机质的影响

Tab 1 Effect of different treatments on

organic matter in soil		g/kg				
处理 Treatments	本底 Original	2003	2004	2005	2006	2007
CK	16.6	16.0	15.7	15.2	14.6	14.3
N	16.6	16.2	16.0	15.4	14.9	14.7
NK	16.6	16.2	15.9	15.6	15.6	15.0
NP	16.6	16.4	16.2	15.9	15.4	15.3
NPK	16.6	16.4	16.0	15.8	15.4	15.3
M	16.6	16.8	16.1	17.5	17.8	18.3
MNPk	16.6	16.7	17.0	17.4	17.9	18.7

2.1.2 土壤全氮含量 由表 2可以看出,不施肥处理耕层土壤全氮含量逐年下降,5年累计下降值达 0.09 g/kg,平均每年下降 0.018 g/kg。所有施无机肥处理,5年间耕层土壤全氮含量均有不同程度的增加,且呈逐年增加趋势,增幅为 2%~8%,其中,NPK处理的增幅最大,单施 N以及 NK处理的增幅较小,其原因可能是单施 N及 NK处理的氮的损失

率较高,且玉米产量较低,故残留在土壤中的氮量亦较低。有机肥处理的土壤全氮含量的增加尤为明显:单施有机肥处理的土壤全氮含量增幅最大,5年间累计增加了 0.15 g/kg,平均每年增加 0.03 g/kg;有机与无机肥配合,5年间土壤全氮增加了 0.10 g/kg,平均每年增加了 0.02 g/kg。可见,有机肥或是有机与无机肥配合施用均能显著提高土壤全氮的含量水平。

表 2 不同施肥处理对土壤全氮的影响

Tab 2 Effect of different treatments on total N in soil

		g/kg				
处理 Treatments	本底 Original	2003	2004	2005	2006	2007
CK	1.00	0.98	0.96	0.93	0.93	0.91
N	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04
NK	1.00	1.02	1.01	1.02	1.01	1.02
NP	1.00	1.02	1.05	1.06	1.07	1.07
NPK	1.00	1.02	1.04	1.07	1.06	1.08
M	1.00	1.02	1.05	1.08	1.10	1.15
MNPk	1.00	1.02	1.03	1.06	1.08	1.10

2.1.3 土壤全磷含量 由表 3可以看出,未施磷肥处理(CK、N、NK),土壤的全磷含量呈明显的下降趋势,而施用磷肥处理(NP和 NPK)的土壤全磷含量有缓慢的增加趋势。N处理全磷含量降幅最大,达 10.26%;NK处理次之,为 7.68%;对照再次之,为 6.09%。这是由于 N和 NK处理无外界磷输入,且每年输出的磷较多,因而降幅较大,对照处理由于玉米产量最低,每年输出的磷较少,因而降幅低于前者。但三者均呈现出先快后慢的下降趋势。

NP和 NPK处理,每年输入一定量的磷肥,5年间全磷含量增加 14%以上,这可能是由于施入的磷肥数量超过作物消耗的磷素量所致。猪粪配合化肥处理,每年输入的磷肥较多,全磷含量有明显上升趋势,5年间增加 17.5%。单施猪粪处理,全磷含量上升更为明显,5年增幅达 24.8%,远高于其他各处理,这与猪粪自身磷含量较高有关。

表 3 不同施肥处理对土壤全磷的影响

Tab 3 Effect of different treatments on total P in soil

		mg/kg				
处理 Treatments	本底 Original	2003	2004	2005	2006	2007
CK	645	631	620	622	602	608
N	645	632	615	601	592	585
NK	645	630	618	610	599	599
NP	645	658	670	693	695	740
NPK	645	658	690	688	702	738
M	645	666	697	738	772	805
MNPk	645	652	676	695	722	758

2.2 长期施肥对土壤速效养分的影响

2.2.1 土壤碱解氮含量 由图 1可见,对照的土壤

碱解氮含量呈下降的趋势,5年间土壤下降了 14.00 mg/kg,降幅 11.97%,且有继续下降的趋势。说明长年不施氮肥,由于作物携带和氮素转化,造成土壤中速效氮素含量明显下降。

施氮肥处理的土壤碱解氮含量均有增加,其中 MNPK 处理的碱解氮含量增加最多,增幅达 18.80%,这是由于长期均衡施肥的残茬量、根量和根分泌物的产量明显增加,亦即增加了归还的有机氮量,这部分氮比土壤中有有机氮更易矿化。而在相同施氮量的情况下,NK、N 和 NP 处理的土壤碱解氮含量低于 NPKM 和 NPK 处理,说明不均衡施肥中的氮肥施入土壤后易被挥发或随水下渗,造成较大损耗。

