

免耕和常规耕作农田生态系统冬季 覆盖作物残茬分解和养分变化*

吴珊眉
(南京农业大学)

G. J. House
(佐治亚大学)

韩纯儒
(北京农业大学)

摘要

免耕和常规耕作农田生态系统冬季覆盖作物红三叶草和黑麦草残体分解的格局和养分释放速率有明显区别。免耕地面残体养分释放和生物固定作用均缓于常规掩埋残体。常规耕作下,残体在掩埋后十天, C:N 比值仍高时,红三叶草和黑麦草残体养分元素降低率,氮素分别为 32.0% 和 52.0%、磷素为 62.1% 和 78.3%、钾素为 92.5% 和 91.2%、钙素为 84.3% 和 61.2%、镁素为 65.0% 和 75.2%。在分解早期,养分“损失”可能是由机械作用所加速的,如切碎、压榨、汁液外渗、扩散和淋洗作用等等。文中最后提出了减少残茬中早期养分过速“释放”的对策。

美国的农业由于高度依赖石油能源和化学药剂而使农业成本不断增加。同时,数十年来施用化肥导致了土壤肥力下降和环境污染。为了缓解上述存在的问题,也为了防止土壤侵蚀,人们再次重视轮作冬季覆盖作物^[4]。免耕和常规耕作对覆盖作物残茬的处理截然不同。在常规耕作下刈割后的残体被掩埋,而免耕农田则保留在地面形成有机残茬层。前人^[2,3,6,7]对留在地面和掩埋的残茬的分解、养分释放以及土壤生物的作用曾作过研究。但是,网袋中所装的有机残茬不易与土壤密切接触,且网眼大小限制某些土壤动物的活动,因而影响分解速度。作者则采集田间条件下的样品,研究免耕和常规耕作农田生态系统冬季覆盖作物残茬养分浓度和释放的变化,试图获得符合自然条件下的结果。这项研究是在美国佐治亚大学生态研究所的马靴弯试验区进行,属于“免耕和常规农田生态系统养分循环研究”的一部分。

一、方法和材料

(一) 试验地区基本情况和试验处理

试验区位于美国佐治亚州低丘地区的克拉克县 (Clarke County)。1978 年在该地的 Oconee 河的小冲积平原 (称马靴弯) 布置了免耕和常规耕作农田生态系统养分循环研究的试验。该区地势平坦 (坡度 $\leq 2\%$)。土壤属暗红色湿老成土 (Rhodudults), 上层为砂质粘壤土, 下层为粘土。1966 年—1978 年休耕, 主要植物有: 菊科一枝黄花属、蔷薇科悬钩子属和菊科豚草等。1978 年部分开垦作为试验区。本

* 本研究承蒙美国佐治亚州立大学生态研究所所长、著名生态学家 E. D. Odum 支持和指导。M. Nicora 和 D. Scott 协助工作, 特致谢意。

区 6 月均温 25℃, 12 月均温 8℃; 年降水量 1270 毫米。试验区面积 0.8 公顷 (12 亩)。1982 年秋季, 常规和免耕处理的小区面积为 0.05 公顷 (0.75 亩), 每一处理有四个重复。

试验区范围内的植被于 1978 年 5 月以前砍伐, 并搬运出试验区, 较小的植物和枯枝落叶用旋转机切碎。常规耕作小区用犁将残茬掩埋; 免耕小区的残茬仍留于地表。

1978 年 5 月开始种植作物。第一轮作从 1978 年 5 月至 1980 年 5 月, 其中秋熟作物为高粱, 冬季为黑麦草; 1980 年 5 月至 1982 年 5 月, 秋熟作物为大豆, 冬季为黑麦草; 1982 年至 1983 年 5 月秋熟作物又是高粱, 冬季则有黑麦草和红三叶草两种处理; 1983 年 5 月至 11 月, 秋熟作物为高粱。最近一期的轮作处理为: 免耕黑麦草—高粱 (NT-rye)、免耕红三叶草—高粱 (NT-clover); 常规黑麦草—高粱 (CT-rye) 和常规红三叶草—高粱 (CT-clover)

