

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*

陈子明

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

T. R. Peck C. W. Boast

美国伊利诺大学农学系

(*Department of Agronomy, University of Illinois, U. S. A.*)

摘 要

玛洛试验地 (Morrow Plots) 建于 1876 年, 是美国最早用来研究种植制度和施肥效应的试验地。我们通过养分、土壤结构、土壤水分等测定, 结合历年的产量, 研究玉米连作、玉米—大豆轮作和玉米—燕麦—三叶草轮作以及土壤施肥处理对土壤性状的影响。

玉米连作使土壤有机质和全氮减少一半以上, 其他营养元素也相应降低, 土壤容重增加, 孔隙度减少, 结构变坏, 土壤蓄水保墒能力减弱。而轮作结合施用有机肥料和化学肥料, 有利于改善土壤理化性状和作物生长的环境条件, 使作物高产稳产。

玛洛试验地 (Morrow Plots) 位于美国中西部的伊利诺州, 创建于 1876 年。是美国最早的农业试验地, 同时也是世界上连续种植玉米时间最长的试验地。

玛洛试验地的种植制度在很大程度上反映美国中西部的种植结构, 施肥耕作措施和生产水平, 同时也是土壤肥料处理对土壤性状影响的历史见证。

百年来, 美国许多科学家研究了这里的轮作、施肥等措施对土壤和作物的影响, 并做出了多方面的贡献^[3,7-9]。为了进一步研究这些措施的效果, 我们着重研究和测定了土壤物理性状和有关的养分状况并分析这些性状对产量的影响。

一、玛洛试验地的种植制度和土壤处理对产量影响的简要回顾

(一) 种植制度 1903 年以前玛洛试验地曾经有 10 个大区, 而后剩下如图 1 所示三种不同种植制度的三个大区。

在开始的头几年, 轮作区的产量比连作略有减少。例如 1888 年, 第 4 和 5 轮作区的产量比第 3 连作区的产量减少 8—10%。1893 年则相应增加 36—57%, 而后, 轮作的对照区比连作的成倍增加, 1967 年以后, 增加两倍以上。

(二) 施肥处理 在三种不同种植制度的基础上, 在不同时期布置了施肥处理, 并且进一步划分小区。1904—1919 年, 试验地施用 MLP 肥料 (M 为有机肥料, L 为石灰石粉, P 为磷灰石或蒸骨粉)。

* 此文是作者于 1983—1984 年在美国伊利诺大学同 T. R. Peck 博士以及 C. W. Boast 博士协作研究的部分工作。张乃凤教授和刘更另副院长给予指正, 特此致谢。

各试验大区分成南北各两个小区,即 NW, NE 和 SW, SE。北部小区作对照,南部小区作肥料处理。厩肥施用量为每公顷 4.9 吨,石灰石粉为 2.1 吨,磷灰石粉为 1.48 吨或蒸骨粉为 3.7 吨。施肥后的产量变化,以 1907 年为例,第 3, 4, 5 区的施肥区比第 3 区的对照区分别增产 40.68%、180.68% 和 215.17%。1955 年以后,为了进一步研究化学肥料对作物产量的影响,将各区的 4 个小区分成 8 个小区,即图 1 中北部的 NA, NB, NC 和 ND 以及南部的 SA, SB, SC 和 SD, 三个大区共分成 24 个小区。在各大区的 SB 和 NB 施用 LNPK。石灰石的施用,1955 年为每公顷 5.6 吨,1963 年为 6.7 吨,同时在玉米茬上施用尿素 224 公斤(N)。过磷酸钙的施用 1955 年为 73 公斤(P),1956 年到 1966 年每年施用 20 公斤(P)。氯化钾的施用 1955 年为 93 公斤(K),1956 年到 1966 年每年施用 28 公斤(K)。施肥后的产量,以 1955 年为例,第 3, 4, 5 区的施肥区比对照区分别增加 172.98%, 198.60% 和 181.89%。

1967 年以后,在 SA 小区设置高肥量的试验,在玉米茬口上每公顷施用相当于 336 公斤的(N)、112 公斤(P)和 560 公斤(K)。产量以 1979 年为例,第 3, 4, 5 区的施肥区比对照区分别增加 229.26%, 330.11% 和 381.82%。

