

有机无机配施对土壤养分环境及小麦增产稳定性的影响

邢素丽¹, 韩宝文¹, 刘孟朝¹, 徐明岗²

(1. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 石家庄 050051; 2. 中国农科院农业资源与区划所, 北京 100081)

摘要:针对太行山山前平原生态类型区土壤有机质含量和土壤氮储量偏低, 增产潜力下降和稳定性差等问题, 在河北省辛集市马兰农场进行小麦培肥定位试验, 研究化肥和有机肥配施对土壤有机质和 NPK 养分的影响。结果表明, 化肥配合有机肥施用对土壤养分环境的培肥作用, 优于化肥配合等养分含量的秸秆直接还田。相对不施肥的对照, 不同肥力地块土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、速效钾分别增加 14.59% ~ 19.2%、5.7% ~ 14.81%、10.38% ~ 24.30%、8.63% ~ 10.89%、93.19% ~ 107.24%、17.69% ~ 55.18%, 小麦产量增加 75.64% ~ 79.7%, 增稳系数增加 3.03 ~ 3.19。在太行山山前平原区, 一般施用量在化肥 N 210 kg · hm⁻², P₂O₅ 90 kg · hm⁻², K₂O 90 kg · hm⁻², 有机肥折合养分含量在 N 65 kg · hm⁻², P₂O₅ 18 kg · hm⁻², K₂O 56 kg · hm⁻², 有机 C 量 1 500 ~ 3 000 kg · hm⁻², 可达到稳定增进土壤氮磷钾养分环境, 改善土壤有机质状况, 稳定增加小麦产量的积极培肥作用。

关键词:有机无机配施; 土壤有机质; 土壤养分环境; 小麦; 增产稳定性

中图分类号: S147.34 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0135-06

The Effect of NPK Fertilizer Combined with Soil Organic Manure on Soil Nutrition and Wheat Yield Increasing

XING Su-li¹, HAN Bao-wen¹, LIU Meng-chao¹, XU Ming-gang²

(1. Agricultural Resources and Environment Institute, HeBei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Chinese Academy of Agriculture Sciences Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Beijing 100081, China)

Abstract: To tackle the problems such as lower soil organic matter concentration, lower soil N reserves, descending yield increasing potential and lower yield stability in Taihang Piedmont Plain, study the effect of NPK fertilizer combined organic manure on soil organic matter concentration and soil nutrient concentration such as nitrogen, phosphorous and potassium, indict the specified quantity. Field experiments are executed in Malan farm, Xinji, Hebei. Result shows that NPK fertilizer combined organic manure is better than NPK fertilizer combined corn straw with equal nutrient quantity. For different base fertilizer plots, compared with the CK with no fertilization, soil organic matter, total N, available N, total P, available P and available K increased respectively within 14.59% ~ 19.2%, 5.7% ~ 14.81%, 10.38% ~ 24.30%, 8.63% ~ 10.89%, 93.19% ~ 107.24% and 17.69% ~ 55.18% in concentration. Yield increased within 75.64% ~ 79.7%. the yield increasing stability index increased within 3.03 ~ 3.19. In area of Taihang Piedmont Plain, the fertilization rates in fertilizer N 210 kg · hm⁻², P₂O₅ 90 kg · hm⁻², K₂O 90 kg · hm⁻², manure N 65 kg · hm⁻², P₂O₅ 18 kg · hm⁻², K₂O 56 kg · hm⁻², manure C 1 500 kg · hm⁻² ~ 3 000 kg · hm⁻², can enhance stably soil nutrition environment, increase soil organic maure, increase wheat yield.