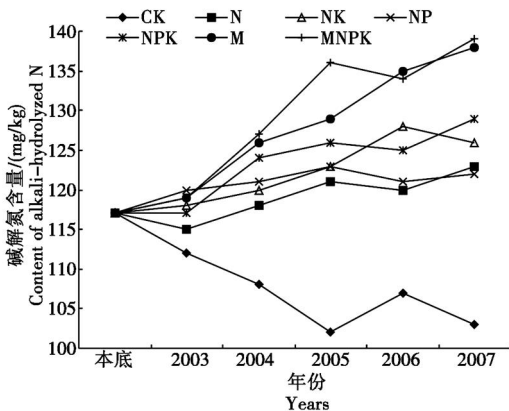


图 1 不同施肥处理对土壤碱解氮含量的影响

Fig 1 Effect of different fertilizer treatments on content of alkali-hydrolyzed nitrogen

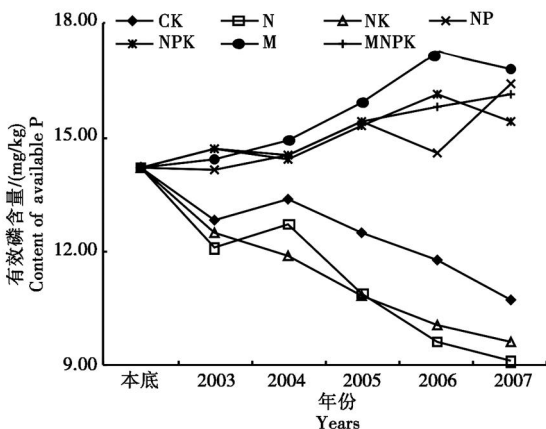


图 2 不同有机肥用量对土壤有效磷的影响

Fig 2 Effect of different fertilizer treatments on available P in soil

2.2.2 土壤有效磷含量 由图 2 可见,长期施磷肥处理 (NP、NPK、M 和 NPKM) 土壤有效磷含量显著高于不施磷肥处理 (N、NK、CK),其原因是磷肥的当季利用率低,残留肥料磷便可在土壤中积累下来,由于土壤对磷有着强大的吸持力,因此,留存在土壤中的磷几乎不可能随下渗水而淋失。在未施磷肥的处理中,CK 处理的土壤有效磷含量略高于 N 和 NK 处

理,这可能是 N 和 NK 处理的 N、K 含量较高,借助养分间的连应作用,进而导致农作物吸磷量相应增高,因此,从农田中带走的磷素量必然多于 CK。

在施磷肥的处理中,有机肥与化肥配合施用较单施化肥能显著提高土壤全磷和有效磷的含量,说明磷肥与有机肥同时施用时可对土壤磷库的发展产生更为显著的影响。

2.3 土壤速效养分与玉米产量的关系

2.3.1 土壤碱解氮含量与玉米产量的关系 由图 3 可以看出,玉米产量与土壤中碱解氮含量呈明显的正相关关系,即随着土壤中碱解氮含量的增加玉米产量有明显的提高。但碱解氮含量在 123 mg/kg 以上时,玉米产量并无明显的增加,而是稳定在一定的水平上,这可能是由于受供试玉米品种的产量潜力或耐肥力所限之故,不能误认为玉米产量不再随土壤碱解氮含量增加而增加。

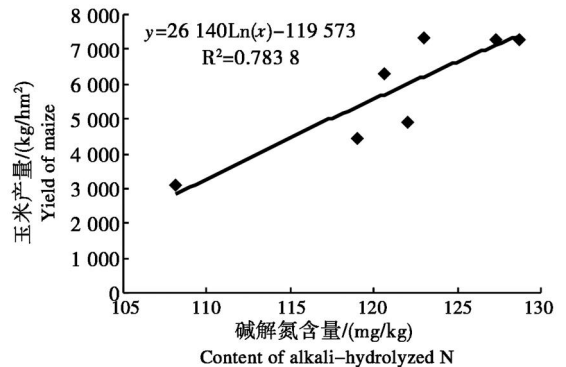


图 3 土壤碱解氮含量与玉米产量的关系

Fig 3 Relationship between content of alkali-hydrolyzed nitrogen and yield of maize