本研究所应用的残茬材料是黑麦草和红三叶草。

1983 年 5 月 3 日刈割黑麦草和红三叶草, 当时, 前者正在灌浆期, 而后者在开花盛期。5 月 8 日常规耕作区用圆盘耙切碎残体, 5 月 9 日用犁掩埋, 深度 11, 15, 18 厘米不等。免耕区残体任意散布地面, 无耕犁措施。5 月 10 日施化肥硝酸铵 8.1 斤/亩 (纯氮, 红三叶草茬口免施氮肥) 后, 又施纯磷 5.0 斤/亩, 纯钾 12.4 斤/亩。5 月 24 日喷施除草剂 “ROUNUP”。5 月 25 日播种高粱, 11 月收获。免耕区的播种、收获和施肥等情况同耕作区。

(二) 采集样品和分离掩埋地下残茬的方法

5 月 9 日刈割前, 以样方法 (0.25 米²) 采集各小区黑麦草和红三叶草的地上部分, 每一小区采二个样方, 则每一处理有八个 (4×2) 重复。5 月 17 日是刈割后的第 15 天, 常规耕作小区是掩埋后的第 9 天, 使用特制钻具采集地下残体。钻头直径 10 厘米, 深度 15 厘米, 每一处理有 12 (4×3) 个重复样品, 总计 48 个样品。在田间把样品装入体积为一立升的有盖塑料杯中。6 月 17 日又用样方和钻取相结合的方法采集样品, 每一处理仍得 8 个重复样品。7 月 12 日第三次采样, 每一处理采取 4 个重复的混合样品。8 月 20 日左右第四次采样。每次采集的样品都先储于冷库 (5℃), 供以后作各种分析。

常规耕作小区的地下残茬与土粒分离的方法是用冲洗筛分、筛分和浮分综合进行。先将样品用水浸泡数分钟并用木棍搅拌, 使土体与残体初步分离, 再将样品通过相叠的两个土筛 (上层筛孔 2.0 毫米, 下层 1.0 毫米)。继之用镊拣择出较大的残体。则发现被掩埋的残体的长度多在 2—4 厘米之间。半分解的碎屑用浮分法分离。各种残体均置于干燥箱 (55℃) 烘至恒重。用植物磨碎机处理后进行养分元素定量分析。

(三) 分析方法

全氮量用凯氏微量法; 碳和灰分 (%) 用灼烧法; 磷、钾、钙、镁用等离子发射光谱仪 (Plasma Emission Spectrophotometer-Fisher Scientific, Model 750 Atom Comp.) 测定。为校正粘附于地下残体上的土壤颗粒对养分含量结果的影响, 同时对采样点的土壤作了养分含量的测定。

二、结果与讨论

现就免耕和常规耕作下冬季覆盖作物的干物质产量、残体养分含量、养分浓度变化和矿化率等结果进行讨论。

(一) 干物质产量

红三叶草地上部分干物质重量在免耕和常规耕作小区分别为 475 斤/亩和 896 斤/亩。黑麦草则分别为 1345 斤/亩和 878 斤/亩。免耕田块黑麦草的产量高于往年, 如 1979 年最大干物质重量为 486.4 斤/亩, 1980 年为 230.4 斤/亩, 1981 年为 371.3 斤/亩^[8], 可见

产量年波动很大。根系干物质重量(15厘米深度内)无论是红三叶草和黑麦草,都以免耕田块较高。红三叶草根系干重免耕的为73.1斤/亩,常规的为48.6斤/亩;而黑麦草根系干重免耕和常规耕作区分别为131.0斤/亩和92.6斤/亩。免耕系统作物的根系明显地集中于表层,这主要与土壤养分高度集中于该层以及土壤生物活动的某些机能有关。后茬作物高粱籽粒的产量以红三叶草茬为高。以1982年秋熟高粱的产量为例,红三叶草茬口的产量,无论是免耕和常规耕作处理均比黑麦草茬口高2.3倍左右。

(二) 植株养分元素的含量

豆科和禾本科植物体中养分元素的含量差异为人所共知。但在5月初测定同是红三叶草或黑麦草,在免耕和常规耕作处理下养分含量亦不相同(表1)。红三叶草地上部分和根系的N, P, K, Ca和Mg等元素的含量(%)都是以免耕处理的为高。黑麦草地上部分养分含量则多以常规处理为高,而其根茬养分元素含量多以免耕区为高。黑麦草地上部分养分元素的分配与Stinner的资料一致^[8]。

