

生态系统转换对土壤中碳水化合物的影响

郭景恒¹, 朴河春², 张晓山¹, 刘启明²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

摘要: 采集贵州省茂兰喀斯特原始森林中森林土壤和相邻农田土壤, 系统分析其中碳水化合物总量和各单糖的含量。并以此来查明由森林生态系统向农业生态系统转换的过程对土壤碳水化合物的影响。结果表明: 相对于森林土壤, 农业土壤中碳水化合物总量明显降低。在农田土壤中六糖/五糖比值有升高的趋势, 其中以 M/X 比值最为明显。这说明, 在该转换过程中植物来源的单糖组分有所降低, 微生物来源的则相对增加。

关键词: 碳水化合物; 六糖/五糖比值; 生态系统转换

Effects of Ecosystem Alternation on Soil Carbohydrates

GUO Jing-Heng¹, PIAO He-Chun², ZHANG Xiao-Shan¹, LIU Qi-Ming² (1. *Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China*; 2. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1367~1370.

Abstract: Carbohydrates were the very important and liable soil organic compounds. Their responses to many factors such as cultivations and eco-environmental changes are much more sensitive than those of total soil organic matter. Several researches suggested that hexoses and pentoses in soils have quite different sources. Hexoses originate from soil microbes, while pentoses mainly come from the decomposition of plant residues. Based on the above knowledge, soil carbohydrate has been proposed as a sensitive indicator to the changes in both content and origin of soil organic matter.

To study the effects of ecosystem alternation on the soil carbohydrates, samples of forested and neighboring agricultural soils were collected from karst area in southwestern China, where the forest ecosystem was changing into agricultural ecosystem. After removal of plant residues and stones, soils were analyzed for five major monosaccharides using GC(Shimadzu GC-9A), and the total carbohydrates content was calculated as the sum of five major monosaccharides. Analysis of data gave us the following conclusions and implications.

Total carbohydrates contents in forested soils were much higher than those in agricultural soils, which might be attributed to the fact that the inputs of organic matter to agricultural soils were much smaller than those to forested soils. In the sampling region, few plant residues were incorporated into the agricultural soils because the crop stubble was either taken away from field after harvest, or burned. In both forested and agricultural soils total carbohydrates decreased invariably along soil profile, but decreasing rates of total carbohydrate contents in agricultural soils were significantly slower than those in forested soils. Such phenomena can be explained by the disturbance resulted from agricultural managements.

Although five major monosaccharides have similar change trends to the total carbohydrates, there were significant variations in the change magnitude among the different monosaccharides. Such variations have led to the difference in the ratios of hexoses to pentoses. In the three ratios (M/X , $(M+G)/(A+X)$ and $M/(A+X)$), the M/X ratio ranging from 0.81 to 2.46 changes most significantly. Moreover, t-test

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49772175)

收稿日期: 2000-03-20 万方数据 日期: 2002-04-20

作者简介: 郭景恒(1972~)男, 河北省昌黎人, 博士。主要从事环境土壤学研究工作。

showed that M/X ratios of agricultural soils were significantly higher than those of forested soils ($P < 0.001, n=20$), which could imply that during the ecosystem alternation the carbohydrates and soil organic matter from plant residues decreased, while those from soil microbe activity increased. In conclusion, the alternation from forest ecosystem to agricultural ecosystem has not only decreased the content of total carbohydrates but also changed their composition.

Key words: carbohydrates; hexoses/pentoses ratios; ecosystem alternation

文章编号:1000-0933(2002)08-1367-04 中图分类号:Q143 文献标识码:A

碳水化合物是土壤中最重要、最易降解的有机成分之一^[1],其对气候变化、耕作、生物处理等外界影响的灵敏程度远比有机质总体更为灵敏^[2]。而且作为土壤微生物细胞必需的组成物质和主要能源,碳水化合物与土壤微生物存在密切的关系^[3]。一些研究认为,土壤中以甘露糖、半乳糖为代表的六碳糖主要来源于土壤微生物;而以木糖、阿拉伯糖为代表的五碳糖则主要是植物残骸的降解产物,并进一步提出用六糖/五糖比值的变化来揭示碳水化合物及有机质来源的差异^[4]。正是基于这些认识,一些学者尝试用碳水化合物的变化来推断土壤有机质总体的近期变化^[5]。此外,碳水化合物是土壤中最重要“粘合剂”,能够将土壤微团聚体粘合成大团聚体,从而增强土壤结构的稳定性,提高土壤抗侵蚀能力和保肥、保水能力^[6]。但就目前来看,国内对土壤碳水化合物的研究还处于起步阶段,充分认识碳水化合物在土壤中的作用和转化过程还有待于更进一步的研究工作。