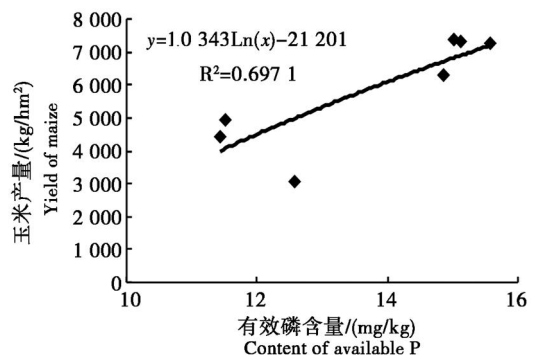


图 4 土壤有效磷含量与玉米产量的关系

Fig 4 Relationship between content available P and yield of maize

2.3.2 土壤有效磷含量与玉米产量的关系 由图 4 可以看出,玉米产量与土壤中有效磷含量亦呈明显的正相关关系。施用磷肥处理的土壤有效磷含量可达到 14 mg/kg 以上,玉米产量显著高于土壤有效磷含量在 14 mg/kg 以下的未施磷肥处理,各施磷处理之间,虽然土壤有效磷含量存在较大差异,玉米产

量却无明显差别,其原因与碱解氮相同。前人在小麦试验上也得到了相似的结论,即土壤有效磷超过一定值后,小麦产量不再增长是受作物品种所限^[16,17]。

2 4 不同施肥制度对玉米产量的影响

表 4 可见,不同施肥处理对作物产量有明显影响。不同施肥制度下玉米平均产量变化趋势为 NPK>MNPk>M>NP>NK>N>CK。NPK处理的玉米籽粒和秸秆产量均为最高,分别为对照的 2.37 倍和 2.05 倍,与 N 以及 NK 处理间的差异达到极显著水平 ($P<0.01$)。单施有机肥处理与 MNPk 及 NPK 相比,产量差异不显著,均明显高于其他不均衡施肥的处理,说明化肥和有机肥对玉米的增产效果并无差异。

由表 4 还可以看出,随着施肥制度的改善,玉米籽粒和秸秆的产量变异系数大体上呈逐渐降低的趋势,即 CK>N>NK>NP>NPK>M>MNPk。说明平衡施肥有高产稳产的作用,且连续施用猪粪效果尤为明显。

表 4 不同施肥处理对玉米产量的影响

Tab 4 Effects of different treatments on maize yields in soil

处理 Treatments	籽粒产量 /(kg/hm ²) Grain yield	变异系数 /% CV	秸秆产量 /(kg/hm ²) Stalk yield	变异系数 /% CV
CK	3 078 (1139) e	37.00	3 484 (1156) d	33.18
N	4 453 (1114) c	25.02	4 656 (1027) c	22.06
NK	4 920 (1026) c	20.85	5 237 (949) c	18.12
NP	6 292 (947) b	15.05	6 440 (1096) b	17.02
NPK	7 354 (802) a	10.91	7 569 (861) a	11.37
M	7 270 (714) a	9.82	7 203 (778) a	10.80
MNPk	7 297 (732) a	10.03	7 132 (767) a	10.75

3 讨论

土壤有机质的含量与土壤肥力水平是密切相关的,有机质含量的变化直接反映了土壤肥力的高低。关于长期施用化学肥料对土壤有机质含量的影响,前人有不同的观点^[18],一些研究表明,连续施用化学肥料导致土壤有机质含量降低;也有研究认为,单施化学肥料可以增加回归土壤中的生物量,提高土壤有机质含量。而本研究显示,长期施化肥导致耕层土壤有机质含量降低,其原因可能是:农田生态系统中大部分作物的收获物被移走,且各种耕作措施导致土壤结构发生变化,加速了土壤有机质的矿化分解^[19],从而导致土壤有机质含量降低;而长期施用有机肥或有机肥与化肥配施均能显著提高土壤有机质的含量。已有的研究结果表明,棕壤有机质的年分解量远超过每年来自作物根茬所形成的土

壤有机质含量,在未施用有机肥的情况下,土壤有机质年亏缺 675 kg/hm²^[20]。

本研究结果表明,不施肥料处理,土壤有机碳、全氮和全磷含量均有所下降,这与大多研究者的结果一致^[14,15]。也有研究者得出相反的结论^[21],这可能是由于土壤质地不同造成的。单施化肥处理,5 年间耕层土壤全氮含量均有不同程度的增加,且呈逐年增加趋势;长期施用有机肥或有机肥与化肥配施,土壤全氮含量较单施化肥处理有显著的提高,与前人的一些结果基本一致^[8,22]。这是因为有机肥在土壤中大多有明显的净残留,有助于提高土壤全氮含量,而化肥的利用率和损失率均较高,残留率较低,因此,它在提高土壤全氮含量中的作用并不明显。