Keywords: fertilizer combined organic manure; soil organic matter; soil NPK nutrient; wheat; yield increasing stability

收稿日期: 2009-09-04

基金项目: 国家科技支撑计划(2008BADA4B07); 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD02A14); 河北省自然科学基金项目(D2008001183)

作者简介: 邢素丽(1966—), 女, 副研究员, 硕士, 从事植物营养和 3S 应用研究。E-mail: xingsuli2008@yahoo.com.cn

近年来,随着综合生产能力的不断提高,农民对土地的投入越来越多,尤其对氮肥的投入逐年增长,使得作物产量在改革开放初期的一段时间里有了较大幅度提高。但是,由于长期大量滥用化肥,导致土壤板结,地力水平下降,影响了土壤综合生产能力。施用有机肥和秸秆还田对提高土壤有机质含量和质量,改善土壤,培肥土壤,提高农作物增产潜力有重要意义^[1]。本研究在华北太行山前平原农区,针对不同肥力水平地块,采用定量定位试验方法,研究化肥与有机肥配施对作物产量、土壤有机质、土壤氮磷钾养分的影响,揭示该类型区有机无机肥料配施对土壤养分环境的培肥增产机理,为该类型区域土壤培肥和养管理的生产与科研策略提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

研究区选在华北北部太行山山前平原农区典型代表区域—河北省辛集市马兰农场。地理位置:北纬 $37^{\circ}58'28''$,东经 $115^{\circ}12'2''$ 。该区域地处暖温带大陆性季风气候区,温光热资源丰富。年平均气温 $12.4^{\circ}\text{C} \geq 10.0^{\circ}\text{C}$,年均积温 $4\,369.2^{\circ}\text{C}$ (281 d),年均降水量为488.2 mm,年日照时数2 629.5 h,无霜期190 d,是河北省主要粮食产区之一。

供试土壤为轻壤质潮土。在土壤有机质含量较高和较低水平地块布设2个试验点(高肥力、低肥力)。土壤养分含量状况如表1。

试验于2005—2008定位进行4年。供试作物为小麦。设5个处理:对照(不施肥,CK);NPK化肥

(NPK);秸秆还田(S);NPK化肥+秸秆还田(NPK+S);NPK化肥+有机肥(NPK+M)。小区面积 30 m^2 ,四次重复,随机排列。施肥量为:NPK处理, $\text{N } 210\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; P_2O_5 $90\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; K_2O $90\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;氮肥选用尿素(N 46%),磷肥选用磷酸氢二铵(纯N 18%, P_2O_5 46%),钾肥选用氯化钾(K_2O 60%),秸秆选用秋季收获后的玉米秸,用量为 $7\,500\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (干重),折合N $65\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $10\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $80\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,折合有机C量 $3\,000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,有机肥用量折合纯氮含量与玉米秸秆纯氮总量相当,本试验选用腐熟草圈粪,以马粪为主, $4\,500\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (干重),折合养分含量:N $65\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; P_2O_5 $18\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $56\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;折合有机C量 $1\,500\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。有机肥、秸秆、磷肥、钾肥为一次底施,氮肥底施尿素 $75\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其余在返青—拔节期追施。

1.2 测定项目及方法

小麦成熟期采集每小区耕层土样和全株植株样,土样测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量,植株样测定秸秆和籽粒的全氮、全磷、全钾含量;全区收获测定籽粒和秸秆产量。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法,全氮采用凯氏法,全磷用碱熔—钼锑抗比色法,全钾用NaOH熔融火焰光度法,碱解氮用扩散法,速效磷用Olsen法,速效钾用 $1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提—火焰光度法^[2]。产量测定方法是每小区单收,测定籽粒产量。

1.3 数据分析处理采用Excel和SAS统计分析软件进行

表1 基础土养分含量

Table 1 Nutrient concentration of plot soil

地点 Locaton	土壤有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	全钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Olsen 磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
高肥力 Higher fertilizer	17.3	1503	176	2401	99.75	10.45	157.50
低肥力 Lower fertilizer	13.0	948	185	2337	54.00	7.58	90.00

2 结果与分析

2.1 有机无机肥配合施用对土壤有机质含量的影响

在不同肥力水平下,土壤有机质累积规律一致。随着施入的有机物料增多,土壤有机质呈线性增长趋势,土壤有机质累积量与土壤中施入的有机物料的多少高度相关,复相关系数在不同肥力地块分别高达0.955 3和0.945 1(图1)。