许多研究表明,由森林生态系统向农业生态系统转换的过程对土壤有机质的含量和生物有效性有明显影响,而这将直接影响土壤结构的稳定性、土壤微生物活性和和土壤保肥能力^[7]。碳水化合物作为土壤中最重要活性有机成分,在这一转换过程中的行为也自然倍受人们关注。本文以贵州喀斯特原始森林土壤中碳水化合物为对象,研究其在生态系统转换过程中的变化规律和指示作用,并通过碳水化合物来进一步探讨生态系统转换过程对土壤有机质的影响。

1 样品采集与实验分析

为了研究由森林生态系统向农业生态系统转换的过程中碳水化合物的变化,所选择的工作区应该正在经历这一生态系统转换过程。贵州省茂兰喀斯特原始森林属国家级自然保护区,也是世界上同纬度地区绝无仅有的喀斯特森林生态系统。在中亚热带地区喀斯特森林被毁殆尽的情况下,它保存了成片的原始性较强的森林,为人们系统研究喀斯特生态提供了宝贵的原始资料。然而,盲目地毁林造田行为正严重地威胁着这片宝贵的自然资源,大量森林被砍伐或焚烧并转化为农田,生态系统遭到严重的破坏^[8]。但同时,这也为研究这一过程中土壤碳水化合物的转化提供了得天独厚的实验场地。

为了对比农业行为对碳水化合物及土壤有机质的影响,在森林中选择了两个横向的土壤剖面,每一剖面包括一个森林土壤和一个相邻农业土壤(表1),并确认该农田土壤是由相应森林土壤转化而来。在每一土壤点,沿垂直方向采集0~25cm的土壤柱,每5cm分为一层并作为一个样品。采集新鲜土壤样品后立即将其密封于塑料样品袋中,并尽快带回实验室,在室内用镊子挑出其中的植物根系、碎石等杂物,而后将其自然风干并密封储存于塑料样品袋中备用。

表1 采样点的基本情况

土壤碳水化合物经水解、衍生后,利用气相色谱进行分离测定^[4,9]。其大致过程可概括如下:土壤样品在热酸溶液中水解,将其中多糖水解成单糖,过滤并将滤液的pH调至6。再过滤,向滤液中加入还原剂(NaBH_4)和木糖醇(内标物),将单糖还原成糖醇,旋蒸至干。加入乙酸酐将糖醇转化成酯类。而后用氯仿萃取、定容并用气相色谱(Shimadzu A)分离测定。

2 结果与讨论

Table 1 The information of sampling sites				
采样点号 Sampling site	地理位置 Locality	采样深度 (cm) Soil depth	植被情况 Vegetation type	利用方式 Use pattern
1	N25°15' E108°03'	0~25	森林植被 ^①	森林土壤 ^④
2	N25°15' E108°03'	0~25	玉米 ^②	农田土壤 ^⑤
3	N25°14' E108°03'	0~25	森林植被 ^①	森林土壤 ^④
4	N25°14' E108°03'	0~25cm	大豆 ^③	农田土壤 ^⑤

①forest vegetation ② cornsoil ③ bean ④forest
⑤agricultural soil

2.1 碳水化合物总量

碳水化合物是土壤中主要的活性有机成分,一般占土壤有机质总体的5%~25%。本次实验中样品(尤其是森林土壤)中碳水化合物的含量较高,最高可达12mg/g土壤。在表层土壤中碳水化合物含量最高并随着深度的增加而降低。这主要是因为碳水化合物的补充随深度而减少(图1)。同时,由于翻耕等农业行为的扰动,农田土壤中碳水化合物含量随深度变化的幅度有所减缓。