表1 免耕和常规耕作农田生态系统红三叶草和黑麦草养分元素的平均浓度(%, n = 12)

Table 1 Mean concentration of nutrient elements of red clover and rye grass in NT and CT agroecosystems

处 理 Treatments	地上部分 Aerial parts					地下部分 Underground parts				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
免耕红三叶草 NT-clover	2.62 (±0.24)	0.27 (±0.019)	2.44 (±0.11)	1.28 (±0.18)	0.34 (±0.023)	1.87	0.19 (±0.064)	0.22 (±0.15)	0.80 (±0.19)	0.19 (±0.027)
常规红三叶草 CT-clover	2.19 (±0.23)	0.24 (±0.017)	2.54 (±0.22)	1.21 (±0.091)	0.31 (±0.032)	1.70	0.11 (±0.025)	0.13 (±0.028)	0.59 (±0.019)	0.13 (±0.005)
免耕黑麦草 NT-rye grass	1.02 (±0.084)	0.208 (±0.041)	1.31 (±0.14)	0.24 (±0.067)	0.17 (±0.037)	1.51	0.11 (±0.064)	0.20 (±0.10)	0.44 (±0.23)	0.13 (±0.035)
常规黑麦草 CT-rye grass	1.56 (±0.21)	0.23 (±0.019)	1.14 (±0.14)	0.26 (±0.052)	0.18 (±0.006)	1.16	0.058 (±0.018)	0.14 (±0.053)	0.24 (±0.058)	0.076 (±0.012)

注: 括号中数字是标准偏差。

(三) 残体中养分元素浓度的变化

免耕地面和常规掩埋的有机残体中养分浓度随时间而变化的规律迥然相异,从而影响养分的固定和矿化作用。图1至5表明N, P, K, Ca和Mg诸元素浓度随时间的迁移而变化。可以看出,掩埋残体在分解过程的早期阶段即出现养分浓度的陡降谷,随后,各元素(除钾外)又在陡降谷底的浓度基础上逐渐回升。这种变化趋势以氮和磷尤为明显。前人研究植物残体分解过程中,有机态养分(N和P)的净矿化作用是发生在最大的固定作用之后,此时残体分解曲线呈下降趋势^[2]。本试验过程出现的早期养分浓度陡降的机理将在下面讨论。

散布于免耕农田地面的残体,其养分元素浓度随时间变化的曲线中均未发现早期陡降现象。相反,却发现养分浓度上升的峰,尤以氮和磷元素以及黑麦草残体中钙和镁元素为显著。

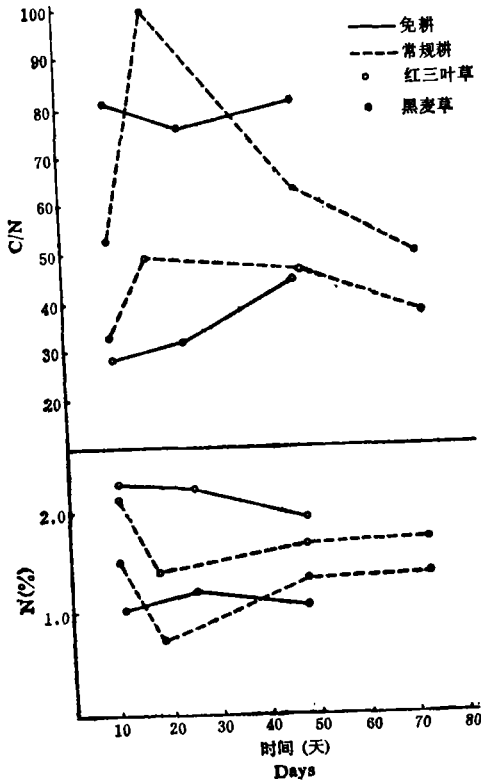


图 1 免耕和常规耕作红三叶草和黑麦草残茬分解过程中 C/N 值和 N% 随时间的变化
 Fig. 1 Variation of the N% and C/N ratio in residues of red clover and rye grass during decomposition in NT and CT agroecosystems