在高肥力地块,土壤培肥4年后,以“NPK化肥+有机肥”处理土壤有机质含量最高,年平均含量达到 $20.23\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加量 $2.63\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加14.95%;“NPK化肥+秸秆还田”年平均含量为 $19.56\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加量 $1.96\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加11.12%,位居第二。

低肥力地块土壤有机质变化趋势与高肥力地块一致,“NPK化肥+有机肥”处理土壤有机质含量最

高,年平均含量为 $15.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加量 $2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 19.2%,其次为“NPK 化肥 + 秸秆还田”处理,年平均含量为 $15.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加量 $2.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 16%。而 NPK 化肥处理无论是高肥力还是低肥力条件的土壤有机质增加量都很小,分别为 $0.45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2.55% 和 $0.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 3.73%。

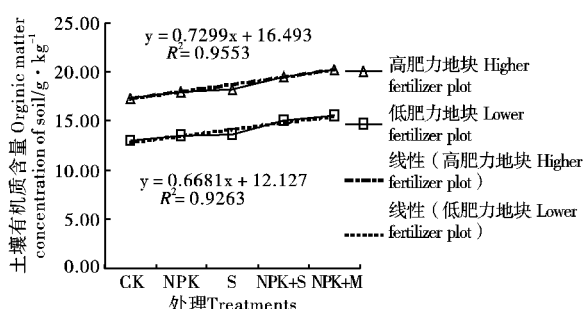


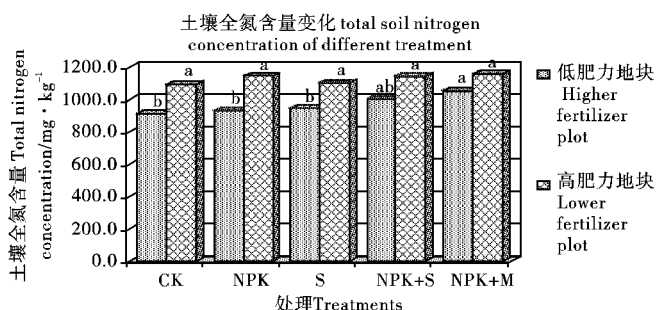
图1 不同处理土壤有机质含量均值(2005—2008)

Figure 1 Average of soil organic matter of different treatments (2005—2008)

2.2 有机无机肥配合施用对土壤养分含量的影响

2.2.1 土壤全氮和碱解氮含量的变化

在高肥力地块,土壤全氮含量和土壤速效氮含量



动态趋势基本一致(图2),都表现为“NPK 化肥 + 有机肥”为最高,分别为 1160.1 和 $103 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比对照增加 63.0 和 $9.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 5.70% 和 10.38%。“NPK 化肥 + 秸秆还田”处理,土壤全氮和土壤速效氮含量分别为 1142.3 和 $98.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比对照增加 44.2 和 $5.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 4.03% 和 5.80%。表明 NPK 化肥配合有机肥施用对土壤全氮和速效氮的培肥作用优于化肥配合秸秆直接还田。

在低肥力地块,土壤全氮含量和土壤速效氮含量也表现为“NPK 化肥 + 有机肥”为最高,分别为 1052.7 和 $77.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比对照增加 135.80 和 $15.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 14.81% 和 24.30%。其中,土壤全氮含量“NPK 化肥 + 有机肥”处理与前三个处理之间含量差异达 0.05 的显著水平,土壤速效氮含量“NPK 化肥 + 有机肥”处理与对照间含量差异达 0.05 的显著水平。而“NPK 化肥 + 秸秆还田”土壤全氮和土壤速效氮含量分别为 1001.3 和 $71.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比对照增加 8.40 和 $8.70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 9.21% 和 13.9%。

