

长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响

张 志 国

徐 琪

(山东农业大学, 泰安 271018)

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

R. L. Blevins

(University of Kentucky, Lexington, Ky, USA 40546)

摘 要 免耕农作是一项重要的农业生态管理系统。长期秸秆覆盖免耕条件下土壤性质的变化及作物产量可以反映这一系统的可持续性。研究表明,长期(1970年—1994年)免耕与犁耕相比土壤容重并未增加;而表层(0—5cm)土壤有机C和有机N显著增加;并有随N肥施用量增加而增加的趋势。土壤pH随 NH_4NO_3 化肥施用量的增加而明显降低。免耕表层土壤的交换性Ca、Mg、K和可提取P与犁耕比较有明显的表聚现象。交换性Ca、Mg、及可提取P随 NH_4NO_3 施用量的增加而减少。交换性K的分布则不受N肥施用量的影响,从1984至1994年,免耕玉米的产量显著高于犁耕玉米的产量,从1970至1982年犁耕玉米的产量略高于免耕,但并不显著。

关键词 免耕, 持续性农业, 土壤理化性质, 玉米产量

中图分类号 S157.4

秸秆覆盖免耕始于五十年代中期,经过三十多年的改进和完善逐渐形成了一项现代化农业生产管理措施,这是农业生产发展中的一项革新。它与传统的耕作方法比较,对土壤性质的影响不同。关于免耕条件下土壤性质变化的报道很多,但长期覆盖免耕条件下土壤与作物产量变化情况的研究则不多。

许多研究^[1-3]结果表明免耕对土壤容重的影响不大。Mieke等(1984)^[4]和Unger(1984)^[5]等人曾指出,免耕土壤的物理条件等同或优于传统耕作土壤。Mahboubi等(1993)^[6]也认为免耕对土壤物理性质没有坏的影响。然而,也有少数人^[7,8]曾报道过免耕条件下土壤容重有所增加的情况。

与传统耕作比较,免耕可以导致表层土壤有机质累积,养分成层分布,近地表土壤pH降低。Blevins等(1983)^[2]经10年田间试验后观察到,免耕土壤0—5cm的土壤有机C是犁耕土壤的2倍。土壤有机N的变化与有机C相似。0—5cm土壤pH和交换性Ca、Mg随 NH_4NO_3 施用量的增加而显著降低。其他作者^[3,9]的研究结果表明:Ca、Mg、P、Mn和Zn在免耕土壤表层内累积。这一养分在秸秆覆盖免耕与传统耕作土壤中分布上的变化在不

同的生态带内都有发生。

我们于 1994 年对 25 年长期玉米连作秸秆覆盖免耕与犁耕试验结果进行了监测分析。目的是了解长期秸秆覆盖免耕生产中某些土壤性质的变化, 评价这些变化对土壤生产力的影响及其贡献。

1 材料与方法

1.1 土壤

美国肯塔基州列克星顿市肯塔基农业实验站农场(84°29' W, 38°07' N)。磷质石灰岩风化物上发育的 Maury 砂壤土, 为细质、混合、中温、典型强淋溶土(Fine, Mixed, Mesic, Paleudalf)。土层深厚、排水良好、坡度为 1—3%。

1.2 植被

试验前为天然早熟禾(*Poa pratensis* L.)草被。

1.3 试验设计与方法

本试验采用随机条块分割设计, 两个耕作处理: 免耕、传统耕作(犁耕); 四个 N 素水平(0、84、168 和 336Kg N/ha)。共设四个重复, 小区面积为 5.5 × 6.1m。1983 年根据各小区实测土壤 pH 施用石灰石粉, 使所有小区土壤 pH 尽可能一致。传统耕作指在春季播种前犁耕 20—25 厘米, 而后用圆盘耙耙一、二次。免耕为播种前不耕, 用免耕播种机开沟 6—8 厘米宽播种, 同时施用混合的除草剂。播种后地表施用 NH₄NO₃ 和 KCl 化肥。供试作物为玉米。

1994 年 4 月播种前按 0—5, 5—15, 15—30cm 三层取样, 同时按 Radcliffe 描述的方法用取土钻取容重土样。样品经过风干后, 过 2mm 筛, 从中取一部分过 0.5mm 筛供测有机 C 和 N 用。在试验地周围取天然草被下土壤样品以供参考。