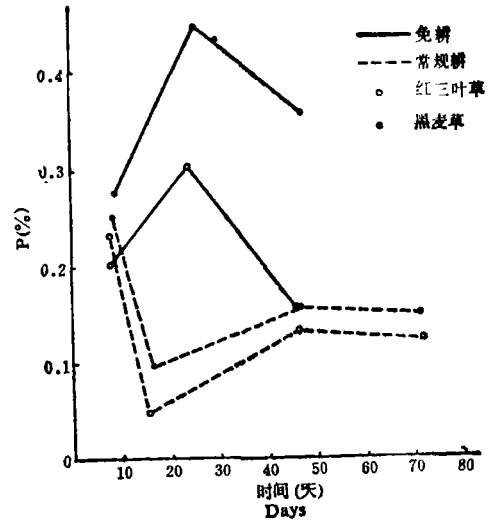


图 2 红三叶草和黑麦草残茬分解过程中磷随时间变化曲线
 Fig. 2 Variation of the P% in red clover and rye grass during decomposition in NT and CT agroecosystems

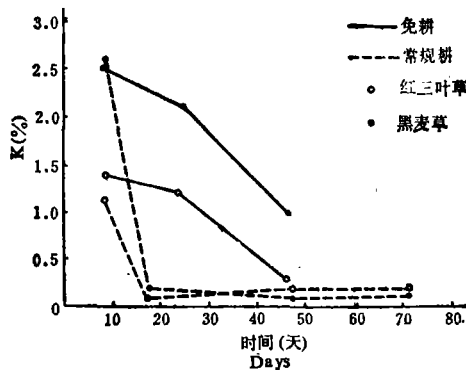


图 3 红三叶草和黑麦草残茬分解过程中钾随时间的变化
 Fig. 3 Variation of the K% of red clover and rye grass during decomposition in NT and CT agroecosystems

对于钾素而言,无论常规掩埋或免耕地面处理,早期的陡降过程均明显,而回升现象甚微。

两种不同处理的有机残体的分解曲线和养分浓度变化的相异性,是与残体所受的机

械作用,它们所处的环境,分解过程中的生物作用以及人工施肥等影响的不同所导致。

从图 1 中可见,掩埋残体在早期阶段发生氮素含量的陡降时,C:N 值仍甚高,红三叶草残体为 33.7:1,而黑麦草残体为 52.3:1。一般认为,有机残体净矿化的临界 C:N 值是在 22—25 之间。按此推测本试验有机残体净矿化至少要在掩埋后 2—3 月之后发生,而免耕地面残体中养分净矿化的时间则更长。

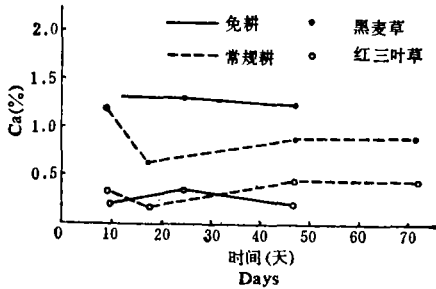


图 4 红三叶草和黑麦草残茬分解过程中钙随时间的变化

Fig. 4 Variation of Ca% in red clover and rye grass during decomposition in NT and CT agroecosystems

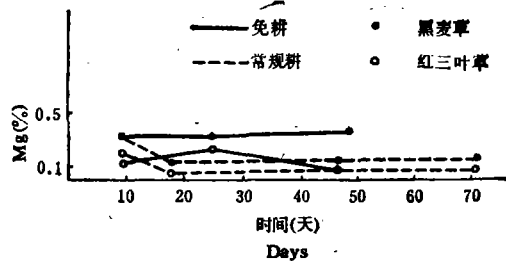


图 5 免耕和常规耕作红三叶草和黑麦草残茬分解过程中镁随时间的变化

Fig. 5 Variation of Mg% in red clover and rye grass during decomposition in NT and CT agroecosystems

本试验掩埋残体中养分的早期陡降机理可能是残体受到强烈的机械破碎,残体体积变小与促进降水的淋洗作用有关。其次,与农具对残体切碎导致植物汁液外溢、养分扩散及土壤吸收作用也有关。免耕地面残体中早期养分的上升,则可能是受人工施肥的直接影响,以及残体水分散失,养分元素浓度相对增高所导致。

