

长期施肥对土壤水分特性影响的研究

120-128, 13 | 张玉革 姜 勇
(沈阳市农业技术推广站 沈阳 110034)

依艳丽 邹德乙 刘孝义
(沈阳农业大学)

SL52.7

摘 要 本文较为系统地研究了沈阳农业大学棕壤长期定位试验地施肥对土壤基本物理性质、持水特性及供水状况的影响。结果表明:经过15年不同施肥处理,耕地棕壤的基本物理性质和水分为发生了明显的变化。低吸力段,单施N肥处理提高了0~20cm土层土壤持水力,但降低了其释水能力,其它施肥处理降低了土壤的持水力,却增强了其释水能力。单施N肥处理0~20cm土层土壤吸湿水段(3.1~203.1MPa吸力)持水力提高,最大吸湿水量和单分子层水量提高,其它施肥处理土壤持水力、最大吸湿水、单分子层水量则降低。施化肥处理土壤速效性有效水含量比对照下降4.71~19.76%,施有机肥处理土壤速效性有效水含量增加3.05~30.50%。不同施肥处理对土壤的供水强度影响不大。

关键词 水分特性;施肥;定位试验;棕壤

土壤水分, 长期施肥,

1 材料与方法

1.1 试验材料

沈阳农业大学棕壤长期定位试验田,始建于1979年,实施玉米-大豆-玉米轮作制度。1979年原始土壤的基础肥力状况为:有机质含量为 $15.9\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷(P) $0.372\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH(水浸)为6.50。经过十余年定位施肥,土壤的物理化学性质均有所变化。本试验的样品采集于1993年秋天,采集18个处理的0~20cm的土壤样品,有选择地对其中有代表性的11个处理土样进行了物理性质及水分特性的研究,以考察长期定位施肥对土壤持水特性的影响。

1.2 研究土样的田间处理

CK:对照;

N:施氮肥处理

NK:氮、钾肥配施处理;

NP:氮、磷肥配施处理;

NPK:氮、磷、钾肥配施处理;

M₁:施低量有机肥处理;

M₂:施高量有机肥处理;

M₂N:有机肥配施氮肥处理;

M₂NK:有机肥配施氮、钾肥处理;

M₂NP:有机肥配施氮、磷肥处理;

M₂NPK:有机肥配施氮、磷、钾肥处理;

长期定位田间试验所施有机肥为猪厩粪,历年来的有机肥平均含有机质 $119.6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 含氮 $5.75\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、含磷(P₂O₅) $6.57\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、含水量 $336\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;氮肥为尿素和硫酸铵,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。其施肥量为:低量有机肥 $18570\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。高量有机肥 $37500\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。氮、磷、钾施用量因种植作物不同而不同,1980年后,玉米茬施氮(N) $120\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷(P₂O₅) $60\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,钾(K₂O) $60\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、大豆茬施肥为每公顷 30kgN 、 $90\text{kgP}_2\text{O}_5$ 、 $90\text{kgK}_2\text{O}$ 。

1.3 测定项目与分析方法

(1)土壤含水量采用恒温箱烘干法^[1]。

(2)微团聚体用水浸-机械分散-吸管法测定;比表面采用饱和醋酸钾平衡法;土壤结构分析,测定不同粒径团聚体含量用沙维诺夫干筛法^[1,2]。

(3)土壤持水性的测定,10kPa~1.5MPa吸力段采用压力膜法;3.1~203.1MPa高吸力段采用水气压力法^[1]。

2 结果与讨论

2.1 不同施肥处理对土壤有机质含量、比表面、微结构的影响

连续15年施肥对0~20cm耕层土壤有机质含量、比表面积、微结构均发生影响。各施肥处理土壤的有机质含量均明显高于对照。尤其是施用有机肥料处理的有机质含量高达18.42~19.92g·kg⁻¹,与对照相比,增加百分比为28.18~38.62;单施化肥处理有机质含量为14.79~15.32g·kg⁻¹,比对照仅增加2.92~6.61%。说明有机肥的施用,有利于提高土壤有机质含量。化肥的施用对于土壤有机质积累效果不明显。