此外,种植杂交玉米种和增加种植密度等措施都能增加产量,一般情况下,杂交玉米可增产 20% 左右。

总之,改变种植制度和种植优良品种都有不同程度的增产效果,轮作是用地养地培肥土壤的有效措施,而施用有机肥料和无机肥料相配合则有最显著的增产效果。

二、样品处理和方方法

我们在第 3 区的 3NC, 3SB, 第 4 区的 4NC, 4SB 和 4NB, 第 5 区的 5NB, 5NC, 5SC 和 5NA 等 9 个小区,在 4—12 厘米和 22—30 厘米土层内分别取样。全氮测定采用凯氏法,有机质采用 Mebins 法^[6],并测定钙、镁和速效磷、钾,利用水压差测定原状土的水分释放速率和吸收速率,利用薄膜压力板在不同压力下测定土壤的保水性能,利用显微摄影技术观察微形态性状,利用干筛法测定土壤的团聚体,在作物生育期测定土壤含水量和玉米植株的性状。

三、结果和讨论

(一) 玛洛试验地的种植制度和土壤处理对土壤有机质以及某些营养元素的影响

一百多年来的轮作和施肥处理对土壤化学性状都有明显的影响,而轮作加施肥的效果尤为显著。从表 1 可以看到,玉米连作的施肥区 3SB, 玉米—大豆轮作的 4SB 和玉米—燕麦—三叶草轮作的 5NB 和 5SC, 它的有机质含量,全氮含量都比相应的对照区要

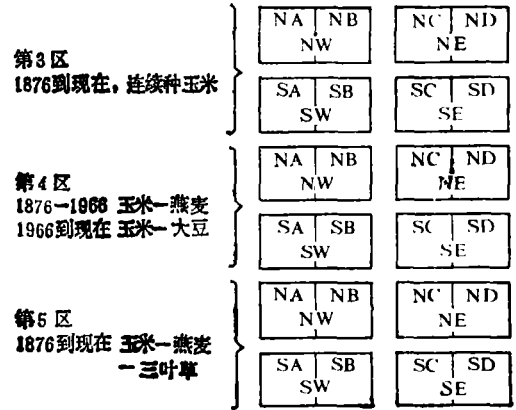


图 1 玛洛试验地简图

Fig. 1 Layout of Morrow Plots

表 1 玛洛试验地的氮、磷、钾、钙、镁和有机质的含量

Table 1 The content of N, P, K, Ca, Mg and Organic matter in the soils on Morrow Plots

处理和土层 (cm) Treatment & Horizon	P (Kg/ha)	K (Kg/ha)	Ca (Kg/ha)	Mg (Kg/ha)	全氮(%) N	有机质(%) O. M.	C: N
1. 3NC 4-12	12.33	208.65	41.49	811.88	0.096	2.82	17.00
2. 3NC 22-30	4.48	222.03	50.46	1267.16	0.109	3.40	18.09
3. 3SB 4-12	56.06	305.01	51.58	740.11	0.147	3.52	13.88
4. 3SB 22-30	20.18	244.46	57.19	1002.51	0.118	2.83	13.91
5. 4NC 4-12	6.72	177.18	41.49	764.78	0.143	3.48	14.11
6. 4NC 22-30	4.48	190.63	47.09	978.96	0.141	3.34	13.74
7. 4SB 4-12	34.76	266.89	58.31	788.33	0.131	3.94	17.44
8. 4SB 22-30	20.18	217.54	56.07	930.75	0.152	3.44	13.12
9. 5NB 4-12	59.43	270.25	50.46	1027.18	0.175	3.99	13.22
10. 5NB 22-30	14.57	222.03	49.34	1205.48	0.163	3.36	11.95
11. 5NC 4-12	7.85	226.52	41.49	740.11	0.190	4.46	13.61
12. 5NC 22-30	4.48	186.15	43.74	811.88	0.174	4.29	14.30
13. 5SC 4-12	29.16	177.18	61.67	978.96	0.221	5.62	14.75
14. 5SC 22-30	26.91	177.18	59.43	978.96	0.205	5.25	14.85

表 2 玛洛试验地的土壤物理性状

Table 2 The Physical properties of the soils in Morrow Plots

处理和土层 (cm) Treatment & Horizon	土壤持水量(%) Water Holding capacity	土壤容重 (g/cm ³) Bulk Density	孔隙度(%) Porosity	固相 Solid	液相 Liquid	固孔比例 Solid: Porosity
3NC 4-12	24.49	1.49	43.78	56.22	36.44	1.28
3SB 4-12	30.89	1.39	47.24	52.76	43.14	1.16
3NC 22-30	24.06	1.60	39.63	60.37	38.55	1.52
3SB 22-30	29.43	1.42	46.29	53.71	41.96	1.16
4NC 4-12	28.96	1.42	46.29	53.71	41.22	1.15
4SB 4-12	30.13	1.36	48.56	51.44	40.98	1.05
4NC 22-30	27.53	1.47	44.53	55.47	40.55	1.24
4SB 22-30	31.72	1.41	46.52	53.48	44.97	1.14