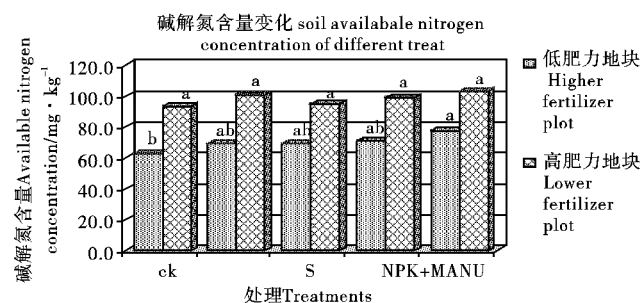


图2 土壤全氮含量和土壤速效氮含量变化

Figure 2 Change of total soil N concentration and available N concentration

以上表明,化肥和有机肥配合施用,在较高肥力条件下,能增加土壤全氮和速效氮含量,在较低肥力条件下,能显著增加土壤全氮含量和速效氮含量。相同用量的 NPK 化肥和有机肥,在较低肥力土壤的作用大于较高肥力土壤的作用,约为高肥力土壤的 3 倍。

2.2.2 土壤磷、钾含量的变化

两个地块的土壤全磷和速效磷含量随着施入的有机物料的增多变化趋势一致(图3)。土壤全磷和速效磷含量都表现为“NPK 化肥 + 有机肥”处理最高,土壤全磷含量在不同肥力地块分别为 200.6 和 $200.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,比对照增加 15.9 和 $18.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;增加 8.63% 和 10.39%;土壤速效磷含量在不

同肥力地块分别为 18.4 和 $15.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 93.19% 和 107.24%,其中高肥力地块土壤速效磷含量与对照相比差异达到 0.05 的显著水平。

NPK 化肥 + 秸秆还田处理,土壤全磷含量在两个地块分别为 $190.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $185.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别比对照增加 5.9 和 $4.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;增加 3.17% 和 2.32%;土壤速效磷含量在两个地块分别为 15.6 和 $12.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加 64.14% 和 68.00%,其中高肥力地块土壤速效磷含量与对照相比差异达到 0.05 的显著水平。

土壤磷的现象说明以下几点:

