

# 德国帕·劳斯特试验地施肥对土壤 性质和作物产量的影响\*

陈子明

(中国农业科学院土壤肥料研究所, 100081)

Dieter Eich, Martin Körschens

(德国帕·劳斯特土壤肥力研究分所)

## EFFECT OF MANURING AND FERTILIZATION ON SOIL PROPERTIES AND CROP YIELDS OF BAD LAUCHSTÄDT EXPERIMENTAL PLOTS IN GERMANY

Chen Ziming

(Soil and Fertilize Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 100081)

Dieter Eich, Martin Körschens

(Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg-Bereich Bad Lauchstädt, Germany)

**关键词** 土壤肥力, 磷钾平衡, 碳氮平衡

帕·劳斯特 (Bad Lauchstadt) 土壤肥力试验地位于柏林西南部, 土壤是黄土母质发育的黑土。它建于1902年, 是德国最古老和最重要的土壤肥料研究基地之一, 它的试验设计方案实际上是八项方案的六项减缩方案。这项典型的方案目前世界各地仍在沿用其中有机无机肥料配合更有独到和预见性, 这对提高土壤肥力和增加产量是有深远意义, 作物种植的时间空间重复也是设计的重要特点。试验表明有机肥料对土壤有机质的平衡、氮素平衡、磷钾平衡和微量元素平衡都起重要作用<sup>[1]</sup>; 施肥措施对改良土壤结构、改善微形态特征以及容重、持水量等都有明显效果。

### 一、试验材料和方法

试验在甜菜、春小麦、马铃薯、冬小麦和苜蓿的轮作制度下设置三种肥料方案。在各方案中, 在同一

\* 文章是作者于1989年在德国进行合作研究的部分结果。参加工作的还有 Hons Dietrich 和 Elke Schulz。文章还承蒙张乃风教授审阅指正, 一并致谢。

年里同时种植轮作中的各种作物,因此,各种作物不仅在轮作周期中重复出现,且在同一年中同时出现,具有时空重复,这样不同作物可同时接受不同气候变化的影响,减少气象误差。试验方案为:第一方案是每两年每公顷施 30 吨厩肥 ( $m_1$ ) 的基础上分别每年施用化肥 NPK、NP、NK、N、PK 以及单施厩肥 ( $m_1$ ) 共 6 个处理,其中化肥 N 为 120kg,  $P_2O_5$  12kg,  $K_2O$  为 50kg。第二方案是在每两年每公顷施用 20 吨厩肥 ( $m_2$ ) 的基础上每年施用化肥分别为 NPK、NP、NK、N、PK 以及单施厩肥共 6 个处理,其中的化肥 N 为 120kg,  $P_2O_5$  为 28kg  $K_2O$  为 110kg。第三方案为每年每公顷施用化肥分别为 NPK、NP、NK、N、PK 以及无肥区共 6 个处理,其中 N 为 120kg,  $P_2O_5$  为 60kg,  $K_2O$  为 230kg。

研究材料取自三个方案的各处理,有的只采用其中的部分结果;用常规法测定了有机质、氮、磷、钾和微量元素等化学性状;并还测定了容重、孔隙度、持水量等物理性状和微形态特征。

## 二、结果与讨论

### (一) 施肥对土壤物理性状的影响

近百年的长期施肥实验,土壤的物理性状发生了变化。据对 0—15cm、15—35cm 的代表性土层的测定:其土壤容重和土壤比重,每公顷施用 30 吨厩肥加 NPK 处理比单施 NPK 和无肥处理有所降低,如在 0—15cm 土层内前者容重为  $1.32g/cm^3$ ,而后者分别为  $1.45g/cm^3$  和  $1.36g/cm^3$ 。土壤孔隙度的结果恰与土壤容重和比重相反,施用 30 吨厩肥加 NPK 处理比单施 NPK 和无肥处理却有增加。田间持水量是施用 30 吨厩肥加 NPK 处理的,在 0—15cm 土层内为  $323.6g/kg$ ,比单施 NPK 和无肥区的  $280.4g/kg$  和  $306.3g/kg$  分别增加 15.4% 和 5.6%。从上述数据可看出长期施肥的结果改善了土壤物理条件<sup>[3]</sup>。