高。两年轮作施肥区比连作施肥区高,三年轮作施肥区比两年的要高。在同一大区中南部比北部高。据伊利诺大学农学系 1957 年公告 777 号有关 1904 年的资料,玉米—燕麦—三叶草轮作区的有机质含量为 5.61%,1982 年的公告 775 号有关资料表明,最初的土壤有机质相当于 6.06—7.16%,而目前我们测定三年轮作区的有机质为 5.62%,连作玉米区的有机质只有 2.82%,说明轮作施肥对维持和提高土壤肥力起着极其重要的作用。连作对照区的有机质减少的速度最快,总的趋势是开始急剧降低,而后逐步减缓^[3,8]。施用石灰石粉使 pH 值由 5.5 增加到 6.5 左右。另外,钙、镁等元素的含量也都有所增加。这些都有利于改善土壤的物理化学性状。

(二) 玛洛试验地的种植制度和土壤处理对土壤结构性状的影响

施肥区由于施用有机肥料和 LNPK 以及秸秆还田,土壤有机质含量比较高。凡是土壤有机质和钙镁含量高的地块,其土壤结构的性状都比较好。经干筛的测定,连续种植玉米的对照区 3NC 4—12 厘米土层,2—0.25 毫米的团聚体为 39.55%,大于 4 毫米的

团聚体为 29.74%；3NC 22—30 厘米土层，其相应粒级的团聚体分别为 39.90% 和 29.56%。3SB 4—12 厘米土层的分别为 38.65% 和 30.61%；3SB 22—30 厘米土层的分别为 42.20% 和 25.43%。第 4 轮作区，4SB 4—12 厘米土层相应粒级的团聚体分别为 42.05% 和 26.94%；4SB 22—30 厘米土层的分别为 40.53% 和 28.07%。在玉米—燕麦—三叶草轮作区，5SC 4—12 厘米土层相应粒级的团聚体分别为 45.07% 和 22.33%；5SC 22—30 厘米土层的分别为 41.44% 和 27.60%。在轮作区中 2—0.25 毫米的团聚体都有所增加，这对蓄水保墒和调节养分都很重要^[1]。

此外，还可以看到各种种植制度和土壤处理对土壤微形态以及有关物理性状的影响。如表 2 所示，在各处理中，连续种植玉米的 3NC 4—12 厘米土层的土壤容重大，孔隙度小，下层更甚，致使土体紧实。3SB 4—12 厘米土层，土壤容重减少，孔隙度增加，甚至 22—30 厘米土层的也得到相应改善。在玉米—大豆轮作区，4NC 的土壤容重、孔隙度都比 3NC 的协调。而 4SB 无论是上层还是下层的土壤容重、孔隙度都有较大改善，大孔隙也明显增加。

从微形态的结构照片可以看到，3NC 的团粒性状差，结构密致，大孔隙不足。3SB 的土壤结构性状良好，大小结构比例适中，土壤中有较多分解或未分解的根系或其他有机物，即使下层也有较好的团聚体和孔隙状况。在轮作区 4SB，可以看到多级性团聚体，土体疏松多孔。玉米—燕麦—三叶草的轮作施肥区的 5SB，土壤的结构性状良好，形成多级性大小不等的圆形或椭圆形的团聚体和形状不同大小不一的孔隙，即使下层仍有较好的团粒性状，形成上面较为疏松，下层稍紧的土体构造，这对调节土壤的水、肥、气、热有良好作用^[2]。因此，轮作和施用有机肥对团粒结构的改善至为重要^[4,5,10]。

(三) 玛洛试验地的种植制度和土壤处理对土壤水分状况的影响

土壤有效水受土壤中许多因素的影响，其中与土壤结构和孔隙度有密切关系，不同的土壤结构，其固孔比例不同，土壤持水量不同。如表 2 在连作区或轮作区中，施肥区的总孔量增加，固孔比例小。由于疏松多孔，土壤持水量（重量百分数，下同）也相应增加。连作施肥区 4—12 厘米土层和 22—30 厘米土层的持水量分别比对照的相应层次增加 6.40% 和 5.37%。玉米—大豆轮作施肥区的 4—12 厘米土层和 22—30 厘米土层的持水量比轮作对照区的相应层次分别增加 1.17% 和 4.18%。而比连作对照区的相应层次则分别增加 5.64% 和 7.66%。