表 122 不同施肥处理土壤有机质含量(g·kg⁻¹)、比表面(m²·g⁻¹)、微结构(%)

处理	CK	N	NK	NP	NPK	M ₁	M ₂	M ₂ N	M ₂ NK	M ₂ NP	M ₂ NPK
有机质	14.37	14.79	14.85	14.87	15.32	18.42	19.90	17.83	18.66	18.52	19.92
比表面	82.36	85.93	78.89	77.08	79.33	76.42	80.86	—	78.51	76.85	80.71
与CK相比											
增加(%)	0	4.33	-4.21	-6.41	-3.67	-7.21	-1.82	—	-4.67	-6.69	-2.00
<0.001mm	10.54	10.75	10.39	8.54	6.60	3.30	3.80	3.67	4.85	3.67	5.39
1~0.25mm	9.13	3.80	7.20	9.00	8.70	16.21	19.00	15.80	16.83	14.96	19.88

从表1可知,各施肥处理中,唯有单施N肥处理土壤比表面积为85.93m²·g⁻¹,比对照增加4.33%。其它单施化肥和施用有机肥料处理土壤比表面积都比对照降低。其中单施化肥(NK、NP、NPK)比表面积在77.08~79.33m²·g⁻¹之间,与对照相比降低3.67~6.14%。施用有机肥料比表面积在76.42~80.86m²·g⁻¹之间,比CK降低了2.00~7.21%。充分说明长期单施化学N肥导致土壤结构和孔隙状况恶化。这是因为N素的施用不利于土壤有机质积累,且对土粒有分散作用。

从各处理微结构状况来看(见表1), <0.001粒径颗粒含量,单施N肥处理为10.75%,比对照增加0.19%,其它施肥处理的含量为3.30~10.39%,均比对照低。这同比表面变化规律一致。其中施用有机肥料处理下降百分比尤为明显(48.86~68.69%),单施化肥处理(NK, NP, NPK)下降值仅为1.42~37.38%,远不及有机肥各处理。而1~0.25mm粒径的团聚体含量表现为:施用有机肥料的处理含量16.21~19.88%,比对照(9.13%)增加77.54~111.74%,而施用化肥的处理含量3.80~9.00%,此值比对照降低1.42~58.38%。通常以为,<0.001mm颗粒不属于微团聚体范畴,主要是有机胶粒、无机胶粒和有机无机复合体,这一级颗粒含量对土壤性质的影响十分重要,它在水中呈悬浊状态,粘着性大,透水性能低,使土壤毛管水移动极慢。而1~0.25mm团粒吸收水分及养分的作用较小,但释放水、养分的能力增强,对调节土体中水、肥、气、热状况有重要作用。以上事实说明,连续15年施用有机肥料有利于改善土壤微结构。

2.2 不同施肥处理对土壤持水特性的影响

土壤持水特性表现了土壤的保水能力,在非饱和土壤中,其性能大小取决于土壤基质势

(φ_m)。土壤基质借吸附-毛管力作用而吸持水分,因而土壤中水分的保持、释放、被植物吸收利用,都受土水势(φ_t)的制约。植物要从土壤中吸收水分就必须使植物根水吸力大于土壤水吸力,水分才能顺利进入植物体。土壤水势能是反映土壤植物供水能力的一种能量指标,持水特征曲线是反映非饱和土壤基质势(或吸力)与含水量间的相关曲线。通常认为吸力在 10kPa~1.5MPa 范围内的土壤水分为植物可利用水分。实际工作中,研究低吸力段持水状况更具有意义。

(1) 不同施肥处理对 10~100kPa 吸力段土壤持水特性的影响

测得的不同施肥处理 0~20cm 耕层土壤在 10kPa~1.5MPa 吸力范围的持水量,绘制 10~100kPa 的水分特征曲线^①如图 1(a, b)所示,曲线呈幂函数曲线形状,据此认为可用 Gander 经验式 $\theta = as^{-b}$ 表示^②。以最小二乘法求得的不同施肥处理土壤水分特征曲线 Gander 式如下:

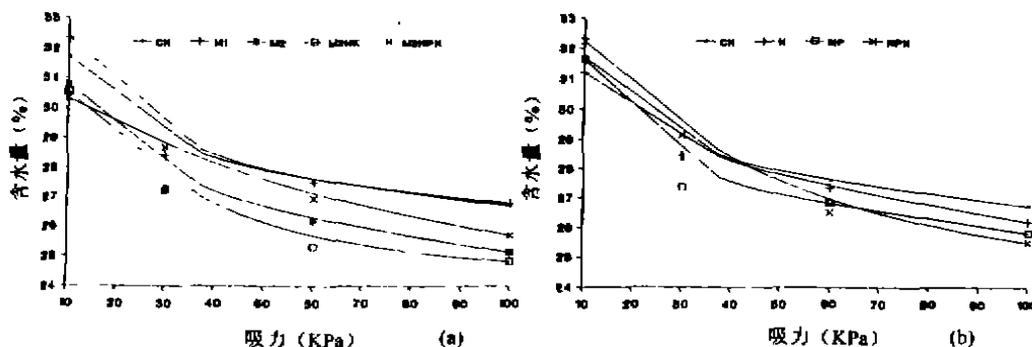


图 1 不同施肥处理 10~100kPa 吸力段水分特征曲线

CK:	$\theta = 37.0863S^{-0.07319}$	M ₁ :	$\theta = 37.6454S^{-0.07966}$
N ₁ :	$\theta = 40.9515S^{-0.10325}$	M ₂ :	$\theta = 36.9477S^{-0.07476}$
NK:	$\theta = 37.3153S^{-0.08707}$	M ₂ N:	$\theta = 39.1709S^{-0.09160}$
NP:	$\theta = 37.5788S^{-0.09313}$	M ₂ NK:	$\theta = 37.8872S^{-0.08584}$
NPK:	$\theta = 36.0329S^{-0.07143}$	M ₂ NPK:	$\theta = 41.1467S^{-0.09424}$

式中, θ 为土壤含水量(%), S 为土壤水吸力(kPa), a 、 b 为经验系数。从水分特征曲线可以看出,连续 15 年施肥对棕壤 10~100kPa 吸力段持水性能发生影响。在各施肥处理中唯有单施 N 肥提高了土壤持水力。其它单施化肥和施用有机肥料处理都降低了土壤持水力。各处理土壤持水力情况与其比表面、微团聚体呈现的规律性是一致的,即单施 N 处理土壤比表面及 <0.001mm 粒级颗粒含量增加,1~0.25mm 团聚体含量较大幅度地减少。而其它单施化肥处理和施有机肥处理都降低了土壤比表面和 <0.001mm 颗粒含量。从而说明了土壤基本物理性质对土壤持水特性的制约作用。有研究表明^(3,4),大于 100kPa 吸力时,土壤水的保持主要由于吸附作用(吸湿水、膜状水及部分毛管水),它与土壤比表面、微结构、质地及土壤胶体密切相关。长期合理施肥,可以提高土壤有机质含量,改善土壤结构状况,致使土壤持水特征曲线下移,而且释水(或供水)能力提高(下面有所提及)。

① 因 10kPa~1.5MPa 吸力段水分特征曲线图幅宽,处理间展开度不理想,且 100kPa~1.5MPa 段水分曲线无交叉现象,故只绘制 10kPa~100kPa 吸力段水分曲线。