### (二) 施肥对土壤微形态的影响

土壤微形态的变化受许多因素的影响,其中主要受有机质的影响,从图版微形态照片(1—8)中可以看到凡是长期施用有机肥料的处理,不论是在 0—30cm 或是 30—60cm 土层内都有各种粒级的团聚体,疏松多孔,有大量腐解和半腐解的有机质、大量的根系和蚯蚓粪。在单施化肥 NPK 的处理中,0—30cm 土层的结构比较好,但 30—60cm 土层的团聚体比较差,有机物少,结构比较紧实。无肥区的团聚体更差,土粒均匀分布,深层根系少,有机质少,而且土体紧实,这同我们以前的研究<sup>[2,3]</sup>相类似。因此,长期施用有机肥料和秸秆还田是有利于有机质的更新和积累并同土粒结合形成大的团粒和各级团聚体<sup>[3]</sup>。由于团聚体的增加,致使结构疏松,通气透水、蓄水保墒,增强田间持水性能,从而有利于作物的生长。

### (三) 施肥对土壤有机质和养分性状的影响

1. 对土壤有机质的影响:长期施用有机肥料对提高土壤有机质含量有很好的效果<sup>[1,4]</sup>,如表 1 所示,从 0—30cm 土层中,每公顷施用厩肥 30 吨加 NPK 处理,其有机质含量为  $38.9g/kg$ ,这是所有的处理中含量最高的,其余的顺序分别为厩肥加 NP、NK、N、PK,单施厩肥 30 吨为  $35.3g/kg$ 。施 20 吨厩肥加 NPK 处理的为  $33.6g/kg$ ,单施 NPK 化肥的为  $27.8g/kg$ 。据统计每公顷施用厩肥 30 吨加 NPK 处理比单施 30 吨厩肥的增加有机质 10.1%,比单施 NPK 化肥的增加 39.9%,比无肥处理增加 43.8%。由此可见,长期施用有机肥料或加 NPK 化肥能增加土壤的有机质含量。

表 1 德国帕·劳斯特试验地的化学性状

处理	土层 (cm)	土壤有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	速磷 (mg/kg)	速钾 (mg/kg)	代换量(cmol (+)/kg)
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NPK	0—30	38.9	1.91	163	2.50	275.0	572.0	17.46
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NPK	30—60	31.9	1.84	124	1.96	210.0	288.0	17.02
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NP	0—30	38.5	1.91	158	2.26	225.0	260.0	
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NK	0—30	37.1	1.94	159	1.74	145.0	358.0	
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> N	0—30	35.5	1.90	143	1.67	105.0	280.0	
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> PK	0—30	35.2	1.84	137	2.12	281.0	620.0	
m <sub>1</sub>	0—30	35.3	1.80	134	1.85	163.0	298.0	17.90
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NPK	0—30	33.6	1.78	136	2.00	158.0	274.0	17.68
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NPK	30—60	28.8	1.50	106	1.64	132.0	190.0	16.69
NPK	0—30	27.8	1.55	125	1.64	111.0	224.0	17.02
NPK	30—60	25.7	1.42	107	1.45	102.0	187.0	17.68
NP	0—30	28.3	1.46	111	1.58	104.5	140.0	
NK	0—30	27.9	1.57	115	1.09	18.4	220.0	
N	0—30	26.2	1.53	115	1.10	19.2	143.0	
PK	0—30	26.8	1.42	108	1.54	110.0	284.0	
无肥	0—30	27.1	1.41	109	1.14	24.4	158.0	18.45
无肥	30—60	24.7	1.37	98	1.08	22.0	129.0	17.46

注：表 1 的 m<sub>1</sub> 为 30 吨/公顷厩肥，m<sub>2</sub> 为 20 吨/公顷厩肥，表 2、表 3 的 m<sub>1</sub> 和 m<sub>2</sub> 与表 1 相同。新鲜厩肥的养分含量约为 N 0.45%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.15%，K<sub>2</sub>O 0.55%，但施用厩肥比较浓，并且有些已开始分解。