(1) 由于两个地块基础地力磷含量值相近,导致土壤全磷和速效磷含量的变化趋势在不同地块相似。

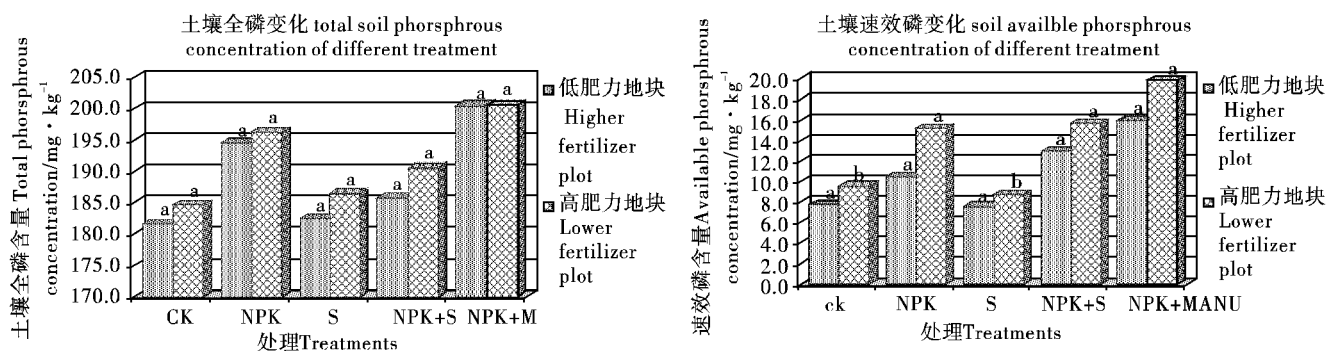


图3 土壤全磷含量和土壤速效磷含量变化

Figure 3 Change of total soil P concentration and Olsen P concentration

(2) 氮磷钾化肥配合有机肥施用,能增加土壤全磷含量,并大幅度增加土壤有效磷含量,增加幅度在一倍甚至以上。

(3) 由于多年大面积的补磷,不同地力的地块在土壤磷水平上也已经达到相似的水平。有机质含量的差异不能反映土壤磷的差异。

(4) 处理“NPK 化肥 + 有机肥”培肥土壤磷的作用要优于“NPK 化肥 + 秸秆还田”。

由于北方土壤固有的供钾潜力较高的特征^[3-4],土壤全钾含量趋势不明显(图4)。施肥的差异表现在对速效钾含量有显著影响,并不能影响土壤全钾含量。对不同肥力地块,土壤速效钾含量呈现随施肥量增多而增多的趋势,以 NPK 化肥 + 有机肥的处理最高,不同地块分别为 149.2 和 149.3 mg · kg⁻¹,基本保持在同一水平。

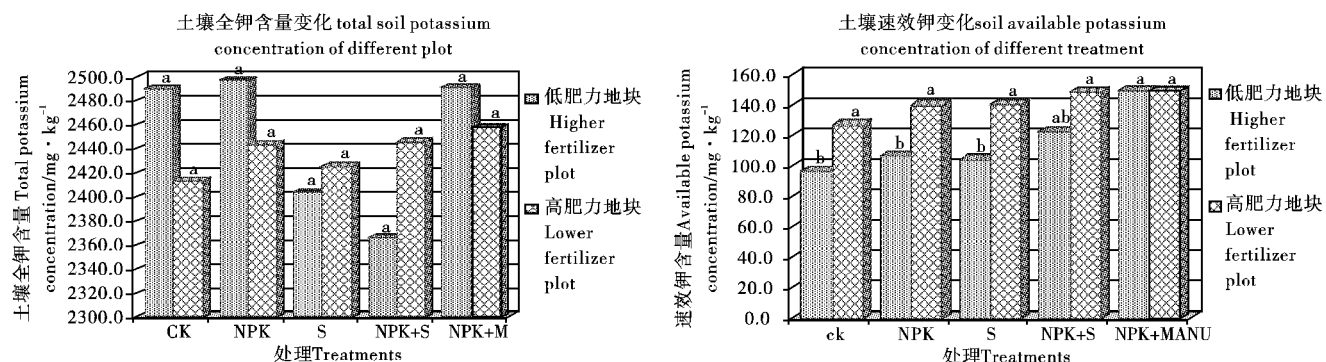


图4 土壤全钾含量和土壤速效钾含量变化

Figure 4 Change of total soil K concentration and available K concentration

2.3 有机无机肥配合施用对作物产量的影响

表2是2005—2008年不同试验地点各处理小麦产量分析结果。相对于对照,在高肥力地块,“NPK 化肥”、“秸秆还田”、“NPK 化肥 + 秸秆还田”和“NPK 化肥 + 有机肥”处理的产量增幅分别达到 60.53%、6.89%、65.95%、79.70%;在低肥力地块,“NPK 化肥”、“秸秆还田”、“NPK 化肥 + 秸秆还田”和“NPK 化肥 + 有机肥”处理的产量分别增加 51.15%、1.63%、63.21%、75.64%,不同肥力地块都以“NPK 化肥 + 有机肥”处理产量最高。

不施肥的对照和只采用秸秆还田的处理,产量都很低,二者产量差异不显著。“NPK 化肥”、“NPK 化肥 + 秸秆还田”和“NPK 化肥 + 有机肥”产量都比上

述两种处理产量有显著增加。这三种处理之间,产量差异亦没有达到统计学显著水平。

从增稳系数看,不同肥力地块都以“NPK 化肥 + 有机肥”最高,分别为 3.19 和 3.03,其次为 NPK 化肥 + 秸秆还田处理。单施化肥的增稳系数要小于前二者。

表2中增产稳定性系数指标(Coefficient of Yield Increase Stability 简写 YISC),在本文定义为:相对于某一作物,在一定试验年限内,第*i*个施肥方案与对照相比,其产量差异达统计学显著水平的年份总数(*TY*)与该处理多年试验平均增产率(*AR*)之积,简称增稳系数。用于从增产幅度、增产稳定性和差异显著三方面综合反映某一施肥处理对作物产量的持续影