1.4 测定方法

土壤有机 N 用微凯氏法浸提, Leco Fp42 测氮仪; M-III 法^[10]浸提 Ca、Mg、P、K; Ca、Mg、K 用原子吸收光度计测定; P 用 PC/800 Brinkman 探针比色计, 在 882nm 下测定; 有机 C 用 Leco CR-12 C 分析仪, 干烧法测定; pH 用 1:1 水土比悬浊液测定。

1.5 统计方法

用一般线性模型(GLM)程序, 统计相关性及 F 检验。

2 试验结果

2.1 土壤容重变化

容重是土壤物理性质的综合指标。一个系统对土壤物理性质的影响最终应反映到土壤容重的变化上, 我们在 1994 年 10 月玉米收获后测定土壤的容重。统计结果表明, 免耕、传统耕作(犁耕)和自然草被土壤容重之间没有显著差异($p > 0.05$)。免耕土壤 0—5cm, 5—15cm 容重几乎与自然草被土壤容重相同。免耕 0—5cm 表层土壤容重有低于犁耕的趋势。随土壤深度增加, 土壤容重增大。与前期(1977, 1983, 1989)^[11, 2, 11]三次监测结果比较(表 1), 25 年来土壤容重虽有起伏, 但没有明显变化。说明在该类土壤上长期免耕和犁

耕, 只要把作物秸秆归还土壤, 都不会引起土壤板结问题, 而免耕条件下的土壤容重更类似于自然植被下的土壤容重。

2.2 土壤有机 C 和 N

表1 不同年份容重结果比较 (g/cm^3)

Table 1 Comparison of soil bulk density among different years

时间 Date	土层厚度 Soil depth (cm)	免耕 No-tillage	传统耕作 Conventional tillage	早熟禾草皮 Bluegrass sod
1975.3	0—7.5	1.24	1.25	1.27
	7.5—15	1.26	1.26	1.28
1980.4	0—7.5	1.27	1.29	1.27
	7.5—15	1.29	1.31	1.29
1989.8	0—5	1.17	1.27	1.15
	5—15	1.36	1.27	1.28
	15—30	1.47	1.47	1.41
1994.10	0—5	1.13	1.23	1.13
	5—15	1.31	1.30	1.32
	15—30	1.44	1.47	1.51

表2 长期覆盖免耕条件下, 土壤pH, 有机C, 全N及可提取P的分布¹⁾

Table 2 Distribution of soil pH, organic C, N and extractable P under long-term no-tillage condition

土壤深度 施肥量		pH			有机 C ²⁾ (g/kg)			有机 N (g/kg)			有效 P (mg/kg)		
Soil depth (cm)	N rate (kg/ha)	免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean	免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean	免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean	免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean
0—5	0	7.12	6.78	6.95a	21.4	13.4	17.4c	21.3	12.9	17.0c	63.6	47.2	55.4ab
	84	6.17	6.54	6.62b	24.2	14.3	19.2b	23.0	15.1	19.0b	52.0	42.0	47.0b
	168	6.28	6.10	6.19c	25.2	15.2	20.2b	24.9	14.5	19.7ab	57.2	44.0	50.6b
	336	6.21	5.65	5.93d	27.7	15.6	21.6a	26.7	15.0	20.9	71.8	48.6	63.9a
5—15	0	7.09	6.89	6.99a	12.9	12.6	12.7c	14.0	12.3	13.1b	39.0	42.2	40.6b
	84	6.91	6.74	6.82a	13.5	12.7	13.1bc	14.1	14.0	14.1ab	34.1	38.2	36.1b
	168	6.79	6.42	6.61b	13.5	14.3	13.9ab	15.0	14.8	14.9ab	36.7	39.1	37.8b
	336	6.25	6.02	6.10c	14.7	14.8	14.8a	17.1	14.8	16.0a	57.0	44.2	50.6a
15—30	0	6.91	6.94	6.92a	8.7	4.7	8.1b	9.8	9.1	9.4b	44.1	49.8	47.0a
	84	6.87	6.88	6.87ab	8.8	8.7	8.8b	10.6	10.0	10.4b	42.3	46.5	44.4a
	168	6.90	6.65	6.77b	8.7	9.0	8.8b	9.6	10.4	10.0b	47.1	54.9	51.0a
	336	6.26	6.47	6.37c	10.9	9.0	10.2a	12.9	11.4	12.1a	52.0	49.9	50.9a

