

黑土的酶活性

周礼恺 张志明 陈恩凤

(中国科学院林业土壤研究所)

近年来,土壤的熟化实质问题引起了人们越来越大的注意。这主要是因为,揭示土壤的熟化实质,有助于定向地培肥土壤和有效地调控土壤肥力的演变进程。1978年,我们在先前工作的基础上,进一步对不同开垦年限、不同熟化度黑土的熟化实质问题进行了研究。本文着重讨论黑土的酶活性及其与土壤腐殖物质和其他肥力因素的相关性。

一、材料与方 法

供试土壤包括16个普通黑土样品和3个草甸黑土样品。它们分别取自:(1)黑龙江省九三农场(深厚普通黑土):荒地(0—30, 30—48, 48厘米以下);1964年开垦地(0—27厘米);1952年开垦地(0—25厘米);1950年开垦地(0—25厘米);四十年代开垦地(肥地, 0—25厘米);四十年代开垦地(瘦地, 0—25厘米)。(2)黑龙江省巴颜县(中厚普通黑土):肥地(0—23, 23—41, 41—66厘米);瘦地(0—25, 25—47, 47—64厘米)。(3)吉林省怀德县(浅层普通黑土):肥地(0—15厘米);瘦地(0—22厘米)。(4)黑龙江省友谊农场(草甸黑土):荒地(0—22厘米);1960年开垦地(0—23厘米);1956年开垦地(0—25厘米)。

测定项目及方法为:脲酶用 Hoffmann G. 和 Teicher K. 法^[5];转化酶用 Hofmann E. 和 Seegerer A. 法^[3];中性及碱性磷酸酶用 Hoffmann G. 法^[4];过氧化氢酶用 Кацнельсон P. C. 和 Ершов В.В. 法^[12];多酚氧化酶用 Галстян А. Ш 法^[14]。

二、结果与讨论

(一) 酶活性与土壤腐殖物质和其他肥力因素的相关性

过氧化氢酶 过氧化氢酶是一种分布最广的酶;它能促进过氧化氢对于各种化合物的氧化。很早以来,人们就对它进行了许多的研究^[7,10,17,18]。

我们的研究表明(表1),过氧化氢酶的活性与土壤的碳、氮、磷状况和吸收容量有关;它亦与转化酶的活性呈显著的正相关。这说明,过氧化氢酶的活性不仅与土壤的呼吸强度和微生物的数量有关,而且对土壤的碳、氮转化也有一定的作用。

多酚氧化酶 多酚氧化酶能酶促多元酚的氧化。它在芳香族有机化合物转化为腐殖物质的过程中起着重要的作用。

在我们的研究中,与多酚氧化酶呈显著相关的有 C/N 和胡敏酸/富里酸(表2)。这

表 1 过氧化氢酶与其他土壤因素的相关性
Table 1 Relationship between catalase and other soil factors

变 量 Variable	r
过氧化氢酶与 C/N Catalase and C/N	-0.59*
过氧化氢酶与胡敏酸/富里酸 Catalase and humic acid/fulvic acid	-0.52*
过氧化氢酶与钙结合的胡敏酸 Catalase and humic acid combined with calcium	0.76**
过氧化氢酶与全氮 Catalase and total nitrogen	0.71**
过氧化氢酶与水解氮 Catalase and hydrolyzable nitrogen	0.66**
过氧化氢酶与全磷 Catalase and total phosphorous	0.54*
过氧化氢酶与阳离子代换量 Catalase and cation exchange capacity	0.69**
过氧化氢酶与盐基饱和度 Catalase and percentage of base saturation	0.53*
过氧化氢酶与转化酶 Catalase and invertase	0.87**

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

表 2 多酚氧化酶与其他土壤因素的相关性
Table 2 Relationship between polyphenol oxidase and other soil factors

