

三种黑土中有机碳、氮、磷的 形态分布与肥力的关系

邱凤琼 丁庆堂 党连超

(中国科学院林业土壤研究所)

土壤腐殖质是土壤的重要组分。土壤的许多属性都直接或间接地与腐殖质的性质有关。我们曾指出^[1]黑土的腐殖物质及其组分与土壤的物理、化学及生物化学有显著的相关性,这表明它们对氮、磷等营养物质的转化、供应及贮存起着重要的作用。在这方面已有不少研究报告指出这类富含营养物质的有机物的矿化^[12,21]和生物降解产生的低分子有机化合物能直接被植物吸收利用^[18,13]。黑土中含有大量的有机氮和磷。据文献记载,黑土的有机氮占全氮的 95%,有机磷占全磷的 70%^[4]。我们设想它们存在的形态及其在土层中的分布对黑土的供肥能力应有一定的关系。但长期以来,这种关系并不十分清楚,本文论述了我们这一方面的工作。

一、材料和方法

不同肥力水平的黑土(荒地、肥地和瘦地)采自黑龙江省嫩江地区(125°E, 492'N)。其地形部位和自然条件均十分相近。肥地和瘦地都是开垦 30 年的黑土,肥地曾在 1958 年深翻一米,分层施用了大量的棉饼、豆饼及适量化肥,瘦地未施有机肥、未深翻。

土壤有机碳、氮的分组按 Anderson 等人^[8]的方法,有机磷的分组按 Bowman 和 Cole^[9]法,有机磷及无机磷的测定按 Saunders-Williams^[19]法,全碳及各组碳的测定按 H. B. 邱林法,全氮及各组有机氮按凯氏法,水解氮按碱解扩散吸收法,全磷及有机和无机磷的测定按硫酸钼锑抗法,有效磷按 NaHCO_3 法进行。

二、结果和讨论

(一) 黑土的养分状况

不同肥力水平的黑土中各土层的主要养分的含量变化见表 1,从表中可以看出,土壤全碳、氮、磷的含量都是表层最高,往下则随深度而逐渐减少。荒地各土层的全量养分含量均较耕地相应土层的高,在耕地中,肥地的较瘦地的高。耕地的有效磷量比荒地的高,而水解氮量则是荒地>肥地>瘦地。就磷的组分而言,有机磷量显著高于无机磷量、有机磷的含量是荒地>肥地>瘦地。无机磷量则是肥地>瘦地>荒地。

C/N 比值都是底土较表土和心土层显著地低,这种情况 Stevenson 和 Bremner^[20,10]曾解释是由于底层中绝大部分 $\text{NH}_4\text{-N}$ 被粘土矿物晶格吸收的原故。C/OP 比值表土和心

表 1 不同肥力黑土的养分状况

Table 1 The status of nutrients in black soils with different fertility

黑土 Black soil	深度 (cm) Depth	有机碳 (%) Organic C	全氮 (%) Total N	全磷 (%) Total P	水解氮 (mg/100g) Hydrolyzable N	有效磷 (mg/100g) Available P	无机磷 Inorganic P		有机磷 Organic P		C/N	C/OP	N/OP
							μg/g	% of IP	μg/g	% of OP			
荒地 Virgin	8-20	3.3	0.31	0.09	21.2	0.64	48	5.5	612	70.2	11	55	5
	20-70	3.0	0.19	0.08	16.3	0.92	53	6.4	647	77.7	16	47	3
	70-90	0.7	0.11	0.04	1.0	1.28	73	19.1	188	49.3	7	39	6
肥地 Fertile	0-20	2.5	0.23	0.08	13.3	2.20	143	17.8	498	62.0	11	49	5
	20-73	2.0	0.21	0.05	16.7	1.20	43	9.3	220	47.8	9	89	9
瘦地 Infertile	73-	0.6	0.09	0.04	3.6	0.90	31	7.6	364	88.8	6	16	3
	0-18	1.7	0.23	0.05	11.2	12.80	88	17.5	293	58.1	8	59	8
	18-58	1.7	0.20	0.05	10.8	11.30	73	15.9	262	57.6	9	66	8
	58-	0.6	0.14	0.04	6.9	1.10	28	7.4	223	60.4	4	28	6

