

## 高寒草甸土壤脲酶活性的研究\*

杨 涛 李玉英

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁)

### 摘 要

高寒草甸是青藏高原分布广、面积大的主要草场类型。我们于1984年6—10月在海拔高寒草甸生态系统定位站, 对四种植被类型土壤的脲酶活性进行了测定, 数据列于表1。试验结果表明: (1) 脲酶活性有明显的季节性动态, 脲酶活性出现的高峰期均在7月和8月份, 9月以后随温度的下降而逐渐降低; (2) 脲酶活性也有明显的层次性差异, 0—10厘米深土壤脲酶活性最高, 并随土壤深度的加深而递减; (3) 脲酶活性与某些氮素代谢微生物的数量有不同程度的相关性; (4) 脲酶活性与某些氮素代谢微生物的生化活性也有一定的相关性; (5) 脲酶活性与土壤温度具有一定的相关性; (6) 脲酶活性与月降水量也相关, 高寒草甸的不同植被类型土壤脲酶活性的季节性变化有所不同, 并且与氮素代谢微生物的数量及活性的相关性也有差异, 与土壤温度和降水量的相关程度也不一样。

关于土壤脲酶活性的研究, 国外已有不少报道。在国内也有一些学者对土壤脲酶活性进行过研究<sup>[1-6]</sup>。但对青藏高原高寒草甸土壤的脲酶活性的研究, 目前尚未见报道, 因为脲酶是氮循环的一种关键酶, 与土壤肥力有关。本文对高寒草甸四种植被类型土壤的脲酶活性进行了初步的研究。

### 材料和方法

土壤样品分别采自海拔生态系统定位站的矮蒿草草甸 (*Kobresia humilis* meadow), 金露梅灌丛 (*Dasiphora fruticosa* shrub), 垂穗披碱草草甸 (*Elymus nutans* meadow) 和杂类草草甸 (Forbs meadow)。深度为0—10、10—20、20—40、40—60厘米。每个样点三点取样混合为一, 同时测定土壤水分。样品带回实验室进行分析。

土壤脲酶活性用奈氏比色法测定 (郑洪元等, 1982)

脲酶活性是用1克土壤在37℃下培养48小时释放出的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的毫克数表示。

氨化细菌的计数, 采用营养琼脂平板法。硝化细菌的计数, 采用稀释法 (铃木達彦ウ, 1979), 重复3次。反硝化菌计数, 采用Giltay培养基, 用稀释法计数, 重复3次。

嫌气性自生固氮菌的计数, 采用依姆彩夫半固体培养基, 用稀释法进行计数, 重复3次。

氨化作用活性采用波爽氏培养基奈氏试剂显色, 在490毫微米波长下进行比色测定, 重复3次。

硝化作用活性的测定, 用测定硝化作用强度的培养基 (铃木達彦ウ, 1979), 用酚二磺酸显色, 在420毫微米波长下进行比色测定。

嫌气性固氮作用活性用维诺格拉德斯基无氮培养基、比色法进行测定。

\* 本文经李家藻先生指导和修改, 特此致谢。  
本文于1985年4月11日收到。

## 结果和讨论

### 1. 高寒草甸土壤脲酶活性的季节性动态

四种植被类型 0—60 厘米土壤的平均脲酶活性见图 1, 从图 1 可以看出高寒草甸土壤脲酶活性有明显的季节性变化。矮嵩草草甸和全露梅灌丛均以 7 月份为高, 10 月较低; 垂穗披碱草草甸和杂类草草甸均以 8 月份为高, 前者 6 月低, 后者 10 月低。植被类型不同, 脲酶活性及其季节性变化也不相同。7—8 月份脲酶活性高的原因, 可能与高寒草甸 7—8 月的温度、降水量等气候条件有关。此期微生物的活性也较高。