变 量 Variable	r
多酚氧化酶与 C/N Polyphenol oxidase and C/N	-0.78**
多酚氧化酶与胡敏酸/富里酸 Polyphenol oxidase and humic acid/fulvic acid	-0.56*
多酚氧化酶与盐基饱和度 Polyphenol oxidase and percentage of base saturation	0.49*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

说明, 多酚氧化酶是一种较为专性的酶; 它与土壤腐殖物质的腐殖化程度呈负相关。

转化酶 转化酶是研究得最多的一种土壤酶, 因为土壤的肥力水平和生物学活性强度以及各种农业措施对于土壤的熟化作用, 在转化酶的活性上, 比其他酶的活性反映得更为明显^[3,6,11,13,16]。

我们的研究表明(表 3), 转化酶的活性与土壤的碳、氮状况显著相关, 它与中性磷酸酶和过氧化氢酶有相互促进的作用。

应该指出的是, 在有关文献中, 仅指出了转化酶能调节各种碳水化合物的合成与分解, 而没有谈到它与土壤氮素状况的关系^[3,6,13]。至于它与磷酸酶活性的关系, 一些研究者指出, 当土壤速效磷量大于 20—25 毫克/100 克时, 转化酶活性有所减弱^[11,16] (而土壤速效

表 3 转化酶与其他土壤因素的相关性

Table 3 Relationship between invertase and other soil factors

变 量 Variable	r
转化酶与 C/N Invertase and C/N	-0.81**
转化酶与胡敏酸/富里酸 Invertase and humic acid/fulvic acid	-0.71**
转化酶与富里酸 Invertase and fulvic acid	0.72**
转化酶与活性胡敏酸 Invertase and active humic acid	0.53*
转化酶与钙结合的胡敏酸 Invertase and humic acid combined with calcium	0.60**
转化酶与全氮 Invertase and total nitrogen	0.71**
转化酶与阳离子代换量 Invertase and cation exchange capacity	0.83**
转化酶与中性磷酸酶 Invertase and neutral phosphatase	0.79**

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

磷量与磷酸酶活性有一定的负相关)。在我们研究的土壤中,速效磷量远低于 20—25 毫克/100 克。看来,在一定速效磷量范围内,转化酶与磷酸酶有相互促进的作用。

脲酶 脲酶是一种酰胺酶,能酶促有机物质分子中碳氮键(CO—NH)的水解。Conrad J. P.^[1], Hofmann E. 和 Schmidt W.^[2], Коерф Н.^[6], Галстян А. Ш.^[12]等对脲酶进行了很多研究。

我们的研究表明(表 4),土壤的碳、氮、磷状况均与脲酶活性有关。可能这是因为土壤脲酶的极大部分主要与腐殖质凝胶结合在一起,从而有较大的稳定性。

表 4 脲酶与其他土壤因素的相关性

Table 4 Relationship between urease and other soil factors

变 量 Variable	r
脲酶与腐殖质总量 Urease and total amount of humus	0.67**
脲酶与钙结合的胡敏酸 Urease and humic acid combined with calcium	0.59*
脲酶与胡敏素 Urease and humin	0.66**
脲酶与全氮 Urease and total nitrogen	0.54*
脲酶与全磷 Urease and total phosphorous	0.51*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

磷酸酶 磷酸酶能酶促有机磷化合物的水解。许多学者研究了土壤的磷酸酶活性,但文献中有许多互相矛盾的报道和解释^[8,9,19]。

我们的研究表明(表 5, 6),磷酸酶的活性不仅与土壤的磷素状况显著相关,而且也

与碳、氮状况有很大的关系。但在我们的工作中,不曾发现磷酸酶活性与有效磷量呈明显的负相关。看来,认为施用矿质磷肥会减弱磷酸酶活性的说法,至少对黑土说来,不一定是正确的。