本试验结果表明,施 N 处理的玉米产量显著高于 CK 处理,说明 N 肥有很好的增产效果,这也与很多研究结果一致^[23,24]。同样,NP 处理的玉米产量显著高于 N 处理,NPK 处理的玉米产量显著高于 NK 处理,说明 P 肥 also 具有很好的增产效果。与 N 和 P 略有不同,虽然 NPK 处理的玉米产量显著高于 NP 处理;但 NK 与 N 处理相比,玉米产量未有明显差异。这是因为 NP 处理较 N 处理的玉米产量高,从土壤中摄取的 K 素也多,因此,在 NP 处理中 K 成为影响玉米生长发育的限制因子,而在 N 处理中,由于产量较低,需要的营养元素量也偏低,K 并未成为玉米产量的限制因子。

参考文献:

[1] Stewart W M. 谢玲,译. 肥料对作物产量的贡献 [J]. 农资科技, 2003 (3): 31 - 33.

[2] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (4): 406 - 410.

[3] 徐明岗,于荣,孙小风,等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (4): 459 - 465.

[4] 张志剑,王光火. 嘉兴地区水稻土磷素状况与环境效应评价 [J]. 科技通报, 1999, 15 (5): 377 - 381.

[5] Gao X J, Hu X F, Wang S P, et al. Nitrogen losses from flooded rice field [J]. Pedosphere, 2002, 12 (2): 151 - 157.

[6] Roelck M, Han Y, Schlee K H, et al. Recent trends and recommendations for nitrogen fertilization in intensive agriculture in eastern China [J]. Pedosphere, 2004, 14 (4): 449 - 460.

[7] 郝明德,王旭刚,党廷辉,等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析 [J]. 作物学报, 2004,

- 30(11): 1108 - 1112
- [8] 林葆,林继雄,李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[J]. 植物营养与肥料学报, 1994, 1(1): 6 - 18
- [9] 索东让. 长期定位试验中化肥与有机肥结合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 71 - 75.
- [10] 刘杏兰,高宗,刘存寿,等. 有机-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 138 - 147.
- [11] 周斌,王周琼. 长期定位施肥对灰漠土养分的影响及评价[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 35 - 39.
- [12] 吕家珑,张一平,王旭东,等. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 569 - 572
- [13] Yadav R L, Yadav D S, Singh R M, *et al* Long term effects of inorganic fertilizer inputs on crop productivity in a rice-wheat cropping system[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1998, 51: 193 - 200.
- [14] Doran J W, Sarrantonio M, Liebig M A. Soil health and sustainability[J]. Advances in Agronomy, 1996, 56: 1 - 54.
- [15] Aref S, Wander M M. Long-term trends of corn yield and soil organic matter in different crop sequences and soil fertility treatments on the morrow plots[J]. Advances in Agronomy, 1998, 62: 153 - 161.
- [16] Belay A, Claassens A S, Wehner F C. Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(6): 420 - 427.
- [17] 周广业,丁宁平,黄世伟. 用肥料田间试验与测土指标作为指导合理施肥的探讨[J]. 土壤通报, 1985, 17(4): 163 - 167.
- [18] 张桂兰,张子武,宝德俊,等. 麦田土壤供磷能力与磷肥经济施用的研究[J]. 土壤肥料, 1988(5): 15 - 18
- [19] Stinson G, Freedman B. Potential for carbon sequestration in Canadian forests and agroecosystems[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2001, 6: 1 - 23.
- [20] Xu Xiangcheng, Zhang Fihong, Tong Guoliang, *et al* Calculating by approximate method the amount required to increase soil fertility[M]//Current progress in soil research in People's Republic of China Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986
- [21] Ogutu ZA. An investigation of the influence of human disturbance on selected soil nutrients in Naok District, Kenya[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1999, 58: 39 - 60.
- [22] 黄东迈. 我国土壤氮素研究工作的现状与展望[M]. 北京:科学出版社, 1986
- [23] 刘迎雪,李文华,李彩凤,等. 不同施氮模式对玉米产量和质量的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 117 - 119.
- [24] 樊廷录,周广业,王勇,等. 甘肃省黄土高原旱地冬小麦-玉米轮作制长期定位施肥的增产效果[J]. 植物营养肥料学报, 2004, 10(2): 127 - 131.