② 张玉龙. 关于土壤水分特征曲线空间变异性的研究. 沈阳农业大学博士学位论文, 1992

(2)不同施肥处理对 3.1~203.1MPa 吸力段土壤持水性的影响

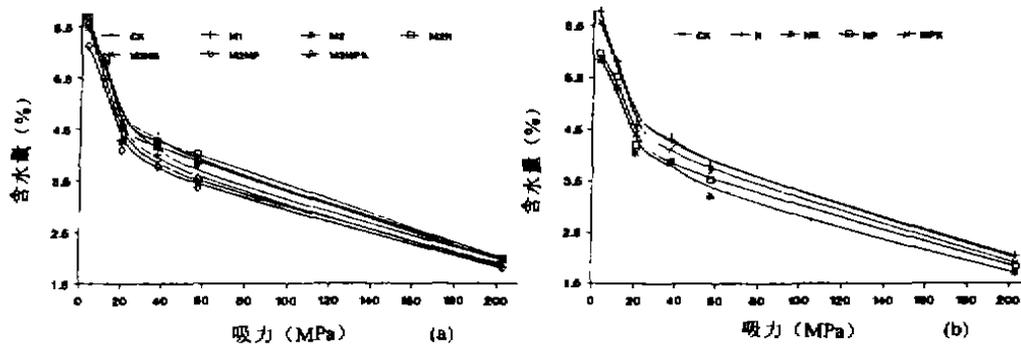


图2 不同施肥处理 3.1~203.1MPa 吸力段水分特征曲线

高吸力段(低土水势),即吸湿水段,土壤持水力主要取决于土壤颗粒表面能,也就是说土壤吸湿量大小与土壤比表面密切相关。从图2(a,b)可见,连续15年施用不同肥料使0~20cm耕层土壤高吸力段持水力发生了明显变化。单施N肥处理土壤持水能力比对照略高,而其它各施肥处理土壤持水能力均低于对照和单施N肥处理。例如20MPa时,各处理土壤吸湿量:单施N肥为4.59%,略高于对照,其余施肥处理为4.05~4.40%,均比对照的4.55%低,其中NP和M₂NP处理土壤的吸湿水量分别为4.19%和4.09%,比对照处理持水力降低程度较大。可见,不同施肥处理0~20cm土层土壤高吸力段持水力变化与土壤比表面大小规律相一致,如前所述,N肥处理土壤比表面比对照增加,NP和M₂NP处理的土壤比表面较小。充分说明施肥(除单施N肥)降低土壤比表面,改善了土壤微结构,直接影响土壤对水分的吸持作用,降低了土壤吸湿量,即提高了高吸力段土水势。

2.3 不同施肥处理土壤水分形态类型及供水状况

(1)不同施肥处理土壤各吸力段含水量与水分形态类型分类

土壤中水分所受的力不同,决定着水分存在的形态不同,而不同形态水分的有效性是不同的。形态的概念和能量的概念并不对立而是有内在联系的。从势能角度分析土壤水分的有效性,再以水分类型来补充说明。连续15年施用肥料对0~20cm耕层土壤的各形态水分含量发生影响(如表2)。施用有机肥料处理土壤毛管水含量(全有效水含量)为12.18~12.59%,比对照增加2.44~5.89%。单施化肥处理毛管水含量为11.73~11.89%,与对照接近。再从10kPa~1.5MPa吸力段不同处理土壤释水率(毛管含水量/总持水量)来看,单施N肥处理土壤的释水率为36.5%,比对照的37.4%低。其它施肥处理区土壤的释水率为37.9~40.4%,均明显高于对照,其中M₂处理的M₂NPK处理土壤的释水率分别为40.4%和39.3%,较大幅度地高于对照。这一事实说明,长期单施化学N肥土壤的持水、保水能力虽然增强,但其释水或供水能力降低;而其它施肥处理虽使土壤水分特征曲线下移,保水能力下降,但其释水、供水能力提高。尤其是施用有机肥料的各处理土壤的毛管水净含量也增加。不同施肥处理土壤的毛管-膜状水含量情况:单施N肥处理土壤为14.50%,比对照13.11%高,其它施肥处理为11.70~13.0%,均比对照低。多年单施N肥处理土壤的最大吸湿水-单分子水层含量为4.73%,比对照略高,其它施肥处理土壤为4.12~4.62%,均低于对照处理。长期单施N肥土壤比表面增加,<0.001mm粘粒含量增加,从而使土壤的毛管-膜状水及最大吸湿水-单分子水层水含量增加。其它施肥处理土壤的比表面降低,土壤微结构改善,土壤的毛管-膜状水