养分浓度回升反映了土壤微生物在残体中定居而出现的养分生物固定作用。掩埋残体对氮和磷的固定作用十分显著(图 1 及 2)。免耕地面残体对养分固定作用较弱,并易与施肥的作用相混淆。然而,从免耕黑麦草残体中钙和镁元素浓度的上升(图 4、5)推测氮和磷的上升除施肥影响外,也有微生物的固定作用。这说明禾本科作物茬施用于土壤表面仍有养分的竞争作用。

本试验所研究的有机残体分解过程中养分浓度随时间而变化的格局与 Boyo^[1] 和 Smith 等^[7] 的结果类似。Boyo 是把香蒲残体放在水中和置于水面以上获得残体分解曲线,而 Smith 等是在灌溉土壤中研究小麦残茬的分解。马靴弯试验区虽无灌溉条件,但 5 月份降水量较大。残体机械切碎加之降水丰富,早期养分的淋洗必然可观。免耕处理的地面残体中养分淋洗作用发生较迟,且淋洗的养分可被表土吸收或吸附。可见,免耕农田生态系统养分淋洗损失要比常规系统小。此与前人的研究结果相符^[7]。

(四) 残体养分元素的降低率和降低量

表 2 是两种处理下红三叶草和黑麦草残体在分解破坏过程中氮、磷、钾、钙、镁等元素含量降低率,可看出掩埋残体在早期阶段“损失”的意义。红三叶草和黑麦草在掩埋 10 天后,残体中氮素降低率相应为 32.0% 和 52.0%,磷素为 62.1% 和 78.3%,钾素为 92.5% 和 91.2%,钙素为 84.3% 和 61.2%,镁素为 65.0% 和 75.2%,以养分元素从残体中移走的

表 2 残茬分解过程中 N, P, K, Ca 和 Mg 的降低率 (%)

Table 2 Fluctuation of N, P, K, Ca, and Mg contents in stubbles during decomposition

处 理 Treatments		免耕地面三叶草	常规掩埋三叶草	免耕地面黑麦草	常规掩埋黑麦草
N	1	-6.1	-32.0	+20.0	-52.0
	2	-26.0	-19.2	+2.9	-13.5
	3		-19.8		-10.3
P	1	+65.5	-62.1	+22	-78.3
	2	+18.7	-33.3	-20	-43.5
	3		-63.3		-58.0
K	1	-15.8	-92.5	-27.8	-91.2
	2	-51.2	-96	-71.8	-82.5
	3		-93.7		-88.5
Ca	1	-0.60	-84.3	+5.0	-61.2
	2	+0.18	-36.4	-0.60	+
	3		-36.1		+56.0
Mg	1	+	-65.0	-1.3	-75.2
	2	+	-52	-18	-32
	3		-48.8		-35.5

注: 1、5月17日, n=12; 2、6月17日, n=16; 3、7月12日, n=4。

数量来看,氮素相应为 6.3 斤/亩和 7.1 斤/亩,磷素为 1.3 斤/亩和 1.6 斤/亩,钾素为 21.1 斤/亩和 9.1 斤/亩,钙素为 9.2 斤/亩和 1.4 斤/亩以及镁素为 1.9 斤/亩和 1.6 斤/亩。

随着时间的进展,常规耕作下残体中养分元素浓度降低率变小或出现了正值,这是生物固定作用的佐证。以常规掩埋的残体为例,5月17日以后至7月12日,红三叶草残茬固定氮量累计为 2.5 斤/亩,黑麦草为 2.85 斤/亩。截至 7 月 12 日,氮素净降低量掩埋红三叶草为 3.8 斤/亩,而黑麦草为 4.25 斤/亩。掩埋有机残茬早期养分元素的迅速“释放”,可能是所谓绿肥增加土壤碳功能欠佳的原因之一。