相对于森林土壤,农田土壤中碳水化合物总量明显降低。出现这种趋势的原因可能有两种,其一,农业土壤中碳水化合物缺乏必要的补充。在当地,农作物成熟时被连根带走,或作为燃料或作为饲料。而在森林土壤中富含有机质的植被凋落物在土壤中分解之后产生大量碳水化合物^[3];其二,碳水化合物等活性有机成分是土壤中重要的“粘合剂”,能够将土壤中微小团聚体粘合成大的团聚体从而使有机质本身得到保护。然而而这种大团聚体对耕作行为十分敏感,过度的耕作使土壤团聚体破碎,有机质(特别是碳水化合物等活性有机成分)失去保护从而过多地被微生物消耗或淋溶流失^[10,11]。

2.2 各单糖和六糖/五糖比值的变化

在土壤中共有8种单糖:葡萄糖(Gl.)、木糖(X.)、阿拉伯糖(A.)、甘露糖(M.)、半乳糖(G.)、鼠李糖(Rh.)、岩藻糖(Fu.)和核糖(Ro.)。各种单糖在土壤中的含量有很大差别,其中以前5种为主。如图2所示,各单糖在生态系统转化过程中含量都有明显下降,这与碳水化合物总量的变化基本一致。

不同来源的碳水化合物水解后所得组分有很大差异;植物来源的糖类水解后以葡萄糖、阿拉伯糖和木糖为主,而微生物来源的糖类水解产物主要是葡萄糖、半乳糖和甘露糖等六碳糖,而葡萄糖在两种来源的有机质中的分布比较均匀。总体来说,植物来源的碳水化合物 $(G+M)/(A+X)$ 比值 <0.5 ,而微生物来源的该比值 >2 。因此一些学者提出用六糖/五糖比值的变化来反映碳水化合物的相对来源。但是到目前为止,对于采用哪些单糖来进行比较还有很大争议;Oades提出用 $(G+M)/(A+X)$ 比值^[6];Baldock发现在某些植物的根茎叶中存在数目可观的半乳糖,因而认为用 $M/(A+X)$ 更为准确^[12];1985年Cheshire等认为阿拉伯糖中大量存在的右旋构体难以降解,使得其含量偏高,建议采用 M/X 作为数据

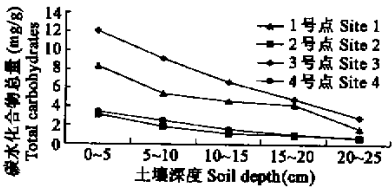


图1 生态系统转换对土壤碳水化合物总量的影响
Fig. 1 Effects of ecosystem alteration on total carbohydrates

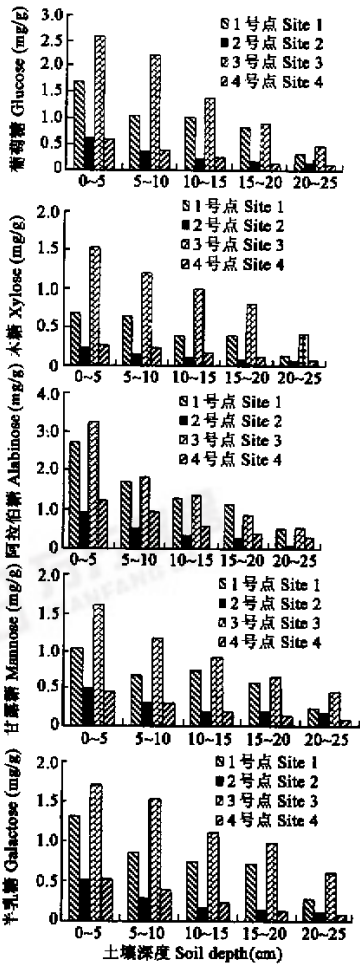


图2 生态系统转换对土壤各主要单糖的影响
Fig. 2 The effects of ecosystem alteration on the contents of the five major monosaccharides