表 2 德国帕·劳斯特试验地的微量元素

处理	0—20cm 土层			20—40cm 土层			40—60cm 土层		
	B	Cu	Mn	B	Cu	Mn	B	Cu	Mn
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NPK	2.8	7.0	79	2.9	7.0	72	2.7	4.4	42
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NP	2.9	6.2	92	3.0	6.0	73	2.5	4.1	33
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NK	3.0	5.7	87	2.8	5.6	80	2.7	4.0	39
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> N	3.7	5.7	86	3.7	5.4	78	2.8	3.9	38
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> PK	2.6	5.9	65	2.7	5.6	55	2.2	3.9	24
m <sub>1</sub>	2.8	4.9	70	2.6	4.5	70	2.2	3.1	31
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NPK	2.5	4.6	97	2.4	4.4	78	1.8	2.7	28
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NP	2.4	4.8	90	2.5	4.8	74	1.8	2.9	24
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NK	2.6	4.9	98	2.6	4.6	85	2.3	3.3	31
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> N	2.4	4.3	85	2.4	4.4	70	2.0	2.2	24
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> PK	2.4	5.0	85	2.4	4.4	73	2.0	3.0	32
m <sub>2</sub>	2.4	4.6	91	2.3	4.5	84	1.9	2.6	35
NPK	1.9	4.2	107	2.0	4.3	94	1.7	3.0	35
NP	2.7	5.0	85	2.2	4.6	63	1.7	3.1	19
NK	1.9	4.7	116	1.6	4.6	104	1.7	3.2	27
N	1.9	5.1	150	1.9	4.9	137	1.6	3.3	45
PK	1.9	5.0	109	1.8	4.8	102	1.7	3.3	30
O	2.0	4.3	100	1.9	5.2	90	1.5	4.9	33

表3 德国帕·劳斯特试验地不同肥料处理对作物产量的影响

年份 处理	冬小麦		春小麦		马铃薯		甜菜		苜蓿
	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987	1988	1987
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NPK	9.78	9.80	8.3	7.31	46.31	44.34	71.79	48.75	84.49
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NP	9.19	9.76	8.14	7.18	42.40	39.68	67.48	41.31	76.27
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> NK	9.33	9.61	8.24	6.82	42.10	41.96	65.80	40.88	79.32
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> N	9.24	9.72	7.91	6.56	40.42	40.32	70.83	40.76	76.41
m <sub>1</sub> <sup>+</sup> PK	8.91	9.11	5.95	5.17	32.55	38.97	61.11	40.86	79.52
m <sub>1</sub>	8.73	9.83	5.73	5.09	32.08	36.63	61.62	35.79	76.12
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NPK	9.57	9.96	8.21	7.14	42.36	43.18	76.51	41.21	81.53
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NP	9.45	10.01	7.43	6.81	41.19	40.40	73.62	39.72	78.69
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> NK	9.07	9.93	7.73	6.41	40.28	41.08	73.79	38.82	77.19
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> N	9.10	9.93	7.67	6.10	39.34	40.43	70.14	37.12	75.45
m <sub>2</sub> <sup>+</sup> PK	8.56	8.34	5.51	4.87	30.60	37.03	55.10	30.06	79.70
m <sub>2</sub>	8.52	8.09	5.24	4.54	29.67	37.78	50.39	28.48	76.36
NPK	9.36	9.52	6.72	6.40	42.81	35.77	72.56	38.69	52.98
NP	9.02	9.37	6.69	5.56	30.86	32.65	47.92	33.54	45.84
NK	7.16	7.92	5.77	5.13	35.62	28.58	52.85	20.58	42.03
N	5.91	7.67	5.12	4.56	24.75	22.17	39.69	18.37	35.68
PK	6.63	5.33	2.83	2.33	23.58	24.18	35.94	19.57	43.34
O	5.66	4.49	2.49	2.08	16.52	13.97	33.03	12.92	53.80

2. 对提高土壤氮素的影响: 长期施用有机肥料对提高土壤氮素有良好作用, 表1所示, 在 0—30cm 土层内, 每公顷施用 30 吨厩肥加 NPK 处理区的全氮比 20 吨厩肥加 NPK 处理区增加 7.3%, 比单施 NPK 处理的增加 23.2%, 比无肥区处理增加 35.5%。单施 30 吨厩肥比单施 NPK 化肥和无肥处理区分别增加氮素 16.1% 和 27.6%。

在 0—30cm 土层内碱解氮的含量, 每公顷施 30 吨厩肥加 NPK 处理比单施 30 吨厩肥、单施 NPK 化肥和无肥处理分别增加 21.6%、30.4% 和 49.5%。对于土壤深层的氮素在施用有机肥后也有提高。

3. 对提高土壤磷钾含量的影响: 在 0—30cm 土层内, 每公顷施用 30 吨厩肥加 NPK 化肥处理其全磷量比单施 NPK 化肥和无肥处理分别增加 52.4% 和 119.3%。单施厩肥 30 吨又比单施 NPK 化肥和无肥处理分别增加 12.8% 和 62.3%。不施厩肥和不施化学磷肥的处理, 其土壤磷的含量基本接近于无肥区。凡是施用厩肥或磷肥的处理, 土壤含磷量都比较充足, 尤其速效磷的增加更为明显, 比不施磷肥和无肥处理要高出 10 倍以上, 在 30—60cm 土层也有很好的效果。从试验还可以看到每公顷施用 20 吨厩肥的也基本能满足作物对磷素的要求。