表 2 黑土中腐殖物质各组分碳的含量

Table 2 Content of C in various fractions of humic substances in black soils

黑土 Black soil	深度 (cm) Depth	胡敏酸 A Humic acid A		胡敏酸 B Humic acid B		富里酸 Fulvic acid		胡敏素 Hummin	
		%	% of TC	%	% of TC	%	% of TC	%	% of TC
荒地 Virgin	8-20	0.93	28	0.20	5.9	0.70	21	1.5	45
	20-70	0.80	27	0.17	5.7	0.70	23	1.3	44
	70-90	0.25	34	0.08	11.1	0.24	32	0.2	23
肥地 Fertile	0-20	0.49	20	0.18	7.1	0.51	20	1.3	52
	20-73	0.54	28	0.11	5.9	0.52	27	0.8	40
	73-	0.21	38	0.06	11.2	0.16	28	0.1	23
瘦地 Infertile	0-18	0.39	23	0.10	5.7	0.47	27	0.8	45
	18-58	0.45	26	0.12	6.8	0.45	26	0.7	41
	58-	0.28	44	0.06	9.2	0.11	17	0.2	30

注: TC 是代表总碳量。

土都比底土显著地高。N/OP 比值除荒地心土层较表土和底土低外,耕地都是表土和心土较底土高。N/OP 比值在不同黑土和不同土层中的变化没有 C/OP 大,这与 Pearson^[17] 所获结果类似。关于 C/OP 和 N/OP 比值与有机磷矿化的关系,一般认为,在温带地区有机磷的矿化比碳、氮的矿化更为缓慢,但 Acquaye 和 Enwezor^[4,14] 指出,有机磷的矿化量与有机碳和全氮显著相关,矿化作用进行时,C/OP 和 N/OP 比值趋向于增加,可能是由于有机磷的矿化速度比有机碳和氮快。三个黑土中耕地表土和心土层的 C/OP 和 N/OP 都较荒地高(除肥地表土外),表明耕作有促进土壤有机磷的矿化。这对土壤供磷能力的调节是有益的。

(二) 黑土中各种形态的有机碳、氮的含量及其在土层中的分布状况

不同肥力黑土中,各组有机碳的含量变化见表 2,由表可见:胡敏酸 A 组的含量是荒地各层均相应地比耕地高。荒地是表层最高,往下随深度增加而逐渐减少。两个耕地剖面中胡敏酸 A 的含量都是心土层最高,其次是表土,底土最低。富里酸的含量除肥地表土与胡敏酸 A 的情况相似外,其他各层的含量都较胡敏酸 A 组的低。两组的绝对含量在表土和心土层又都是肥地比瘦地高。这些现象表明,耕作改变了胡敏酸 A 和富里酸在土层中的分配状况,使这两个组分在心土层的含量较高。胡敏酸 A 和富里酸都含有一定数量的 COOH 和 OH 基团^[3,15],它们对土壤中营养物质的保持和释放以及对土壤的物理化学性质都有着较大的影响,因此,它们在心土层的积累,标志着土壤熟化层和熟化度的加强。

近年来,Anderson 和 Greenland 等^[6,15,7,16] 在腐殖物质原有分组原则的基础上,进一步分离出与粘土矿物结合的胡敏酸 B 组,他们在对这组的化学性质进行了详细的研究后指出:该组的碳含量较胡敏酸 A 组的低,而氮含量则较高。Campbell 等人^[11] 也指出,黑土中的胡敏酸 B 组对养分的供应可能有重要作用。我们测定的结果表明,不同黑土中的胡敏酸 B 组的含量在四个组分中所占比例最低(占总碳的 6—11%)。它们在土层中的变化都是表土最高,往下逐渐减少,在表土中,肥地的较瘦地的显著地高,反映了肥地调节供应养分的潜力较瘦地的大。