及最大吸湿水-单分子水层水含量降低。尤其是施用有机肥料处理,较大幅度的增加了土壤有机质含量,改善了土壤微结构,降低了土壤比表面,土壤的毛管孔隙增加,乃至土壤的毛管水含量增加。

表2 不同施肥处理土壤各吸力段含水量与水分形态类型(%)

处理	毛管水		毛管-膜状水 1.5~3.1MPa	最大吸湿水-单分子水层		
	10kPa~1.5MPa	释水率		3.1MPa	3.1~203.1MPa	203.1MPa
CK	11.89	37.4	13.11	6.72	4.70	2.02
N	11.88	36.5	14.50	6.78	4.73	2.05
NK	11.73	38.1	13.0	5.85	4.14	1.71
NP	11.81	38.6	12.75	5.96	4.12	1.84
NPK	11.87	37.9	12.88	6.57	4.66	1.91
M ₁	12.18	38.9	12.64	6.52	4.68	1.84
M ₂	12.59	40.4	12.48	6.49	4.54	1.95
M ₂ NK	12.42	39.3	11.70	6.48	4.61	1.88
M ₂ NPK	12.26	38.0	12.38	6.59	4.62	1.97

(2)不同施肥处理对土壤水分的有效性和供水强度的影响

土壤释出水能力大小不仅受 φ_m 支配,还取决于土壤大小孔隙的分配比例。在考查土壤释水特性强弱的同时还应注意水分有效值大小。土壤水分对植物根系的供应取决于土壤水分的容量和强度。水分容量主要是指植物从土壤吸收的有效水含量。而表示土壤水分供应强度的比水容量是根据土壤水分特征曲线的斜率 $d\theta/ds$ 来确定的。

不同施肥处理土壤水分的有效性情况见表3。多年不同施肥处理土壤全有效水含量及速率性有效水含量均发生变化,施用有机肥料土壤的速效性有效水含量为4.38~5.55%,比对照速效水含量提高3.05~30.59%,而单施化肥各处理速效水含量仅为3.41~4.05%,比对照下降4.71~19.76%。如前所述,单施化肥处理土壤的全有效水含量为11.73~11.88%,与对照相差不大,而施有机肥的各处理全有效水含量为12.18~12.59%,明显高于对照处理。不同施肥处理对土壤的迟效性有效水和缓效性有效水影响不很明显。土壤的速效性有效水含量是土壤供水状况优劣的重要标志,多年施用有机肥处理区土壤的供水能力较强^[5],这与施用有机肥处理土壤1~0.25mm粒径团粒含量明显增加是一致的。

表3 不同施肥处理土壤水分的有效性(%)

处理	速效水	迟效水	缓效水	全有效水	无效水	有效水/无效水
	30~300kPa	30~600kPa	600kPa~1.5MPa	10kPa~1.5MPa		
CK	4.25	2.17	2.98	11.89	19.82	0.60
N	3.41	1.79	2.79	11.88	20.88	0.57
NK	3.61	1.78	2.86	11.73	19.05	0.61
NP	3.88	1.93	2.69	11.81	18.71	0.63
NPK	4.05	1.93	3.35	11.87	19.15	0.61
M ₁	4.38	1.94	3.43	12.18	19.16	0.64
M ₂	4.82	2.02	2.85	12.59	18.74	0.67
M ₂ NK	4.38	2.24	2.84	12.42	18.19	0.68
M ₂ NPK	5.55	2.11	2.50	12.26	18.97	0.65

有人还建议^[6],以土壤有效水与无效水比值评价土壤供水能力强弱,并认为肥力高的土壤的比值大于肥力低的土壤。从表3可见,单施N肥处理土壤的有效水与无效水比值为0.57,比对照稍低,其它施肥处理有效水与无效水比值为0.61~0.68,均比对照高。从有效水与无效水比值可以看出,长期单施N肥处理土壤供水能力比其它施肥处理差。