1) 带有不同字母的数值之间具有显著差异 ($p < 0.05$), 下同。

2) 表层0—5cm按四个处理的平均数计算: $24.63(\text{NT}) - 14.63(\text{CT}) / 14.63(\text{CT}) = 68\%$

土壤有机质和 N 素含量水平是评价土壤肥力水平的重要指标。本试验中,免耕条件下表层(0—5cm)土壤有机 C 含量比犁耕条件下土壤有机 C 含量高 68%(表 2)。这与 Blevins 等(1977, 1983)^[1,2], Ismail 等(1994)^[11]前三次的研究结果基本相似。说明作物秸秆残留在地表比通过耕作埋入土壤更有利于有机质的积累。犁耕土壤中 0—5cm 和 5—15cm 土层内的有机质含量基本相似,这主要是由于犁耕过程中的混合作用所致。免耕条件下,在 5—15cm、15—30cm 土层中的土壤有机质也不低于传统耕作条件下的土壤有机 C 含量。因而使整体 0—30cm 免耕土壤有机质含量显著高于犁耕条件下秸秆归还到土壤中的土壤有机质含量。

同时由表 2 可以看出,无论是在免耕或犁耕条件下,土壤有机 C 都随 N 素化肥施用量的增加而增加,在免耕土壤上这一趋势尤为明显,并可延伸到 30cm 以下土层内。施 N 肥量大,生物量也大,残留相对增加,有机质积累随之增加。可见,长期施用 N 素化肥可使土壤有机质的含量增加。过去那种施用化肥可导致土壤板结、土壤退化的说法需进一步验证。

综合四次表层土壤有机质测定结果(图 1),可以看出尽管 25 年来免耕条件下土壤有机 C 含量稍有起伏,免耕和犁耕的土壤有机 C 含量基本保持在一定的水平上。实际上在免耕或犁耕系统中,土壤有机质在长期条件下的分解和积累将达到相对平衡状态。同样,这里不同的管理方式对有机质平衡的调节也起到了很大的作用。如把秸秆埋入土壤的传统耕作方式改为免耕,把秸秆留在土壤表面,这样在新的管理水平下,土壤有机质达到了一个新的、更高一级的平衡状态。这样土壤有机质含量水平可大为提高。

土壤有机 N 的变化趋势与有机 C 相似。0—5cm 的免耕条件下土壤全 N 含量显著高于犁耕土壤,25 年内全 N 在免耕和犁耕条件下也各自保持平衡趋势。但不同耕作条件下,土壤有机 N 随 N 肥施用量的变化有所不同,犁耕 0—5cm 土壤内有机 N 的含量在低 N 素化肥施用量(0, 84 kg/ha)的条件下,土壤含 N 量有所增加,而后增加不显著。而在免耕条件下则一直呈显著上升趋势。说明免耕条件下,增加 N 肥用量可提高土壤有机 N 的含量水平。

2.3 可提取 P

由于供试土壤是发育于磷质石灰岩风化物上,含 P 丰富。自 1970 年实验开始以来没施用 P 肥。因而对 P 的变化情况监测显得更有意义。

表 2 表明免耕条件下,0—5cm 土壤中可提取(M-III)P 的含量显著高于犁耕土壤。这是由于作物秸秆残留分解后,P 留在地表所致。除对照处理外,两种耕作条件下的各层土