胡敏素的含量都是表层较高,心土层次之,底土层最低,不同黑土间差异不大。

各组腐殖质碳在土层中的分布(按占全碳 % 计),不同黑土的表土和心土中的胡敏素均较其它组分的多,其中肥地的最多,其次是荒地和瘦地,胡敏素是与土壤矿物胶体牢固结合,稳定性高的组分,也是形成土壤微团聚体的基础物质^[5],肥地表土中胡敏素的含量比其它两种土壤都高,可能与其耕性较好有关。

胡敏酸 A 和富里酸的相对百分含量都是表土较低,往下逐渐增高,这可能是因为这两组与胡敏素比较,稳定性较差,在表层较易分解转化,或者是在一定的条件下往下层移动的结果。

胡敏酸 B 组与上述两组类似,也是底层比上层高。

总之,各组腐殖质在土层中的分布规律虽相似,但其贮量存在着肥地较瘦地高的明显差异,显示了肥地各类腐殖物质贮量大的特征。

不同肥力的黑土中,各组腐殖质氮在土层中的含量见表 3,从表中可看出,胡敏素氮

的含量在所有的土壤中都是表土最高,往下则随深度而减少,但对不同的土壤来说,减少的幅度都不同,在荒地中随土层深度而急剧减少,在耕地中则是缓慢下降。其它三个组的氮含量是胡敏酸 A > 富里酸 > 胡敏酸 B。

表 3 黑土中腐殖物质各组分氮的含量

Table 3 Content of nitrogen in various fractions of humic substances in black soil

黑 土 Black soil	深度 (cm) Depth	胡敏酸 A Humic acid A		胡敏酸 B Humic acid B		富里酸 Fulvic acid		胡敏素 Humic Humin	
		mg/100g	% of TN	mg/100g	% of TN	mg/100g	% of TN	mg/100g	% of TN
荒地 Virgin	8—20	19.8	6.4	8.2	2.6	17.1	5.5	267	85.6
	20—70	13.7	7.4	5.5	2.9	13.6	7.3	153	82.4
	70—90	5.9	5.1	4.1	3.8	4.7	4.4	94	86.8
肥地 Fertile	0—20	13.6	6.0	8.2	3.6	8.2	3.6	200	87.0
	20—73	12.5	6.0	6.8	3.2	6.6	3.1	184	87.7
	73—	4.1	4.6	4.1	4.6	4.1	4.6	78	86.3
瘦地 Infertile	0—18	10.9	4.7	6.8	3.0	8.2	3.6	204	88.7
	18—58	10.9	5.4	4.1	2.0	5.5	2.7	181	89.8
	58—	5.5	3.9	4.1	2.9	—	—	130	93.1

注: TN 是代表总氮量。

在不同肥力水平的黑土中,胡敏酸 A 的氮含量在表土和心土层都是荒地 > 肥地 > 瘦地,在底土层则都较低而且相近似。Greenland^[5] 指出,胡敏酸 A 组的氮是由氨基酸和酚类化合物缩聚而成的。推测这组氮化物的降解产物在土壤氮循环和营养物质的调节中起着积极的作用。

富里酸中的氮,包括氨基酸氮,氨基酯氮和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 。它们在一定的水热条件下,经生物作用,可以转化成简单的氮化物,供植物吸收利用。表 3 中黑土的富里酸氮在表土和心土中的含量都是肥地比瘦地的高,标志着肥地提供氮肥的能力较瘦地的强。

胡敏酸 B 是与矿物结合,含氮丰富的有机物^[6],我们所获的结果表明、在所有的黑土中,表土的胡敏酸 B 的含量都比心土和底土的显著地高,土壤之间差异不明显,在心土中,肥地的胡敏酸 B 的含量显著地比荒地和瘦地的高,表明肥地氮的供氮潜力较大。