对于 0—30cm 土层内的含钾量, 每公顷施用 30 吨厩肥加 NPK 处理比单施 NPK 化肥和无肥处理分别增加 155.3% 和 262.0%。单施厩肥 30 吨比单施 NPK 化肥和无肥处理分别增加 33.0% 和 88.6%。每公顷施用 20 吨厩肥加 NPK 化肥处理也同样有很好的效果, 至于 30—60cm 的土层据观测也有一定效果。说明施用有机肥对土壤中钾素的平衡起了重要作用。

4. 对增加土壤微量元素的作用: 从表 2 分析, 硼和铜随有机肥施用量的增加而增加, 又随土层的加深而减少, 特别是对 0—40cm 土层的影响尤为显著。其效果是施用厩肥 30 吨加化肥 > 20 吨厩肥加化肥 > 化肥 > 无肥。而锰是随化肥的施用量的增加而增加, 随土层加深而减少。总之, 施肥, 尤其施用有机肥对土壤中微量元素的增加和平衡有良好的效果。

#### (四) 施肥对作物产量的影响

土壤长期施用有机肥料, 土壤中的有机质增加, 磷钾和微量元素基本维持平衡, 土壤又有较好的物理性状, 为作物生长创造比较好的生长环境。从表 3 可以看到, 在不同厩肥用量的基础上, 不同化肥品种对小麦等作物产量的影响, 其中每公顷施用厩肥 30 吨同厩肥 20 吨之间或者各自再加施化肥之间的产量差异并不明显, 例如 1987 年冬小麦施用 30 吨厩肥比 20 吨厩肥只增产 2.4%; 30 吨厩肥加 NPK 化肥比 20 吨厩肥加 NPK 化肥只增产 2.2%。春大麦也有类似情况。但是每公顷施 30 吨厩肥或 20 吨厩肥再加 NPK 化肥都明显高于单独施用 NPK 化肥的产量, 同无肥区相比较, 30 吨和 20 吨厩肥的分别增加 54.2% 和 50.5%。由于施用有机肥料可提供丰富的磷钾营养, 适当的加入氮肥就可以获得较高的产量。试验表明氮磷元素是粮食作物的主要增产因素, 马铃薯和甜菜除需氮之外, 还要求更多的磷钾, 苜蓿对磷钾的反应良好, 鲜草则要求更多的氮素。

### 三、结 论

1. 长期施用有机肥料对稳定和提高土壤有机质起重要作用。每年每公顷施用 10—15 吨厩肥再加残留的根茬即可使土壤有机质平衡。

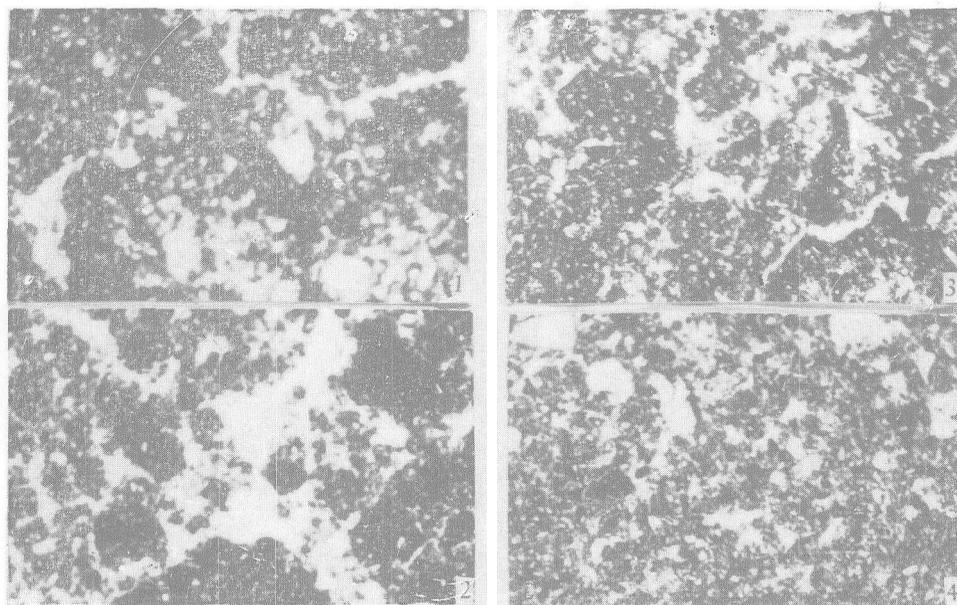
2. 长期施用有机肥料可使土壤磷钾趋于平衡。每年每公顷施用 10—15 吨厩肥可为作物提供 70—80% 的磷钾营养元素。