从表 2 可见免耕区地面残茬中养分的降低率和降低量均较小且较缓慢,故保持养分和增加土壤有机碳的作用均要大一些,而早期供养能力则较差。

我国南方传统耕作制中,常以紫云英、肥田萝卜、蚕豆或油菜秸秆作水稻基肥。秋季提倡“稻草还田”。对有机残体中养分的物理降低率研究,有助于判断残体在早期对作物提供养分和淋失的可能性。实际上,掌握有机残体切割的大小和施用方法,试行掩埋和表施相结合,可在一定程度上调节有机残体中养分的释放速度和增加土壤有机质的功能。

三、小 结

研究表明免耕地面残体和常规耕作掩埋残体中养分浓度变化的格局和速度均不相同。免耕地面残体的分解早期阶段出现养分浓度陡增的“峰”,而常规掩埋残体则有相应的“谷”,常规掩埋残体中早期养分诸如氮素的陡降,是在 C/N 值甚高的情况下发生的,主要机理是物理性“损失”。免耕下的地面残体中养分的“淋失”作用和生物固定作用均较迟缓,生物净矿化作用相应推迟。故表面施用全株残体具有较佳的生物保持养分(除钾)和增加土壤有机质的作用。实践上,掌握残体细碎程度及注意施用方法,可促进和延缓养分的释放。

参 考 文 献

- [1] Boyo, C. E., 1970: Reedswamp litter breakdown. Arch Hydrobiol., 66: 511—17.
- [2] Brown, P. L. and Dickey, D. D., 1970: Losses of wheat straw residues under simulated field condition. Soil Sci. Soc. of Am. Proc., 34: 118—121.
- [3] Hice, T. and Todd, R. L., 1980: Decomposition of crop residues under conventional and minimum practices. Agronomy Abstracts, 72: 154.
- [4] Hargrove, W. L., 1982: Proceedings of the minisymposium on legume cover crops for conventional tillage production systems. Special publication, No. 19.
- [5] House, G. J. et al, 1984: Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agroecosystems: analysis of pathways and processes. (in press).
- [6] House, G. J., Stinner B. R. and Landale G. W., 1983: Litter decomposition and nitrogen cycling in conventional and no-tillage sorghum and soybean systems on the southern Piedmont. Agronomy Abstracts, p. 11.
- [7] Smith, J. H. and Douglas, 1971: Wheat straw decomposition in the field. Soil Sci. Soc. of Am. Proc., 35: 265—272.
- [8] Stinner, B. R. et al, 1983: Nutrient uptake by vegetation in relation to other ecosystem process in conventional tillage, no-tillage and old field systems. Agricultural Ecosystems and Environment. 10: 1—13 Elsevier Science Publishers. B. V., Amsterdam.

VARIATION OF NUTRIENT ELEMENTS OF WINTER COVER CROP RESIDUES IN AGROECOSYSTEMS UNDER NO TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE

Wu Shanmei

(*Nanjing Agricultural University*)

House, G. J.

(*University of Georgia*)

Han Chunru

(*Beijing Agricultural University*)

Summary

Quantitative studies on changes in C/N ratio, N, P, K, Ca and Mg contents of red clover and rye grass residues during decomposition in agroecosystems under no-tillage (NT) and conventional tillage (CT) were carried out in Horseshoe Bend, Ga, USA.

Results showed that the decomposition patterns and mineralization rates of nutrients in the crop residues were different in the two ecosystems. Both the mineralization and biological immobilization of elements took place earlier in CT system than those in NT system. It was found that the amounts of nutrient elements remaining in residues decreased rapidly in CT systems. The percentages of N, P, K, Ca, and Mg losses from the residues ranged from 32.0—52.0, 62.1—78.1, 92.5—91.2, 84.3—61.2 and 65.0—78.2 respectively. Nutrient elements in the residues, however, increased to some extent in the NT ecosystems due probably to the surface fertilization and drying of plant residues. It was also found that the greater losses of nutrient elements from buried stubbles during the early stage of decomposition were mainly caused by mechanical operation such as heavy disking and plowing as well as leaching. Amounts of N, P, K, Ca and Mg removed from buried winter crop residues were 6.3—7.1, 1.3—1.6, 21.1—9.1, 9.2—1.4 and 1.9—1.2 jin/mu. Up to 12, July, the net loss of N from buried red clover and rye were 3.8 and 4.25 jin/mu, respectively.