三个黑土土层中各组有机氮与土壤水解氮的相关性分析表明,呈极显著相关的有胡敏酸 A ($r = 0.996, P < 0.001$), 和胡敏素 ($r = 0.951, P < 0.001$)。呈显著相关的是胡敏酸 B ($r = 0.768, P$ 为 0.02)。表明黑土氮素的供应能力不仅与土壤全氮 ($r = 0.938, P < 0.001$) 而且也与有机氮中的各主要组分相关。

三、黑土中有机磷的形态及其含量变化

不同肥力水平的黑土中有机磷组分的含量变化列于表 4,从表中可以看出,活性磷组有机磷含量除肥地表土,瘦地表土和心土外,都比无机磷高;土层之间含量变化无明显规律;整个土层中的有机磷含量是荒地 > 肥地 > 瘦地;耕地表土有机磷很低,无机磷却很高,这可能是由于这一地区的黑土,在垦耕过程中长期施用化肥(包括磷)的缘故。三种黑土

表 4 黑土中无机磷、有机磷的形态及含量变化 ($\mu\text{g/g}$)

Table 4 The variations of amounts and status of inorganic P(IP) and organic P(OP) in black soils

黑 土 Black soil	深 度 (cm) Depth	活 性 磷 Active P		中 等 活 性 磷 Moderately active P		中 等 稳 定 性 磷 Moderately stable P		高 度 稳 定 性 磷 Highly stable P
		无 机 磷 IP	有 机 磷 OP	无 机 磷 IP	有 机 磷 OP	无 机 磷 IP	有 机 磷 OP	有 机 磷 OP
荒 地 Virgin	8—20	6.4	30.6	61	80	8	80	583
	20—70	9.2	39.8	76	100	46	135	438
	70—90	12.8	28.2	100	110	—	5	229
肥 地 Fertile	0—20	22.0	1.0	325	325	16	55	240
	20—73	12.4	45.6	45	60	24	40	110
	73—	8.6	23.4	58	30	32	160	220
瘦 地 Infertile	0—18	60.0	—	130	140	40	100	175
	18—58	52.0	—	110	110	40	155	150
	58—	10.8	41.2	40	60	32	115	113

各土层中,中等活性磷组无机磷组含量都较其它两组显著地高,有机磷的含量也较高,在表土层这组有机磷和无机磷的含量是肥地>瘦地>荒地。有机磷和无机磷在这一组富积,表明它们的来源除施用化肥外,很可能还来自中等或高度稳定性有机磷的降解和矿化。因为,从表4中可以看到高度稳定性有机磷的含量耕地较荒地明显地低。由于黑土中含有极其丰富的有机磷,因此,进一步研究这些有机磷的矿化自肥作用,具有一定的实践意义。耕地黑土中,中等活性磷组的上述特点在调节土壤磷肥供应能力方面所起的作用是值得进一步深入研究的。

小 结

1. 黑土荒地有机质含量高,主要养分含量比耕地(肥地和瘦地)多,全量碳、氮、磷的含量及有机磷贮量按下列顺序减少:荒地>肥地>瘦地。

2. 在适宜的耕作措施(包括深耕施有机肥)下,肥地营养物质的含量变化有如下特点:(1)有机碳的含量维持在较高的水平。(2)土壤熟化层加厚,胡敏酸A和富里酸含量心土层的比表土层的高。(3)心土层胡敏酸B和胡敏素组氮的含量较荒地和瘦地的高。(4)稳定性有机磷的矿化势能增加,高度稳定性有机磷减少,中等活性有机磷含量增加。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。科学出版社。
- [2] 邱凤琼、周礼恺、陈恩凤、丁庆堂、张志明、党连超, 1981: 东北黑土有机质和酶活性与土壤肥力的关系。土壤学报, 第18卷3期, 244—254页。
- [3] 邱凤琼、丁庆堂、党连超, 1979: 不同熟化黑土胡敏酸特性的研究。腐殖酸化学学术讨论会论文集, 13—19。
- [4] Acquaye, D. K., 1963: Some significance of soil organic phosphorus mineralization in the phosphorus nutrition of cocoa in Ghana. Plant and Soil, 19: 65—80.
- [5] Allison, F. E., 1973: A factor in soil aggregation and root development, Chapter 16, In "Soil Organic Matter and its Role in Crop Production". p 315—345.