3. 有机无机肥料配合施用对改善土壤的结构、微形态、降低土壤容重、增加孔隙度、提高土壤持水性等有良好作用。

4. 施肥对提高作物产量有明显效果, 有机无机肥配合施用, 有机肥起重要作用, 我们认为每公顷施用 20 吨厩肥的效果最佳<sup>5)</sup>。

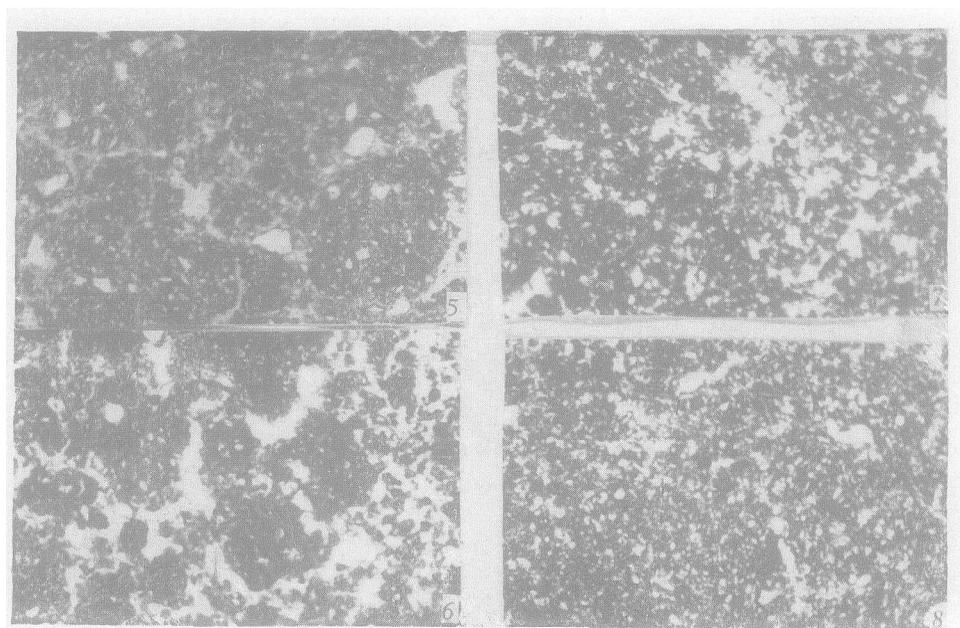
### 参 考 文 献

1. 沈善敏, 1984: 国外的长期肥料试验(二)。土壤通报, 第 15 卷 3 期, 134—138 页。
2. 唐克丽, 1978: 大寨海绵田微形态特征的研究。土壤学报, 第 15 卷 2 期, 411—417 页。
3. 陈予明, 1987: 美国玛洛试验地的种植制度和施肥措施对土壤理化性状和产量的影响。土壤学报, 第 24 卷 1 期, 86—93 页。
4. Cooke, G.W. 1976: Long-term Fertilizer Experiment in England. *Ann. Agron.*, 27(5—6): 503—536.
5. Körschens, Martin; Kundle, Peter. 1984: Dauerfeldversuche der DDR. *Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR*, 5—24, Berlin.



1. 30 吨 O.M. + NPK/公顷 0—30cm 土层具有多级良好团聚体,疏松多孔 ×60
2. 30 吨 O.M. + NPK/公顷 30—60cm 土层土壤结构良好 ×60
3. 20 吨 O.M. + NPK/公顷 0—30cm 土层具有良好团粒结构 ×60
4. 20 吨 O.M. + NPK/公顷 30—60cm 土层具有好的结构 ×60

照片 1—4 Bad Lauchstad 试验地的土壤微形态特征



- 5. NPK0—30cm 具有良好团粒结构 ×60
- 6. NPK30—60cm 有一定的结构 ×60
- 7. 对照 0—30cm 土层有一定的结构性状 ×60
- 8. 对照 30—60cm 土层紧实无结构 ×60

照片 5—8 Bad Lauchstād 试验地土壤的微形态特征