另外，我们还用 10 厘米、18 厘米、34 厘米、50 厘米、74 厘米和 98 厘米的不同水压差，测定水分饱和的原状土柱水分释放速度，而后又从 98 厘米、50 厘米和 34 厘米水压差往回吸收，其结果如图 2—图 9。例如在 10 厘米的水压差的情况下，22—30 厘米土层水分的释放率，头 5 分钟，3SB 为 4 毫升/小时，3NC 为 1.2 毫升/小时，4SB 为 5 毫升/小时，4NC 为 2.0 毫升/小时。在 50 厘米水压差情况下，同上述相同的土壤层次和时间，其水分释放率，3SB 为 0.24 毫升/小时，3NC 为 0.12 毫升/小时；4SB 为 0.43 毫升/小时，4NC 为 0.24 毫升/小时。在 98 厘米水压差情况下，同上述相同的土壤层次和时间，其水分释放率，3SB 为 0.18 毫升/小时，3NC 为 0.3 毫升/小时；4SB 为 0.28 毫升/小时，4NC 为 0.11 毫升/小时。在其他水压差的情况下都有相似的趋势。在回吸时，50 厘米水压差情况下，同上述相同层次和时间，水分的吸收率，3SB 为 0.68 毫升/小时，3NC 为

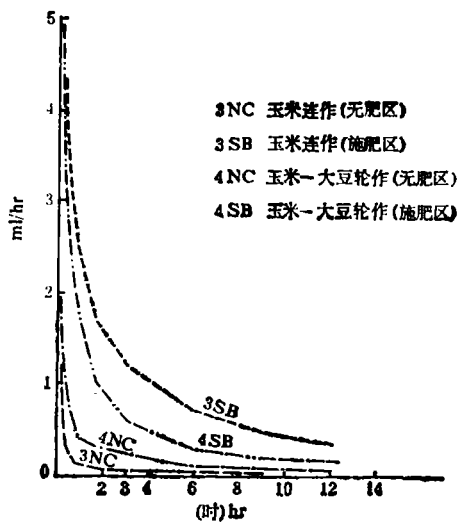


图 2 10 厘米水压差的土壤水分释放速度
Fig. 2 The rate of water outflow at 10cm potential difference (22-30cm)

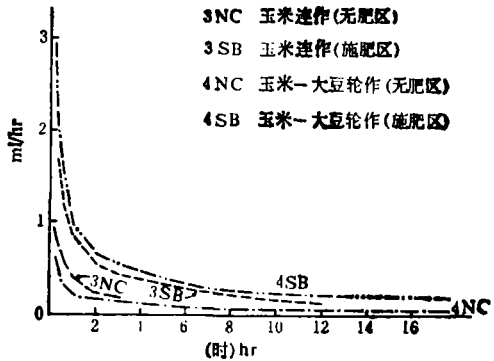


图 3 18 厘米水压差的土壤水分释放速度
Fig. 3 The rate of water outflow at 18cm potential difference (22-30cm)

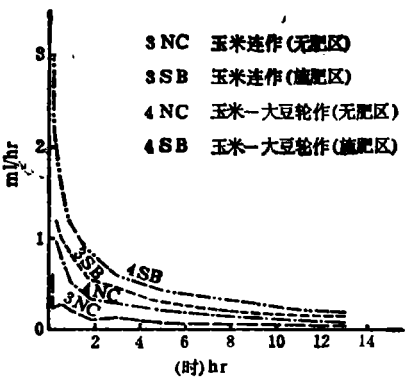


图 4 34 厘米水压差的土壤水分释放速度
Fig. 4 The rate of water outflow at 34cm potential difference (22-30cm)

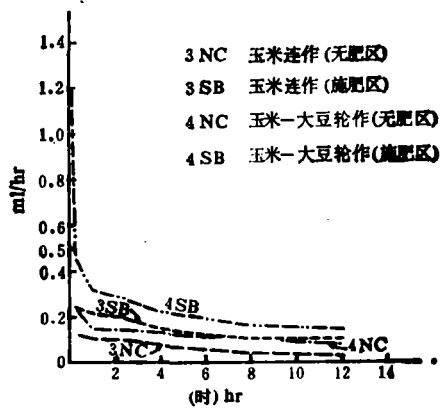


图 5 50 厘米水压差的土壤水分释放速度
Fig. 5 The rate of water outflow at 50cm potential difference (22-30cm)