- [6] Anderson, D. W., Pavl, E. A. and Arnaud, R. J., 1974: Extraction and characterization of humus with reference to clay-associated humus. *Can. J. Soil Sci.* 54: 317—323.
- [7] Anderson, D. W., Russell, D. B., Arnaud, R. J. ST. and Paul, E. A., 1974: A comparison of humic fractions of cherozemie and luvisolie soils by elemental analyses UV and ESR spectroscopy. *Can. J. Soil Sci.*, 54: 447—456.
- [8] Anderson, D. W., 1979: Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains. *J. Soil Sci.*, 30: 77—84.
- [9] Bowman, R. A. and Cole, C. V., 1978: An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Sci.*, 125: 95—100.
- [10] Bremner, J., 1959: Determination of fixed ammonium in soil. *J. Agr. Sci.*, 52: 147.
- [11] Campbell, C. A., Paul, E. A., Rennie, D. A. and Mecalum, K. J., 1967: Applicability of the carbon-dating method of analysis to soil humus studies. *Soil Sci.*, 104: 217—224.
- [12] Campbell, L. B. and Racl, G. J., 1975: Organic and inorganic P content movement and mineralization of P in soil beneath a feedlot. *Can. J. Soil Sci.*, 55: 457—466.
- [13] Dormaar, J. F., 1975: Susceptibility of organic matter of chernozmic Ah horizons to biological decomposition. *Can. J. Soil Sci.*, 55: 473—480.
- [14] Enwezor, W. O., 1967: Significance of the C: organic P ratio in the mineralization of soil organic phosphorus. *Soil Sci.*, 103: 62—66.
- [15] Greenland, D. J., 1965: Interaction between clays and organic compounds in soils. Part II Adsorption of soil organic compounds and its effect on soil properties. 28: 521—532.
- [16] Jenkinson, D. S. and Rayner, J. H., 1977: The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.*, 123: 298—305.
- [17] Pearson, R. W. and Simonson, R. W., 1939: Soil phosphorus and soil organic matter organic phosphorus in seven *Ioma* soil profiles: distribution and amounts as compared to organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 4: 162—167.
- [18] Rogers, H. T., Pearson, R. W. and Pierre, N. H., 1940: Absorption of organic phosphorus by corn and tomato plants and the mineralizing action of Exo-enzyme systems of growing roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 5: 258—291.
- [19] Saunders, W. M. H. and Williams, E. G., 1955: Observations on the determination of total organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 6: 254—267.
- [20] Stevenson, F., Dhariwal, A., Choudri, M., 1958: Further evidence for naturally occurring fixed ammonium in soils. *Soil Sci.*, 85: 42.
- [21] Thompson, L. M. and Black, C. A., 1949: The mineralization of organic, P, N and C in clarion and webster soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 14: 147—151.

THE FORMS AND DISTRIBUTION OF ORGANIC C,N AND P OF BLACK SOILS IN RELATION TO THEIR FERTILITY

Qiu Fengqiong, Ding Qingtang and Dang Lianchao

(Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica)

Summary

The present paper deals with forms of organic C, N and P and their distribution, as well as their supplying capacities of the nutrients in three black soils with different fertilities (virgin, fertile and infertile black soils).

The contents of organic matter and major nutrient elements in virgin black soil are more than those in cultivated soils including both fertile and infertile black soils. The content of total C, N, P and organic P decreases in the following sequence: virgin soil > fertile soil > infertile soil.

Under reasonable cultivation, fertile soil applied with organic manure is characterized by: (1) higher content of organic C and thick cultivated layer; (2) more humic acid A and fulvic acid in subsoil than those in surface soil; (3) more humic acid B and humin N in subsoil of fertile soil than those in subsoil of virgin and infertile soils; and (4) decrease of highly stable organic P and increase of moderately active organic P. These characters mentioned above indicate the greater potential and supplying capacity of major nutrients of fertile black soil.