表 5 碱性磷酸酶与其他土壤因素的相关性

Table 5 Relationship between alkaline phosphatase and other soil factors

变 量 Variable	r
碱性磷酸酶与 C/N Alkaline phosphatase and C/N	-0.81**
碱性磷酸酶与钙结合的胡敏酸 Alkaline phosphatase and humic acid combined with calcium	0.76**
碱性磷酸酶与全氮 Alkaline phosphatase and total nitrogen	0.84**
碱性磷酸酶与水解氮 Alkaline phosphatase and hydrolyzable nitrogen	0.57*
碱性磷酸酶与全磷 Alkaline phosphatase and total phosphorous	0.54*
碱性磷酸酶与阳离子代换量 Alkaline phosphatase and cation exchange capacity	0.69**

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

表 6 中性磷酸酶与其他土壤因素的相关性

Table 6 Relationship between neutral phosphatase and other soil factors

变 量 Variable	r
中性磷酸酶与腐殖质总量 Neutral phosphatase and total amount of humus	0.67**
中性磷酸酶与胡敏酸 Neutral phosphatase and humic acid	0.52*
中性磷酸酶与富里酸 Neutral phosphatase and fulvic acid	0.81**
中性磷酸酶与活性胡敏酸 Neutral phosphatase and active humic acid	0.79**
中性磷酸酶与胡敏素 Neutral phosphatase and humin	0.60*
中性磷酸酶与全氮 Neutral phosphatase and total nitrogen	0.85**
中性磷酸酶与水解氮 Neutral phosphatase and hydrolyzable nitrogen	0.54*
中性磷酸酶与阳离子代换量 Neutral phosphatase and cation exchange capacity	0.68**
中性磷酸酶与物理性粘粒 Neutral phosphatase and physical clay	-0.56*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

从上面的相关性分析中,我们可以看出:

1. 在测定的六种酶中,大部分的酶均与土壤有机质或其组分显著相关。这说明,它们

的活性可作为有机质状况的指标。

2. 多酚氧化酶与 C/N 及胡敏酸/富里酸呈显著的负相关,表明它的活性可用来表征腐殖物质的腐殖化程度。

3. 转化酶与土壤的碳、氮状况显著相关,说明它的活性可在一定程度上用来表征土壤的熟化程度。

4. 不同的土壤酶间存在着一定的相关性。过氧化氢酶与转化酶、转化酶与磷酸酶间均有一定的相互促进作用。

(二) 不同熟化度的黑土中土壤的酶活性

我们的测定表明(表 7),在肥力水平较高的土壤里,过氧化氢酶、转化酶和脲酶的活性均高于肥力水平较低的土壤(仅中厚黑土的脲酶活性例外);多酚氧化酶和磷酸酶的活性则相反。众多的文献资料也证实了这一点。这些现象,我们在前面的相关性分析中曾进行过讨论,这里不再赘述。

表 7 不同熟化度的黑土中土壤的酶活性

Table 7 Soil enzymatic activities in black soils with different degree of mellowing fertility

土 壤 Soils	深厚黑土 Thick black soil		中厚黑土 Moderately thick black soil		薄层黑土 Thin black soil	
	肥地 Fertile	瘦地 Infertile	肥地 Fertile	瘦地 Infertile	肥地 Fertile	瘦地 Infertile
深度 (cm) Depth	0—25	0—25	0—23	0—25	0—15	0—22
过氧化氢酶 (0.1N KMnO ₄ ml/g) Catalase	4.2	3.6	3.5	3.15	5.1	4.9
多酚氧化酶 (Purpurogal lin mg/g) Polyphenol oxidase	0.38	0.94	0.41	0.44	0.36	0.94
转化酶 (0.1N Na ₂ S ₂ O ₃ ml/g) Invertase	6.69	5.28	8.03	6.51	8.04	6.98
脲酶 (NH ₃ -N mg/g) Urease	56.00	23.50	33.25	40.75	40.50	33.00
碱性磷酸酶 (phenol mg/g) Alkaline phosphatase	3.75	5.35	4.30	5.00	0.13	3.76
中性磷酸酶 (phenol mg/g) Neutral phosphatase	7.10	7.65	8.55	8.95	2.85	4.85