表2 不同施肥处理对小麦产量的影响(2005—2008年平均)
Table 2 Average yield with different fertilizer treatments (from 2005 to 2008)

处理 Treatment	小麦产量/kg·hm ⁻²					增产率/% Yield increase rate	增稳系数 Coefficient of yield increase stability
	2005	2006	2007	2008	平均 Average		
高肥力地块 Higher Fertilizer plot	CK	6 646.3b	4 043.8c	3 856.3c	3 531.3c	4 519.4b	
	NPK	7 997.5a	6 993.8b	6 543.8b	7 083.3b	7 154.6a	60.53
	S	7 347.5a	4 131.3c	3 900.0c	3 677.1c	4 764.0b	6.89
	NPK + S	7 822.5a	7 393.8ab	7 150.0ba	7 218.8a	7 396.3a	65.95
	NPK + M	7 918.8a	8 018.8a	7 837.5a	8 260.4a	8 008.9a	79.70
低肥力地块 Lower Fertilizer plot	CK	3 258.8b	2 737.5b	4 187.5c	2 552.1c	3 184.0b	0.00
	NPK	3 728.8ab	6 275.0a	6 068.8b	5 866.7b	4 812.7a	51.15
	S	3 533.8b	3 187.5b	4 618.8c	2 968.8c	3 236.0b	1.63
	NPK + S	4 146.3a	6 487.5a	6 462.5ba	6 468.8ba	5 196.6a	63.21
	NPK + M	4 083.8a	7 193.8a	7 193.8a	6 979.2a	5 592.4a	75.64

注:相同字母表示差异不显著。

响。用公式表示为: $SI = TY \cdot AR$, 式中: SI 表示稳定性增产系数; TY 表示第 i 个施肥方案与对照相比, 其产量差异达统计学显著水平的年份总数; AR 表示第 i 个施肥方案与对照相比, 多年平均增产率。

3 讨论

3.1 NPK 化肥配合有机肥与土壤有机质含量

土壤有机质累积量与土壤中施入的腐熟有机物料的多少高度相关, 复相关系数达 0.95。尽管秸秆还田中归还土壤的秸秆中含有大量的有机碳, 但是, 秸秆在施入时是直接还田, 施入土壤后还需要经过一个相当长的腐解过程, 因此也是“NPK + 秸秆”培肥效果要次于“NPK + 有机肥”的因素之一, 从理论上来看, 秸秆腐熟以后还田施用, 可以起到更快速培肥土壤有机质的作用。

对不同地力水平来说, 施入等量的有机肥, 在相对较低肥力地块上的土壤有机质培肥效果比高肥力地块土壤有机质含量增加要快一些。

3.2 NPK 化肥配合有机肥与土壤养分含量

作物吸收土壤中的 N 有 40% ~ 45% 来自土壤中的储存 N (有机态氮), 施入土壤中有机肥 N 除部分矿化供给当季作物利用外, 大部分留在土壤中, 使土壤 N 得到更新和补偿。而施入土壤中的无机氮肥很少能在土壤有机质中积累, 只有同时增加有机碳时, 才能增加有机氮含量。而且归还土壤的有机氮量比土壤中原有有机氮易矿化, 更有利于作物吸收利用^[5-6]。长期施氮肥或氮磷钾化肥能显著增加土壤

中硝态氮和铵态氮含量, 但对土壤有机氮含量的影响较小^[7-8]。在本文中化肥和有机肥配合施用, 在较高肥力条件下 (本文土壤有机质 $\geq 17.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 能增加土壤全氮和速效氮含量, 在较低肥力条件下 (土壤有机质含量在 $13.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 能显著增加土壤全氮含量和速效氮含量。等量的 NPK 化肥和有机肥, 在较低肥力土壤的作用大于较高肥力土壤的作用, 约为高肥力土壤的 3 倍。另外, 由于施入土壤中的腐熟有机肥氮比秸秆中的氮缩短腐熟时间, 减少再次腐熟的养分消耗量, 因此, NPK 化肥配合有机肥施用, 其作用优于 NPK 化肥加上相同氮养分含量秸秆直接还田。