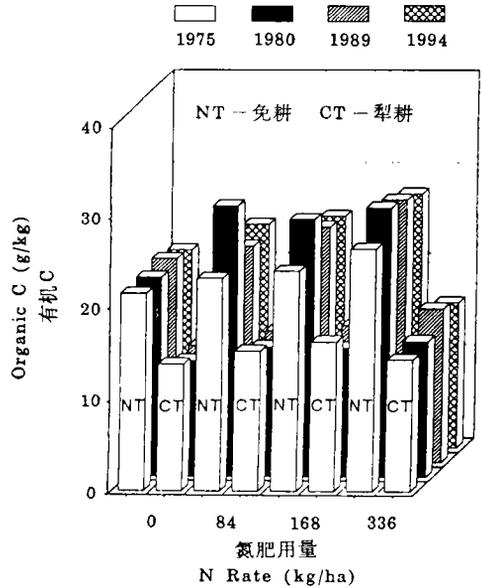


图 1 长期覆盖免耕条件下表层 0—5cm 土壤有机 C 的变化

Fig.1 Changes of soil organic C at 0—5cm soil depth under long-term no-tillage condition

壤 P 含量均不同程度地随 N 施用量的增加而增加。这与使用 NH_4NO_3 增加了土壤酸性有关。P 在酸性环境条件下溶解度大。而对照处理中 P 的含量高于 84, 168kg N/ha 的处理, 这种现象可延伸到 30 厘米的土层中。笔者认为这是由于不施用 N 素化肥, 玉米产量低, P 带走量低的原因。周围自然草被下土壤 P 的含量均高于试验各层土壤的含 P 量。也证明作物籽粒带走了部分 P。

表层 0—5cm 土壤中 P 的含量高于 5—15cm 土层中的含 P 量。这可能是由于根系吸收 5—15cm 土壤中的 P, 秸秆分解后, 使表层 P 含量相对富集。Dick(1991)^[12]等人也有过类似的报道。在 15—30cm 土层中, 土壤 P 含量相对高于 5—15cm 土壤。这归因于母质中含有较高的 P。

2.4 交换性 K

与前期研究资料比较, 由于每年施用 K 肥 (100kg K/ha), 土壤中 K 的含量逐年增加, 到 1994 年 (表 3), 所有处理中 0—5cm 土壤含 K 量都超过了 300mg/kg。同时 K 的表聚现象也十分明显。这与生物固定及秸秆处于分解中有关。每年施用 K 肥对 K 在土壤中的分布也有影响。同时也说明 K 在土壤中的淋洗移动具有其特殊规律。另外, 土壤中 K 的含量并不受 N 施用量或土壤的 pH 的影响。

2.5 土壤 pH

本次研究中测定的 pH 结果 (表 2) 与 1975 年 (文章发表于 1977 年)^[1]和 1980 年 (文章发表于 1983 年)^[2]的采样测定结果相反。表层土壤的 pH 实际上免耕已高于犁耕。比 1989 年 Ismail 等^[11]的结果相比 pH 也有所增高。这是由于 1983 年施用了石灰石粉的结果, 并且这种影响可持续 10 年以上。同时也说明免耕条件下土壤的表层性质易受到外部管理因素如施肥、耕作等的影响。因而免耕条件下, 土壤管理的要求应更加严格。

2.6 交换性 Ca 和 Mg

从表 3 中可以看出, Ca 在土壤中有明显的表聚现象。一方面由于表层施用石灰石粉,

表3 长期覆盖免耕条件下土壤交换性K, Ca, Mg的分布

Table 3 Distribution of soil exchangeable K, Ca, and Mg under long-term no-tillage condition

土壤深度 Soil depth (cm)	施肥量 N rate (kg/ha)	K (mg/ha)			Ca (mg/ha)			Mg (mg/ha)		
		免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean	免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean	免耕 NT	犁耕 CT	平均 Mean
0—5	0	398	352	375a	2097	1618	1858a	287.6	199.3	243.4a
	84	361	344	353a	1878	1482	1680a	272.3	185.7	229.0a
	168	309	350	330a	1332	1281	1493b	258.4	169.0	213.7ab
	336	338	344	341a	1856	1131	1456b	223.4	119.9	171.6b
5—15	0	239	205	222a	1756	1732	1744a	211.0	211.1	211.0a
	84	217	183	200a	1756	1732	1744a	204.8	213.1	208.9a
	168	199	189	194a	1624	1529	1576b	212.5	193.6	203.1a
	336	209	212	211a	1456	1439	1447c	142.6	142.9	142.8b
15—30	0	135	131	133ab	1636	1826	1731a	156.2	207.3	181.8a
	84	117	122	120ab	1633	1853	1743a	158.7	217.5	188.1a
	168	119	117	118b	1591	1632	1611b	171.9	208.4	190.2a
	336	153	127	140a	1404	1643	1523b	137.9	175.9	156.9b