由于土壤持水曲线是非线性的,表示土壤水分供应强度的比水容量,在不同吸力时,其大小是不同的。同样的吸力差,低吸力时,土壤释出的水量较多,作物吸水耗能少;高吸力时,土壤释出的水量较少,作物吸收同样的水量将耗费成倍能量,从各不同施肥处理0~20cm土层土壤的比水容量(表4)来看,不同施肥处理土壤在10~30kPa段比水容量处于 10^{-1} 级,水分易被植物吸收利用,30~100kPa时,比水容量为 10^{-2} 级植物吸收水分难度增加,吸收水量显著减少,各不同施肥处理间比水容量未达到级数差别。100~300kPa时,不同施肥处理比水容量出现级数差异,所有处理中, M_1 、 M_2 NK的比水容量级数仍为 10^{-2} 级,其它施肥处理则为 10^{-3} 级,说明在这一吸力段, M_1 、 M_2 NK处理供水状况好于其它处理。在300kPa以上,各不同施肥处理的比水容量均未达到级数差异。说明连续15年不同施肥处理对0~20cm耕层土壤的供水强度影响不大。

表4 不同施肥处理对土壤比水容量的影响 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{bar}$)

处理	10~30kPa	30~60kPa	60~100kPa	100~300kPa	300~600kPa	0.6~1.5MPa
CK	1.25×10^{-1}	5.47×10^{-2}	2.18×10^{-2}	8.70×10^{-3}	9.23×10^{-3}	3.31×10^{-4}
N	1.96×10^{-1}	3.07×10^{-2}	2.78×10^{-2}	8.90×10^{-3}	5.97×10^{-3}	3.10×10^{-4}
NK	2.24×10^{-1}	3.67×10^{-2}	2.68×10^{-2}	7.21×10^{-3}	5.93×10^{-3}	2.18×10^{-4}
NP	2.16×10^{-1}	6.37×10^{-2}	1.20×10^{-2}	7.50×10^{-4}	6.43×10^{-3}	3.99×10^{-4}
NPK	1.32×10^{-1}	5.77×10^{-2}	3.10×10^{-2}	6.40×10^{-3}	6.43×10^{-3}	3.72×10^{-4}
M_1	1.20×10^{-1}	5.03×10^{-2}	3.40×10^{-2}	7.60×10^{-2}	6.47×10^{-3}	3.81×10^{-4}
M_2	1.39×10^{-1}	3.67×10^{-2}	2.85×10^{-2}	1.29×10^{-3}	6.73×10^{-3}	3.17×10^{-4}
M_2 NK	1.63×10^{-1}	1.80×10^{-2}	2.48×10^{-2}	1.27×10^{-2}	7.47×10^{-3}	3.16×10^{-4}
M_2 NPK	1.05×10^{-1}	8.80×10^{-2}	2.48×10^{-2}	9.66×10^{-3}	7.03×10^{-3}	2.78×10^{-4}

3 结论

(1)长期单施N肥使0~20cm土层土壤比表面提高4.33%,其它施化肥处理、有机肥和有机无机配施处理土壤比表面降低1.82~7.21%。单施N肥处理0~20cm土层土壤中处于分散状态的 $<0.001\text{mm}$ 粘粒含量比对照提高0.19%,其它施化肥处理土壤比对照下降1.42~37.38%,有机肥和有机无机配施比对照下降48.86~68.69%。与对照相比,施化肥处理耕层土壤1~0.25mm团粒含量降低1.42~58.38%,而施有机肥料处理提高63.86~117.74%。

(2)长期单施N肥使0~20cm土层土壤的10kPa~1.5MPa吸力段持水力提高,但其释水能力降低,而其它施肥处理持水力都有所降低,但释水能力提高。单施N肥处理3.1~203.1MPa吸力段持水力提高,最大吸湿水量和单分子层水量提高,其它施肥处理持水能力、最大吸湿水量,单分子层水量则降低。

(3)施用化肥处理土壤的速效性有效水含量比对照下降4.75~19.76%;而施有机肥料处理土壤的速效性有效水含量比对照提高3.05~30.59个百分点。但连续15年施肥后,不同施肥处理对土壤的供水强度影响不大。

(下转第131页)