磷肥的残效期较长, 重施一次磷肥, 其后效至少可持续十年以上^[9-10]。氮磷钾化肥配合有机肥施用, 能增加土壤全磷含量, 大幅度增加土壤有效磷含量, 显著增加土壤速效钾含量。

从山前平原土壤养分管理现状来看, 自全国第二次土壤普查后, 重视化肥的快速增产作用, 甚至盲目过量施用氮磷肥, 使得土壤中的 Alsen 磷含量基本维持在 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 属于河北地力分级标准的中高水平; 但是, 同样的尽管多年来大量施用氮肥, 甚至有一段时期盲目过量施用氮肥, 由于忽视 NPK 化肥与有机肥的适量配合适用, 因此土壤有机质状况和土壤 N 储量的培肥相对要缓慢得多。土壤有机质含量全氮含量仍然维持在 $950 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右, 处于较低水平。

3.3 NPK 化肥配合有机肥与产量

通过本试验结果来看, NPK 化肥配合有机肥, 增

加了土壤有机质含量和土壤 N 储量,大幅度增加了土壤速效态磷含量,显著增加土壤速效钾含量,是增加作物产量并提高增产稳定性的主要因素。在华北北部太行山山前平原地区,在平衡施肥的条件下,腐熟有机肥年投入量在 $4\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,约折合有机碳量 $1\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的含量时。腐熟有机肥的作用优于玉米秸秆直接还田。

4 结论

化肥配合有机肥施用对土壤养分环境的培肥作用,优于化肥配合等养分含量的秸秆直接还田。其增加了土壤有机质含量和土壤 N 储量,大幅度增加了土壤速效态磷含量,显著增加土壤速效钾含量,是提高小麦增产稳定性的根本原因。在太行山山前平原区,一般施用量在化肥 $\text{N}\,210\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5\,90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O}\,90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 有机肥折合养分含量在 $\text{N}\,65\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P}_2\text{O}_5\,18\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{K}_2\text{O}\,56\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 有机 C 量 $1\,500\sim3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 可达到稳定增进土壤氮磷钾养分环境,改善土壤有机质状况,稳定增加小麦产量的积极培肥作用。

参考文献:

[1] 刘 娣,范丙全,龚明波. 秸秆还田技术在中国生态农业发展中的

作用[J]. 中国农学通报, 2008, 24 (6) : 404 - 407.

[2] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[3] 邢素丽, 李春杰, 韩宝文. 壤质潮土长期施钾对小麦玉米轮作作物钾吸收的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23 (S2) : 274 - 278.

[4] 邢素丽, 刘孟朝, 韩宝文. 12 年连续施用秸秆和钾肥对土壤钾素含量的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38 (3) : 486 - 489.

[5] 朱兆良. 关于土壤氮素研究中的几个问题[J]. 土壤学进展, 1989, 17 (2) : 1 - 9.

[6] 张国荣, 李菊梅, 徐明岗. 长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42 (2) : 543 - 551.

[7] Rasmussen P E, Rohde C R. Long - term tillage and nitrogen fertilization effects on organic nitrogen and carbon in semiarid soil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52 (4) : 1114 - 1117.

[8] Darusman Stone L R, Whitney K A. Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen sources[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55 (4) : 1097 - 1100.

[9] Bolland M D A, Weatherley A J, Gilkes R J. The long - term residual value of rock phosphate and superphosphate fertilizers for various plant species under field conditions[J]. *Fertilizer Research*, 1989, 20 (2) : 89 - 100.

[10] 林继雄, 林 葆, 艾 卫. 磷肥后效与利用率的定位试验[J]. 土壤肥料, 1995 (6) : 1 - 5.