另一方面与生物积累作用有关。与前期(75,80年)研究^[1,2]结果比较,Ca的含量自80年以后逐步增加,到94年土壤Ca的含量仍呈上升趋势。这与早期使用石灰石粉相吻合。

在本次研究中Mg的变化情况与Ca的变化相似。Mg随N肥用量的增加而减少的现象只发生在表层(表3)。从1975—1980年Mg在所有处理的0—5cm土壤中逐年降低(Blevins等1977^[1];1983^[2])。由于83年施用白云质石灰石粉,而后Mg含量增加很快,到1994年0—5厘米土壤中Mg的含量免耕显著高于犁耕。并随N肥施用量增加而有所降低。这一变化在4次监测分析中都可以发现。但在1994年15—30厘米深度土壤范围内,Mg的含量犁耕显著高于免耕,在5—15厘米土壤内看不出这一趋势。其原因有待研究。

2.7 作物产量

作物产量是一个系统管理水平与土壤生产力的综合反映,也是农业持续发展的重要评价指标。对25年(83年因严重干旱无产量资料)产量统计结果表明:平均免耕玉米产量与犁耕之间没有显著差异。但免耕条件下产量略高于犁耕。前13年(1970—1982,见图2

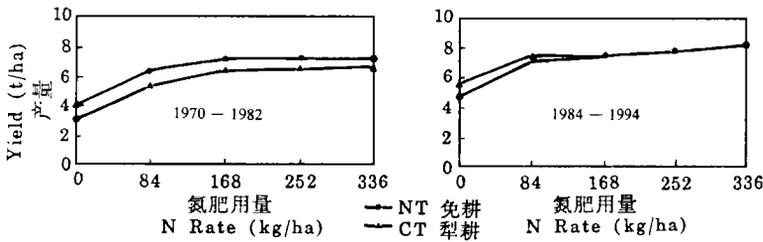


图2 长期免耕覆盖及不同化肥用量条件下玉米产量变化

Fig.2 Changes of corn yield under long-term no-tillage and different fertilizer application rates

左),犁耕平均玉米产量稍高于免耕,但不显著。而后11年(1984—1994,见图2右),免耕平均玉米产量显著高于犁耕玉米产量。根据年度独立统计结果,后11年中,有9年免耕产量高于犁耕,只有两年稍低于犁耕。随着时间的延长,免耕在产量上逐渐显示出优势。

年际产量变化还与当年6、7月份的降水总量有密切关系(图3)。大多数情况下,高降

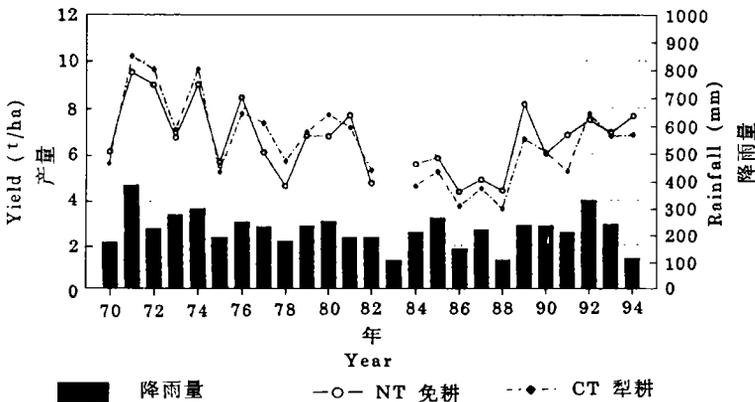


图3 免耕犁耕条件下玉米产量随年度和夏季降水变化情况

Fig.3 Changes of corn yield with time and rainfall in June and July under no-tillage and conventional tillage

水量时免耕与犁耕玉米产量之间差别不大或犁耕稍优于免耕。但在干旱年份(6、7月降水量 < 200 毫米)时,免耕玉米产量大多数高于犁耕,从而可表明免耕条件下的秸秆覆盖减少水分蒸发,缓和了旱情。这对我国北方发展节水农业有一定的参考意义。