(三) 不同土层深度的土壤酶活性

图 1, 2 和 3 分别表示了深厚普通黑土(荒地)和中厚普通黑土(肥地及瘦土)中土壤酶活性随土层深度的变化。

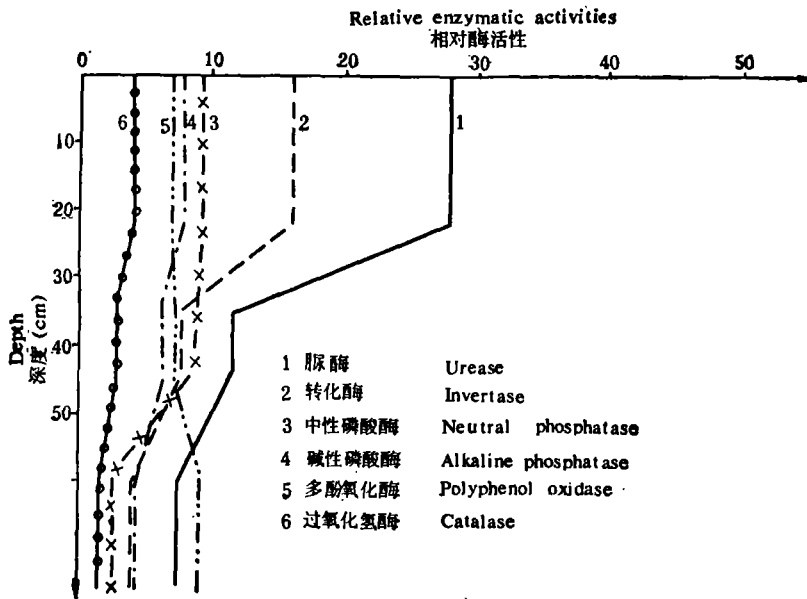


图 1 深厚黑土(荒地)不同土层深度的土壤酶活性

Fig. 1 Soil enzymatic activities in different depths of thick black soil (virgin land)

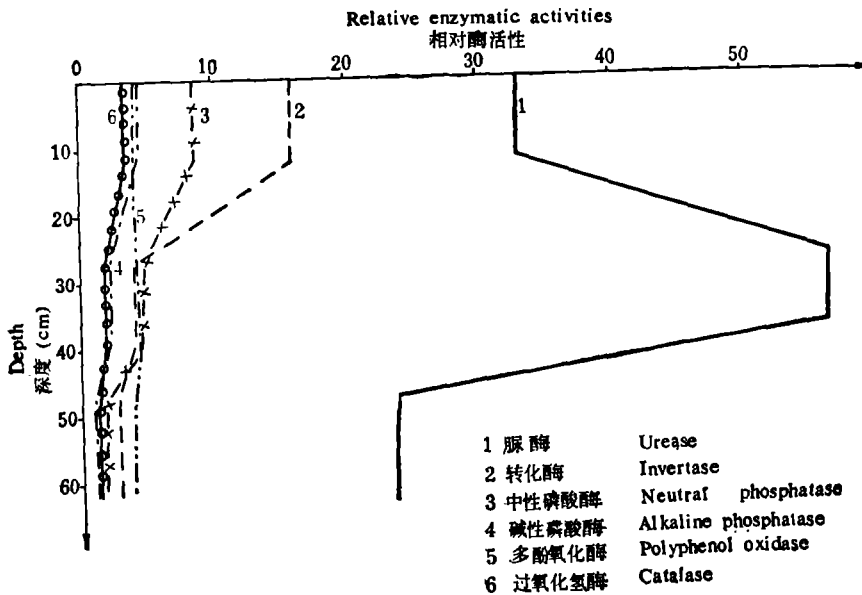


图 2 中厚黑土(肥地)不同土层深度的土壤酶活性

Fig. 2 Soil enzymatic activities in different depths of moderately thick black soil (fertile land)