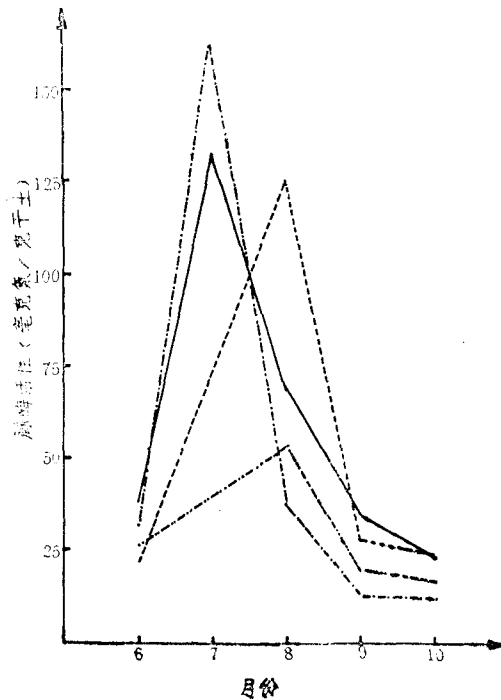


图 1 1984 年 6—10 月高寒草甸 0—60 厘米土壤平均脲酶活性的季节性动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of average urease activity from 0 to 60cm depth soil of the alpine meadow from June to October in 1984.

- 矮嵩草草甸 *Kobresia humilis* meadow
- 金露梅灌丛 *Dasiphora fruticosa* shrub
- ....垂穗披碱草草甸 *Elymus nutans* meadow
- · - · - 杂类草草甸 Forbs meadow

草甸的脲酶活性与反硝化菌的数量相关性显著 ( $R^2 = 0.8122$ ); 杂类草草甸的脲酶活性与氨化菌的数量有显著的相关性 ( $R^2 = 0.8603$ ), 与硝化菌数量的相关性次之, 与反硝化菌的数量不相关 ( $R^2 = 0.0902$ )。看来不同生理群的氮素代谢微生物数量与脲酶活性的相关性, 不仅受不同植被的影响, 就是同一种氮素代谢微生物的数量与脲酶活性的相关性也因植被类型不同而有差异。例如, 脲酶活性与嫌气性自生固氮菌的相关性, 在矮嵩草草甸中的相关指数为 0.9998; 在全露梅灌丛中的相关指数为 0.7563; 在杂类草草甸中的相关指数为

### 2. 高寒草甸土壤脲酶活性的层次性差异

高寒草甸 0—60 厘米土壤脲酶活性见表 1, 平均脲酶活性见图 2, 表明四种植被类型土壤的脲酶活性均有显著的层次性差异, 都以 0—10 厘米土壤的脲酶活性为最高, 随着土壤深度的加深而递减。这与高寒草甸土壤的微生物数量及活性均以表层土为高, 同时随着土壤深度的加深而递减的层次性差异是一致的。植被类型不同, 酶活性也有差异, 在四个植被类型中, 以矮嵩草草甸土壤的脲酶活性为最高, 杂类草草甸土壤的脲酶活性较低。

### 3. 高寒草甸土壤脲酶活性与氮素代谢微生物数量的关系

将高寒草甸 0—10 厘米土壤的脲酶活性与氮素代谢微生物数量 (见表 2) 进行了二次多项式回归分析, 数据列于表 3, 可以看出四种植被类型土壤的脲酶活性, 都在不同程度上分别与某些氮素代谢微生物的数量相关, 也有个别的不相关。植被类型不同, 其相关性也有差异。矮嵩草草甸土壤的脲酶活性与反硝化菌数量及嫌气性自生固氮菌的数量有显著的相关性 (前者  $R^2 = 0.9330$ , 后者  $R^2 = 0.9998$ ); 金露梅灌丛的脲酶活性与嫌气自生固氮菌的数量相关性较显著 ( $R^2 = 0.7563$ ); 垂穗披碱草

草甸的脲酶活性与反硝化菌的数量相关性显著 ( $R^2 = 0.8122$ ); 杂类草草甸的脲酶活性与氨化菌的数量有显著的相关性 ( $R^2 = 0.8603$ ), 与硝化菌数量的相关性次之, 与反硝化菌的数量不相关 ( $R^2 = 0.0902$ )。看来不同生理群的氮素代谢微生物数量与脲酶活性的相关性, 不仅受不同植被的影响, 就是同一种氮素代谢微生物的数量与脲酶活性的相关性也因植被类型不同而有差异。例如, 脲酶活性与嫌气性自生固氮菌的相关性, 在矮嵩草草甸中的相关指数为 0.9998; 在全露梅灌丛中的相关指数为 0.7563; 在杂类草草甸中的相关指数为

表 1 高寒草甸土壤的脲酶活性

Table 1 Urease activities in the soil of the alpine meadow.