由表 2 可以看出:样品 3 种比值均在 0 到 2.5 之间,并且 M/X 比值一般大于另外两种比值。总体看来在 3 种比值中 M/X 比值的变化最为明显,并且多数情况下在农田土壤中该比值高于相应森林土壤中的 M/X 比值。应用 *t*-检验对 3 种比值进行数理统计分析。结果表明:农田土壤中 M/X 比值显著大于相应森林土壤中该比值 ($P<0.001, n=20$),而 $(M+G)/(A+X)$ 和 $M/(A+X)$ 在森林土壤和农田土壤之间的差异不显著,规律性不明显。因此认为,在 3 种比值中 M/X 最能明显地反映有机质的相对来源。并且这与 Hu 等人^[4]的结论基本相吻合。

在农业土壤中的 M/X 比值大于相应森林土壤中的 M/X 比值,主要是因为在当地缺乏必要的绿肥回田机制,农田土壤中缺乏植物性有机成分的补充。

比较森林土壤和农业土壤中 M/X 比值的差异可以发现:农业中不合理的耕作行为已经使土壤中碳水化合物成分发生变化,即植物来源的相对减少,微生物来源的相对增多。

3 结论

由森林生态系统向农业生态系统转换的过程已经对土壤中碳水化合物产生了明显的影响,具体表现在:1. 由于缺少必要的补充,农田土壤中各单糖含量和碳水化合物总量相对于森林土壤都有明显的减少。2. 在农田土壤中,各单糖的比例已经发生明显变化,M/X 等六糖/五糖比值有较大幅度的上升。这意味着农业土壤中植物来源的碳水化合物和其它有机成分急剧减少。通过分析碳水化合物的变化,我们认为,森林向农田的生态系统转换已经显著降低土壤有机质特别是碳水化合物等活性组分的含量、组成和生物有效性,这对农业和环境的可持续发展构成极大的障碍。

参考文献

[1] Miltner A, Zech W. Carbohydrate decomposition in beech litter as influenced by aluminum, iron, and manganese oxides. *Soil Biol. Biochem.*, 1998, **30**: 1~7.

[2] Guo J H (郭景恒), Piao H C (朴河春), Liu Q M (刘启明). The distribution and environmental effects of carbohydrate in soil. *Geo-Geochem* (in Chinese). (地质地球化学), 2000, **28**: 59~64.

[3] Piao H C, Hong Y T, Yuan Z Y. Seasonal changes of microbial biomass carbon related to factors in soils from karst areas of southwest China. *Biol. Fertil. Soils*, 2000, **30**: 294~297.

[4] Hu S, Coleman D C, Hendrix P F, *et al.* Biotic manipulation effect on soil carbohydrates and microbial biomass in a cultivated soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1995, **27**: 1127~1135.

[5] Biederbeck V O, Janzen H H, Campebell C A, *et al.* Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an acid environment. *Soil Biol. Biochem.*, 1994, **26**: 1647~1656.

[6] Oades J M. Soil organic matter and structural stability mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 1984, **76**: 319~337.

[7] Puget P, Angers D A, Chenu C. Nature of carbohydrate associated with water-stable aggregate of two cultivated soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1999, **31**: 55~63.

[8] Zhou Z H (周政贤). *Surveys on Maolan Karst forest* (in Chinese). GuiYang: People's Press of Guizhou, 1987. 1~24.

[9] Cheshire M V, Christensen B T, Sorensen L H. Labeled and native sugar in particle fractions from soil incubated with ¹⁴C straw for 16 to 18 years. *J. Soil Sci.*, 1990, **41**: 29~39.

[10] Balesdent J A, Marietti A, Boisgontier D. Effects of tillage on soil organic carbon mineralisation estimated from ¹³C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.*, 1990, **41**: 587~596.

[11] Bear M H, Cabrera M L, Hendrix P F, *et al.* Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, **58**: 787~795.

[12] Baldock J A, Kay B D, Schnitzer M. Influence of cropping treatment on the monosaccharide of the hydrolysates of a soil and its aggregate fractions. *Can. J. Soil Sci.*, 1987, **67**: 489~499.

[13] Cheshire M V. Carbohydrate in related to soil fertility. In: Vanghan D. and Malcolm R. E. ed. *Soil organic matter and biological activity*. Amsterdam: Martus. Nijhoff, 1985, 263~288.