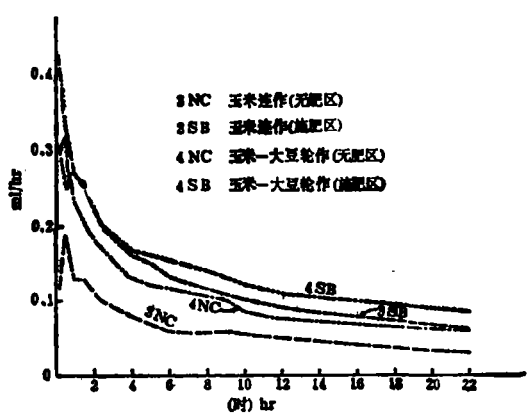


图 6 74 厘米水压差的土壤水分释放速度
Fig. 6 The rate of water outflow at 74cm potential difference (22-30cm)

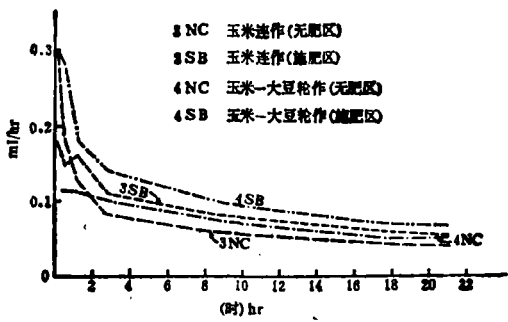


图 7 98 厘米水压差的土壤水分释放速度
Fig. 7 The rate of water outflow at 98cm potential difference (22-30cm)

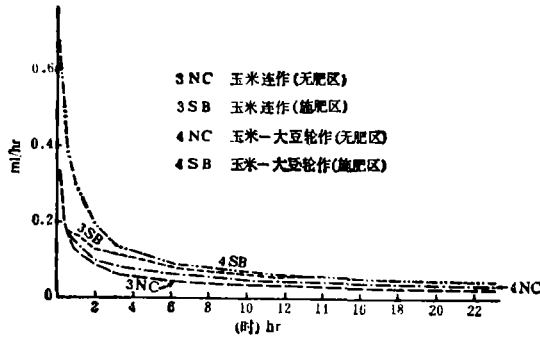


图 8 50 厘米水压差的土壤水分吸收速度

Fig. 8 The rate of water inflow at 50cm potential difference (22-30cm)

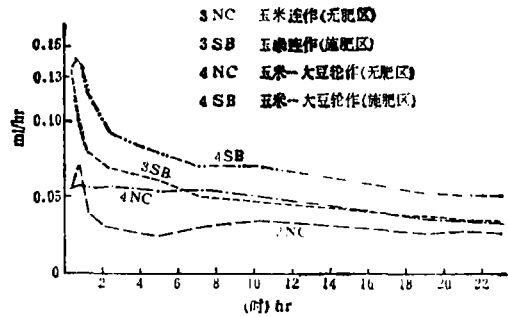


图 9 34 厘米水压差的土壤水分吸收速度

Fig. 9 The rate of water inflow at 34cm potential difference (22-30cm)

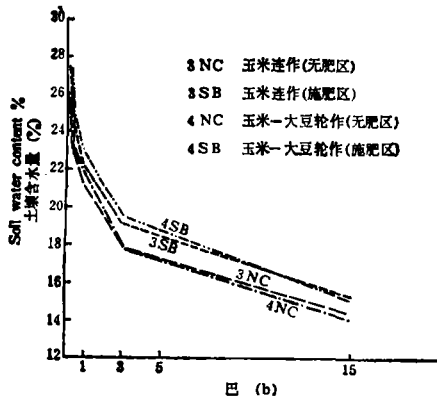


图 10 不同压力对土壤水分含量的影响 (4-12 厘米土层)

Fig. 10 The effect of different pressure on soil water content (4-12cm)

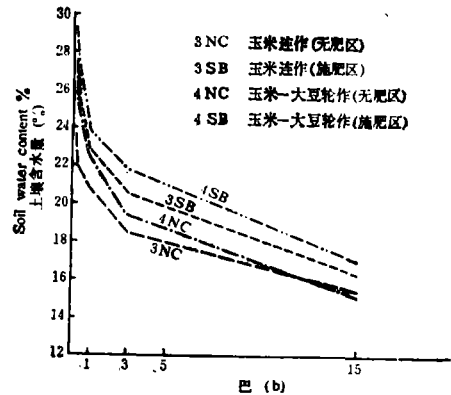


图 11 不同压力对土壤水分含量的影响 (22-30 厘米土层)