| 植被类型                                         | 土壤深度<br>(厘米) | 脲酶活性 (毫克氮/克干土) |        |        |        |       |
|----------------------------------------------|--------------|----------------|--------|--------|--------|-------|
|                                              |              | 6 月            | 7 月    | 8 月    | 9 月    | 10 月  |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i><br>meadow   | 0—10         | 60.97          | 349.53 | 176.70 | 107.95 | 64.30 |
|                                              | 10—20        | 39.98          | 168.35 | 55.62  | 20.44  | 15.13 |
|                                              | 20—40        | 33.23          | 9.00   | 24.11  | 4.37   | 6.40  |
|                                              | 40—60        | 19.69          | 2.17   | 15.38  | 2.06   | 5.85  |
| 金露梅灌丛<br><i>Dasiphora fruticosa</i><br>shrub | 0—10         | 94.33          | 247.89 | 134.70 | 40.58  | 33.65 |
|                                              | 10—20        | 16.15          | 242.89 | 7.32   | 5.12   | 6.57  |
|                                              | 20—40        | 11.32          | 96.76  | 6.65   | 2.57   | 6.44  |
|                                              | 40—60        | 4.01           | 58.20  | 2.40   | 1.84   | 1.09  |
| 垂穗披碱草草甸<br><i>Elymus nutans</i><br>meadow    | 0—10         | 47.10          | 169.41 | 376.91 | 82.33  | 33.31 |
|                                              | 10—20        | 21.02          | 83.88  | 63.93  | 14.25  | 25.72 |
|                                              | 20—40        | 14.26          | 64.46  | 51.55  | 9.14   | 18.84 |
|                                              | 40—60        | 3.66           | 7.41   | 5.83   | 5.72   | 14.21 |
| 杂类草草甸<br>Forbs meadow                        | 0—10         | 24.94          | 88.48  | 82.83  | 48.08  | 24.75 |
|                                              | 10—20        | 39.43          | 38.82  | 48.36  | 14.14  | 17.00 |
|                                              | 20—40        | 24.86          | 20.41  | 65.11  | 12.99  | 13.39 |
|                                              | 40—60        | 16.12          | 10.13  | 12.03  | 4.44   | 11.52 |

0.6129; 在垂穗披碱草草甸中的相关指数为 0.1915。

#### 4. 高寒草甸土壤的脲酶活性与氮素代谢微生物的生化活性的关系

高寒草甸 0—10 厘米土壤中脲酶活性与氮素代谢微生物的生化活性的相关分析的数据 (表 4) 表明: 在矮嵩草草甸中脲酶活性与氨化作用的相关性显著 ( $R^2 = 0.9681$ ); 在金露梅灌丛中, 杂类草草甸中及垂穗披碱草草甸中也都是与氨化作用的相关性显著 ( $R^2$  值分别为: 0.9387, 0.9309, 0.7074); 四种植被类型土壤中的脲酶活性与硝化作用活性的相关性以金露梅灌丛较显著 ( $R^2 = 0.8743$ ), 以垂穗披碱草草甸的相关性为差 ( $R^2 = 0.2869$ ); 四种植被类型土壤中的脲酶活性与嫌气性固氮作用活性的相关性均为低 ( $R^2$  值分别为 0.4856, 0.2386, 0.1318, 0.0372)。为什么高寒草甸土壤的脲酶活性和氨化作用活性的相关性显著而与嫌气性固氮作用活性的相关性不显著? 原因尚不清楚, 有待进一步的研究。

#### 5. 高寒草甸土壤脲酶活性与土壤温度的关系

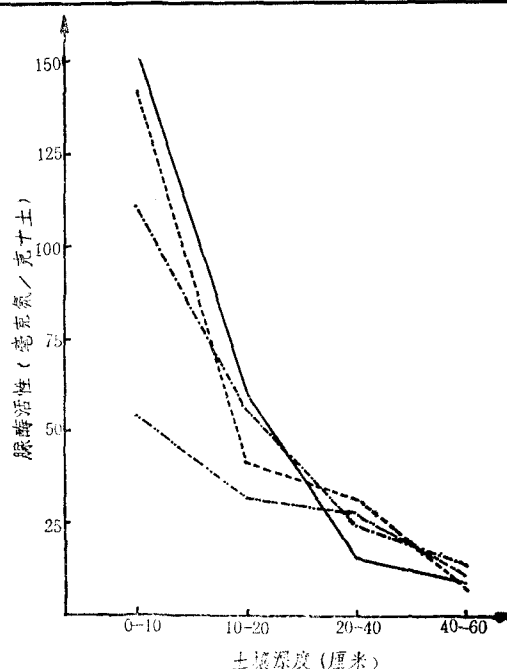


图 2 高寒草甸不同深度土壤 1984 年 6—10 月份平均脲酶活性

Fig. 2 Average urease activity from June to October in the soil of the different depth at the alpine meadow in 1984