3 结论

长期秸秆覆盖免耕玉米连作试验表明,长期免耕玉米连作把秸秆留在地表不会引起土壤板结。免耕表层土壤有机 C 和有机 N 水平比犁耕大为提高。同时随 N 肥的用量的增加而增加。土壤有机质在这样的管理条件下基本处于平衡状态。交换性 Ca、Mg、K 和可提取 P 地表相对富集。Ca、Mg、P 的含量随 N 素化肥 (NH_4NO_3) 用量的增加而减少。这与 NH_4^+ 的硝化作用引起土壤 pH 降低有关。K 的分布不受 N 素化肥用量的影响。25 年平均玉米产量免耕略高于犁耕;而近 11 年(1984—1994)免耕玉米产量显著高于传统耕作条件下的玉米产量。从而表明秸秆覆盖免耕的长期效果更加突出。在这种 Maury 沙壤土上长期覆盖免耕玉米生产是一种可持续性生产方式。

秸秆覆盖在免耕中占有首要地位,其作用不仅限于有机质积累,而且防止水分蒸发,增加水分渗透,改善土壤结构和减少土壤侵蚀。在我国许多地区已经认识到了秸秆覆盖还田在节水方面的作用,同时,长期覆盖对提高土壤肥力的效果更不应忽视。虽然免耕条件下增加了化学除草剂的施用,但免耕减少了能源及劳力的投入,因而可提高产投比。

参 考 文 献

1. Blevins R L, Thomas G W, Comelius P L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agron. J.*, 1977, 69:383—386
2. Blevins R L, Thomas G W, Smith M S, Frye W W, Comelius P L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil and Tillage Research*, 1983, 3:135—146
3. Lal R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1976, 40:762—768
4. Mielke L N, Wilhelm W W, Fenster C R. Soil physical characteristics of reduced tillage in a wheatfallow system. *Trans. ASAE*, 1984, 27:1724—1728
5. Unger P W. Tillage effects on surface soil physical conditions and sorghum emergence. *Soil Sci. Am. J.*, 1984, 48:1423—1432
6. Mahboubi A A, Lal R, Faussey N R. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993, 57:506—512
7. Roth C H, Meyer B, Frede J G, Depsch R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Parana, Brazil. *Soil Tillage Res.*, 1988, 11:81—91
8. Gantzer C J, Blake G R. Physical characteristics a Le Sueur clay loam following no-tillage and conventional tillage. *Agron. J.*, 1978, 70:853—857
9. Eckert D G. Effect of reduced tillage on distribution of soil pH and nutrients in soil profiles. *J. Fert. Issues*, 1985, 2:86—90
10. Mehlich A, Comm S S P A, 1984, 15:1409
11. Ismail I Blevins R L. Frye W W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58:193—198

12. Dick W A, McCoy E L, Edwards W M, Lal R. Continuous application of no-tillage to ohio soils. *Agron. J.*, 1991, 83:65—73

INFLUENCES OF LONG-TERM MULCHED NO-TILLAGE TREATMENT ON SOME SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND CORN YIELDS

Zhang Zhi-guo

(*Shandong Agricultural University, Taian 271018*)

Xu Qi

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

R. L. Blevins

(*University of Kentucky, Lexington, ky, USA 40546*)

Summary

No-tillage is one of the most important agricultural management systems. One way to determine if an ecological system can be sustainable is to evaluate the long-term effects it has on soil properties and on crop yields. The study was conducted from a 25 years' continuous no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) corn (*Zea mays*, L.) production experiment on a Maury silt loam (Typic Paleudalfs) soil. The results showed that there was no significant difference in soil bulk density between CT and NT. Soil pH decreased and soil organic C and N increased with increasing application of NH_4NO_3 fertilizer. Soil organic C, organic N, exchangeable Ca, Mg, K, and Mehlich III P in 0—5 cm soil layer were all significantly higher with NT than with CT. During 25 years, the yield of NT corn had no significant difference from that of CT corn. For the last 11 years (1984—1994), the yield of NT corn was significantly higher than that of CT corn. This means that the continuous corn production with long-term mulched no-tillage treatment is a sustainable production system on this Typic Paleudalfs.

Key words No-tillage, Sustainable agriculture, Soil property, Corn yield