Fig. 11 The effect of different pressure on soil water content (22-30cm)

0.32 毫升/小时；4SB 为 0.20 毫升/小时，4NC 为 0.20 毫升/小时。在 34 厘米水压差的情况下回吸时，水分的吸收率，3SB 为 0.13 毫升/小时，3NC 为 0.05 毫升/小时；4SB 为 0.13 毫升/小时，4NC 为 0.05 毫升/小时。一般情况下，在水压差变换之后 10 分钟，水分的释放和吸收都变慢。总之，同一水压差，不同处理的土壤，其释放和吸收水分的速度并不相同，施肥处理的土壤水分释放和吸收都高于对照区，同时一直保持较高的速度。从一水压差变到另一水压差时，在开始的头 10 分钟，水分的释放和吸收都比较快，而后逐步减缓，最后趋于平稳。

再者，在 0.1 巴、0.33 巴、1 巴、3 巴和 15 巴的不同压力下，利用薄膜板测定 3NC，3SB，4NC，4SB 的土壤保水性能，加压的持续时间为 48 小时，室温为 25℃。其结果如图 10 和图 11 所示。例如在 0.1 巴的压力下，在各处理中，4-12 厘米土层的土壤重量百分含水量分别是：3SB 为 27.55%，3NC 为 24.84%，4SB 为 27.60%，4NC 为 26.24%。在 3 巴的压力下，3SB 为 17.19%，3NC 为 17.94%，4SB 19.50%，4NC 为 17.99%。

在 15 巴的压力下, 3SB 为 15.27%, 3NC 为 14.42%, 4SB 为 15.15%, 4NC 为 14.08%。22—30 厘米土层的蓄水保墒性能都有相似的情况。见图 11 的 22—30 厘米土层。

从实地测定, 连年种植玉米又不施肥的小区 3NA、3NC、3ND, 由于土壤结构紧实, 水分下渗受阻, 雨后地表常有积水, 致使地面蒸发多, 土层水分少。轮作施肥的小区, 水分渗透快, 地表干爽, 但土层水分多, 除作物生长盛期, 两地块的土壤水分含量相近之外, 其余的时间处理区都比连作对照区的水分增加 4% 以上。因此, 轮作和施肥处理有利于土壤水分的渗透和保蓄, 有利作物的吸收利用。从而改善作物生长的环境条件^①, 是作物高产稳产的可靠保证。

四、小 结

1. 一百多年来, 美国玛洛试验地 (Morrow Plots) 证明, 在作物品种, 耕作措施等其他条件都相同的情况下, 轮作比连作增产 10—20%, 三年轮作比两年轮作的产量高, 而连年种植玉米的产量最低。杂交玉米种比普通玉米品种增产 15—20%。肥料的效果, 一般可增产 20%, 有的可增加 2—3 倍以上。

2. 在轮作, 秸秆还田和施用有机肥料的基础上, 增施 LNPK, 对提高产量, 增加土壤有机质和氮素含量具有显著效果。连作区的土壤有机质迅速减少, 直到土壤有机质和氮素含量同产量的关系处于较低水平的平衡。

3. 连作玉米使土壤物理性状变坏。例如, 团粒结构减少, 土体紧实, 地表水分渗透缓慢、保水保墒性能差。轮作结合施肥, 增加了土壤有机质, 改善土壤结构, 增强土壤表层渗透性, 提高土壤蓄水保墒能力, 调节土壤的水肥气热。

参 考 文 献

- [1] 刘忠翰、蒋剑敏、熊毅, 1984: 稻草、紫云英对土壤复合体性状的影响 土壤学报, 第21卷1期, 10—20页。
- [2] 陈子明, 1981: 海绵田土壤结构特性与土壤肥力关系的研究。土壤学报, 第18卷2期, 167—175页。
- [3] Guernsey, C. W. et al. 1969: Corn yields, root volumes, and soil changes on the Morrow Plots. *Journal of Soil and Water Conservation*, 24:(3).
- [4] Harris, R. F. et al., 1966: Dynamics of Soil Aggregation. *Advances in Agronomy*, Vol. 18.
- [5] James, P. Martin. et al., 1955. *Soil Aggregation Advances in Agronomy*, Vol. 7.
- [6] Mebius, L. J. 1960: A Rapid Method for Determination of Organic Carbon in Soil. *Anal. Chim. Acta* 22: 120—124.
- [7] Odell, R. T. et al., 1982: The Morrow Plots: A Century of Learning Univ. of Illinois. *Agric. Exp. Stn. Bul.* 775.
- [8] Odell, R. T. et al., 1984: Changes in organic carbon and nitrogen of Morrow Plots under different treatments 1904—1973. *Soil Science*, 137: (3).
- [9] Stevenson, F. J., 1959: Carbon-nitrogen relationships in soil. *Soil Science*, 88: 201—208.
- [10] Tisdall, J. M. et al. 1980: The effect of Crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.* 18: 423—433.