——矮嵩草草甸 *Kobresia humilis* meadow  
 - - - - - 金露梅灌丛 *Dasiphora fruticosa* shrub  
 ..... 垂穗披碱草草甸 *Elymus nutans* meadow  
 - · - · - 杂类草草甸 Forbs meadow

表 2 高寒草甸0—10厘米深土壤的氮素代谢微生物数量

Table 2 Number of nitrogen metabolic microorganisms in the soil (0—10cm) of the alpine meadow

| 植被类型                                                | 微生物类群  | 数量单位<br>(个细胞/克干土) | 微生物数量    |          |        |        |         |
|-----------------------------------------------------|--------|-------------------|----------|----------|--------|--------|---------|
|                                                     |        |                   | 6 月      | 7 月      | 8 月    | 9 月    | 10 月    |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i><br>meadow          | 氨化细菌   | 10 <sup>7</sup>   | 1.9930   | 2.0648   | 2.5906 | 1.8311 | 1.1429  |
|                                                     | 硝化细菌   | 10 <sup>3</sup>   | 3.3803   | 5.3400   | 6.2231 | 2.8912 | 1.9935  |
|                                                     | 反硝化细菌  | 10 <sup>7</sup>   | 4.0563   | 2002500  | 6.2231 | 0.2024 | 1.9935  |
|                                                     | 嫌气性固氮菌 | 10 <sup>5</sup>   | 4.7324   | 146.8500 | 0.1936 | 6505.2 | 5.9805  |
| 金露梅灌丛<br><i>Dasiphora</i><br><i>fruticosa</i> shrub | 氨化细菌   | 10 <sup>7</sup>   | 3.4956   | 2.5985   | 1.9627 | 1.7914 | 1.4487  |
|                                                     | 硝化细菌   | 10 <sup>3</sup>   | 28.6860  | 35.2200  | 4.0220 | 1.0077 | 0.4643  |
|                                                     | 反硝化细菌  | 10 <sup>7</sup>   | 81960000 | 3.5220   | 0.0241 | 0.2463 | 13.9297 |
|                                                     | 嫌气性固氮菌 | 10 <sup>5</sup>   | 1.3319   | 2.5828   | 0.7240 | 3.1349 | 2.0430  |
| 垂穗披碱草草甸<br><i>Elymus nutans</i><br>meadow           | 氨化细菌   | 10 <sup>7</sup>   | 3.2396   | 3.5832   | 2.6305 | 1.0969 | 0.9150  |
|                                                     | 硝化细菌   | 10 <sup>3</sup>   | 62.4600  | 63.3150  | 6.6606 | 2.8126 | 2.6406  |
|                                                     | 反硝化细菌  | 10 <sup>7</sup>   | 152.6800 | 281400   | 2.2002 | 0.0633 | 0.5914  |
|                                                     | 嫌气性固氮菌 | 10 <sup>5</sup>   | 3.2396   | 3.5832   | 2.6305 | 1.0969 | 0.9150  |
| 杂类草草甸<br>Forbs meadow                               | 氨化细菌   | 10 <sup>7</sup>   | 0.4654   | 2.8379   | 3.8100 | 2.9422 | 1.8368  |
|                                                     | 硝化细菌   | 10 <sup>3</sup>   | 1.3238   | 14.9600  | 6.1673 | 3.5137 | 1.9587  |
|                                                     | 反硝化细菌  | 10 <sup>7</sup>   | 0.0290   | 0.0612   | 2.7410 | 0.0155 | 3.9174  |
|                                                     | 嫌气性固氮菌 | 10 <sup>5</sup>   | 0.1533   | 20.4000  | 2.0558 | 0.6325 | 1.4369  |