除多酚氧化酶外,其他酶的活性均随土层深度而减弱。在中厚普通黑土的肥地里,由

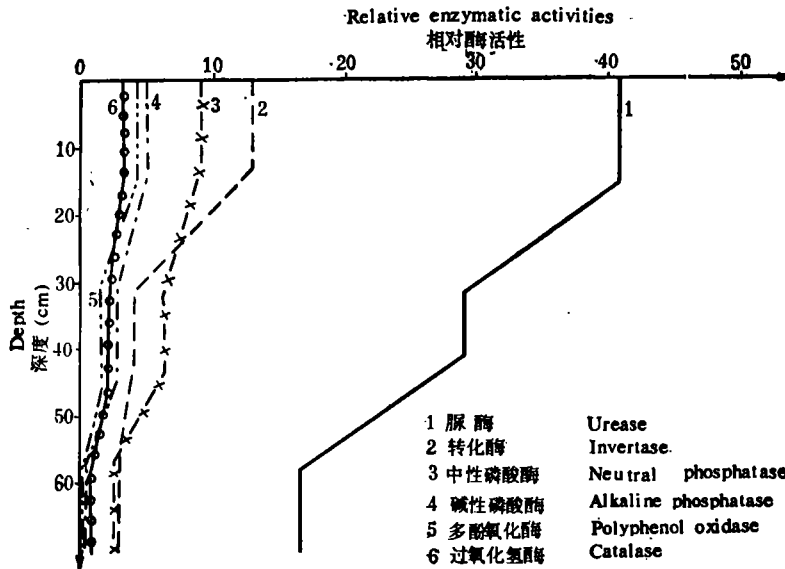


图 3 中厚黑土(瘦地)不同土层深度的土壤酶活性

Fig. 3 Soil enzymatic activities in different depths of moderately thick black soil (infertile land)

于定期深翻和连年施用大量厩肥,所以 23—40 厘米土层中的脲酶活性较高。

三、结 束 语

土壤中的一切生物化学过程,都是在酶的参与下进行的。土壤酶的活性,反映了土壤中进行的各种生物化学过程的方向和强度。许多学者在鉴别土壤的生物学活性时,非常重视土壤酶的作用强度;一些学者还探讨了用土壤酶活性作为判断土壤熟化程度的指标的可能性。

目前,对土壤酶活性能否作为土壤肥力的指标问题还存在着争议。从我们的结果来看,至少对黑土说来,用它表征土壤肥力因素的状况和熟化程度似乎是可行的。当然,它只是一种辅助指标(因为目前对于土壤酶在土壤主要营养物质循环中的作用问题还研究得很不充分)。此外,不能根据个别酶的活性来判断土壤的熟化程度。对此,需要研究与土壤主要肥力因素有关的、分布最广的酶的总体(我们的工作表明,在各种酶的活性间,存在着一定的相关性)。我们深信,在研究耕作土壤的熟化实质、定向地培肥土壤和有效地调控土壤肥力的演变进程方面,土壤酶学的研究是一项不可或缺的工作。

参 考 文 献

- [1] Conrad, J. P., 1940: The nature of the catalyst causing the hydrolysis of urea in soils. *Soil Sci.*, 50: 119—134.
- [2] Hofmann, E. and Schmidt, W., 1953: Über das enzymesystem unserer Kulturböden. II. Urease. *Biochem. Z.*, 324: 125—127.
- [3] Hofmann, E. and Seegerer, A., 1951: Über das enzymesystem unserer Kulturböden. I. Saccharase. *Biochem. Z.*, 322: 174—179.
- [4] Hoffmann, G., 1967: Eine photometrische methode zur bestimmung der phosphatase-aktivität im