EFFECTS OF CROPPING SYSTEM AND FERTILIZATION ON THE CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOILS OF MORROW PLOTS

Chen Ziming

(Institute of Soils and Fertilizers, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

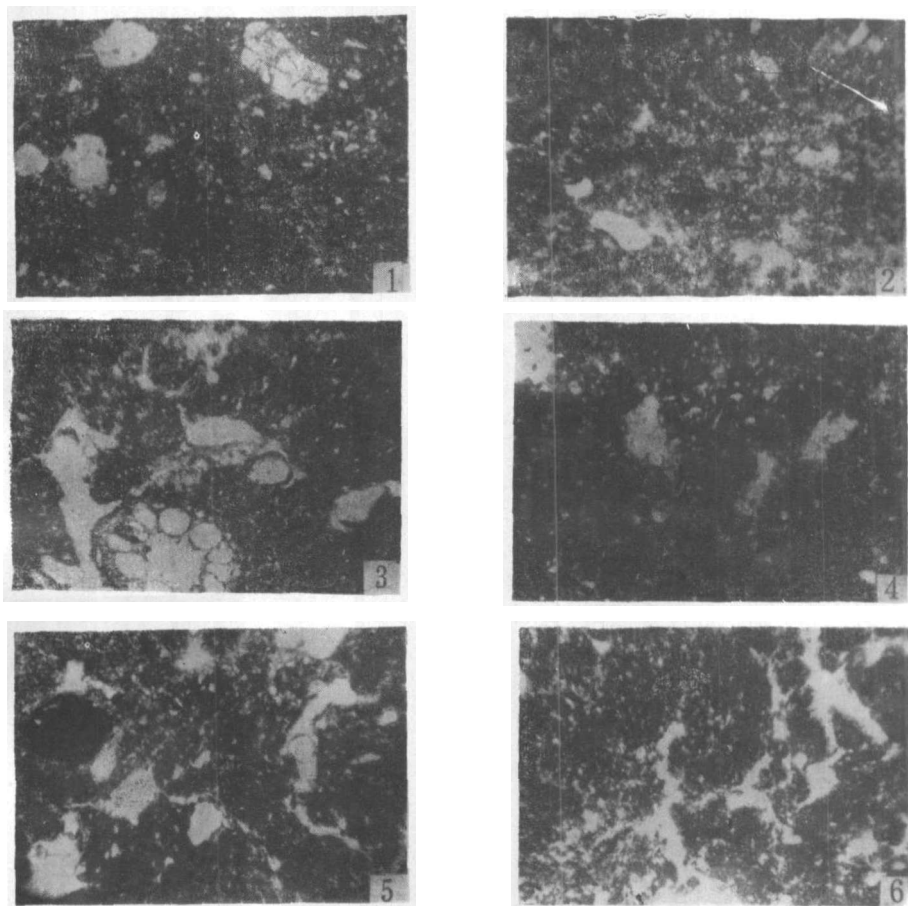
T. R. Peck and C. W. Boast

(Department of Agronomy, University of Illinois, U. S. A.)

Summary

Study on the effects cropping systems of continuous corn, corn-soybean and corn-oat-clover, and fertilization on the properties of the soils was made on Morrow plots which are the earliest agronomic experiment station established in 1876 at Urbana, Illinois in U. S. A.

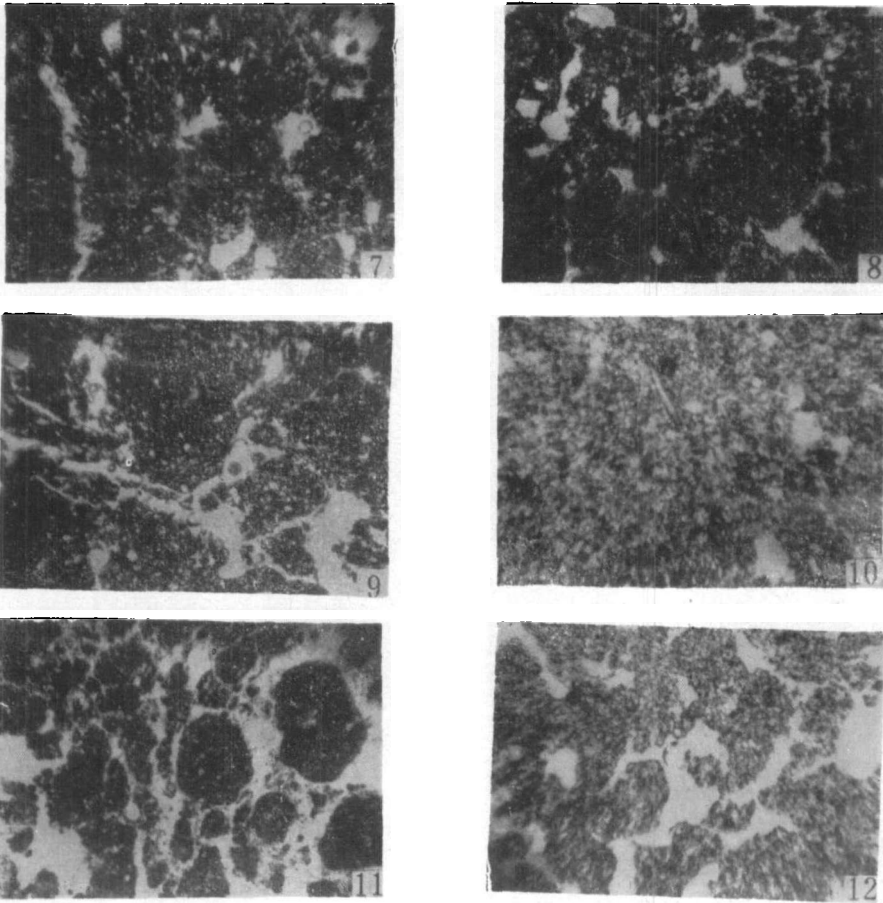
Continuous cropping of corn decreased the organic matter and total nitrogen contents of the soils by more than 50% and other nutrients in different amounts, and it also decreased the porosity, increased the bulk density and deteriorated the structure and water retention ability of the soils. While rotation of corn and other crops in combination with application of organic manure and chemical fertilizers were favorable for the improvement of chemical and physical properties of the soils and growth of crops and the increase of crop yields.



- (1) 3NC 4-12 厘米土层,玉米连作,土体紧实 ×40
3NC 4-12cm layer with compact texture after continuous corn ×40
- (2) 3NC 22-30 厘米土层,土体紧实,无团粒结构 ×30
3NC 22-30cm layer with compact texture ×40
- (3) 3SB 4-12 厘米土层,团粒结构良好,大量的植物根系和残体 ×40
3SB 4-12cm layer with various sizes of aggregate structure ×40
- (4) 3SB 22-30 厘米土层有一定数量的团聚体 ×40
3SB 22-30 cm layer with a few aggregate also ×40
- (5) 4NC 4-12 厘米土层,玉米大豆轮作有一定团粒结构 ×40
4NC 4-12cm layer with a few aggregate after corn-soybean rotation ×40
- (6) 4NC 22-30 厘米土层,土体疏松有一定数量的团粒结构 ×40
4NC 22-30cm layer with loose and porous and a few aggregate ×40

照片 1 玛洛试验地的土壤微结构性状

The characteristic of microstructure in the soil of Morrow Plots



- (7) 4SB 4-12 厘米土层,玉米大豆轮作,施肥后形成多级团聚体 ×40
4SB 4-12cm layer with various sizes of aggregate ×40
- (8) 4SB 22-30 厘米土层有较好的团粒结构 ×40
4SB 22-30cm layer with good structure also ×40
- (9) 5NC 4-12 厘米土层,玉米、燕麦、三叶草轮作结构良好 ×40
5NC 4-12cm layer with good structure ×40
- (10) SNC 22-30 厘米土层,土体紧实无结构 ×40
SNC 22-30cm layer with compact texture ×40
- (11) 5SB 4-12 厘米土层,玉米、燕麦、三叶草轮作,施肥后结构良好,疏松多孔 ×40
5SB 4-12cm layer with various sizes of aggregate, loose and porous ×40
- (12) 5SB 22-30 厘米土层有一定数量的团粒结构 ×40
5SB 22-30cm layer with a few aggregate structure ×40