- Boden. Z. Pflanzenernähr. Düng., Bodenk., 118: 161—172.
- [5] Hoffmann, G. and Teicher, K., 1961: Ein kolorimetrisches verfahren zur bestimmung der urease-aktivität im böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 95: 55—63.
- [6] Koepef, H., 1954: Experimenteller beitrage zur bodenbeurteilung mittels biochemischer reaktionen I. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 67: 262—270.
- [7] König, J., Hasenbäumer, I. and Coppenrath, E., 1906: Einige neue eigenschaften des ackerbodens. Landw. Versuchsstat., 63: 471—478.
- [8] Kramer, M., 1957: Phosphatase-enzym-aktivität als anzeiger des biologischnutzbaren phosphors im böden. Naturwissenschaften, 44: 13.
- [9] Rogers, H. T., 1942: Dephosphorylation of organic phosphorus compounds by soil catalysts. Soil Sci., 54: 439—446.
- [10] Scharrer, K., 1928: Katalytische eigenschaften der böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 12: 323—329.
- [11] Власюк, П. А., Добротворская, К. М. и Гордиенко, С. А., 1959: Активность ферментов в ризосфере сельскохозяйственных растений. Науч. Труд. Укр. ин-та физиологии растений. 20: 12—17.
- [12] Галстян, А. Ш., 1958: Ферментативная активность некоторых типов почв Армении IV. Об активности уреазы в почве. Докл. АН Арм ССР, 26: 29—32.
- [13] Галстян, А. Ш., 1963: К изучению биологической активности почвы. Докл. АН Арм ССР, 37: 89—93.
- [14] Галстян, А. Ш., 1974: Ферментативная активность почв Армении. «Айастан», Ереван.
- [15] Кацнельсон, Р. С. и Ершов, В. В., 1958: Исследование микрофлоры целинных и окультуренных почв Карельской АССР II. Микробиология, 27: 82—88.
- [16] Купревич, В. Ф., 1951: Биологическая активность почвы и методы её определения. Докл. АН СССР, 79: 863—866.
- [17] Купревич, В. Ф., 1953: Выступление на конференции. Труд. конференции по почвенной микробиологии, 124—126.
- [18] Куртяков, Н. И., 1931: К характеристике каталитической силы почв. Почвоведение, №3, 34—48.
- [19] Соколов, Д. Ф., 1948: О наличии некоторых органических соединений фосфора в почвах. Почвоведение, №8, 502—513.

ENZYMATIC ACTIVITIES IN BLACK SOILS

Zhou Li-kai, Zhang Zhi-ming and Chen En-feng

(Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica)

Summary

In this paper, the activities of enzymes (catalase, polyphenol oxidase, invertase, urease, alkaline and neutral phosphatases) in black soils with different fertility and the correlations between enzymatic activities on the one hand and soil humic substances and other elements of fertility on the other hand are discussed. It has been shown that:

1. Among six kinds of enzymes tested, most of the enzymes have significant correlation with soil organic matter or its components. Their activities can be used as an index to characterize the contents and status of organic matter. Polyphenol oxidase has negative significant correlation with C/N and humic acid/fulvic acid. Its activity characterizes the humification degree of humic substances. The activities of various kinds of enzymes characterize specifically or compositely the soil carbon, nitrogen and phosphorous status, cation exchange capacity and aeration status. In addition, there are some definite correlations among various kinds of soil enzymes.

2. In black soils with higher fertility, the activities of catalase, invertase and urease are intenser and those of polyphenol oxidase and phosphatase are weaker than those in soils with lower fertility. It means that the activities of the former three kinds of enzymes can be used to characterize the level of soil fertility to a certain extent, and those of the latter two kinds of enzymes have a negative correlation with the humification degree of humic substances.

3. The activities of soil enzymes (except that of polyphenol oxidase) are weakened with the depth of soil.

It seems that as for black soils, enzymatic activities can be used as a supplementary index to characterize the degree of soil cultivation.