表 3 高寒草甸0—10厘米土壤脲酶活性与氮素代谢微生物数量的相关性

Table 3 The correlation of the urease activity vs. number of metabolic microorganisms in the soil (0—10cm) of the alpine meadow.

| 植被类型                                      | 相关指数           |                |                 |                   |
|-------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|
|                                           | 脲酶活性与氨化<br>菌数量 | 脲酶活性与硝<br>化菌数量 | 脲酶活性与反硝<br>化菌数量 | 脲酶活性与嫌气性<br>固氮菌数量 |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> meadow   | 0.5865         | 0.7646         | 0.9330          | 0.9998            |
| 金露梅灌丛<br><i>Dasiphora fruticosa</i> shrub | 0.3349         | 0.5639         | 0.3624          | 0.7563            |
| 垂穗披碱草草甸<br><i>Elymus nutans</i> meadow    | 0.3231         | 0.2927         | 0.8122          | 0.1915            |
| 杂类草草甸<br>Forbs meadow                     | 0.8603         | 0.7989         | 0.0902          | 0.6129            |

表 4 高寒草甸0—10厘米深土壤脲酶活性与氮素代谢微生物活性的相关性

Table 4 The correlation of the urease activity vs. activities of metabolic microorganisms in the soil (0—10cm) of the alpine meadow.

| 植被类型                                      | 相关指数            |                 |                    |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
|                                           | 脲酶活性与氨化作<br>用活性 | 脲酶活性与硝化<br>作用活性 | 脲酶活性与嫌气性固氮<br>作用活性 |
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> meadow   | 0.9681          | 0.5187          | 0.4856             |
| 金露梅灌丛<br><i>Dasiphora fruticosa</i> shrub | 0.9387          | 0.8743          | 0.2386             |
| 垂穗披碱草草甸<br><i>Elymus nutans</i> meadow    | 0.7074          | 0.2869          | 0.1318             |
| 杂类草草甸<br>Forbs meadow                     | 0.9309          | 0.5227          | 0.0372             |

n = 5.

海北高寒草甸生态系统定位站的土壤温度和月降水量见表5, 高寒草甸0—10厘米土壤温度与0—10厘米土壤脲酶活性的二次多项式回归分析的数据列于表6, 从表6看出, 高寒草甸土壤的脲酶活性与土壤温度有一定的相关性, 植被类型不同其相关性也不相同, 其中, 金露梅丛的相关性显著 ( $R^2 = 0.8869$ ); 垂穗披碱草草甸的相关性不显著 ( $R^2 = 0.4995$ )。

#### 6. 高寒草甸土壤的脲酶活性与月降水量的关系

高寒草甸月降水量对0—10厘米土壤的脲酶活性的二次多项式回归数据列于表7, 从表

表5 海北高寒草甸生态系统定位站月平均气温, 地温和月降水量

Table 5 Monthly average air temperature, soil temperature and monthly precipitation of Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station in 1984.

|                | 6月   | 7月    | 8月    | 9月   | 10月  |
|----------------|------|-------|-------|------|------|
| 月平均气温℃         | 8.2  | 10.4  | 8.7   | 5.0  | 0.0  |
| 月平均0—10厘米地温(℃) | 11.8 | 13.8  | 13.1  | 8.7  | 3.9  |
| 月降水量(毫米)       | 98.1 | 129.1 | 117.1 | 82.4 | 21.5 |

表6 高寒草甸0—60厘米深土壤温度对脲酶活性的二次多项式回归数据

Table 6 Secondary polynomial regression data of the soil (0—60cm) temperature vs. urease activity in the alpine meadow.

| 植被类型                                      | A      | B       | C      | $R^2$  |
|-------------------------------------------|--------|---------|--------|--------|
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> meadow   | 5.3732 | -75.676 | 291.93 | 0.6436 |
| 金露梅灌丛<br><i>Dasiphora fruticosa</i> shrub | 4.1352 | -55.780 | 192.79 | 0.8869 |
| 垂穗披碱草草甸<br><i>Elymus nutans</i> meadow    | 3.9504 | -46.910 | 160.62 | 0.4995 |
| 杂类草草甸<br>Forbs meadow                     | 0.9565 | -11.482 | 58.336 | 0.6190 |

$n = 5$ .

表7 高寒草甸月降水量对脲酶活性的二次多项式回归数据

Table 7 Secondary polynomial regression data of monthly precipitation vs. urease activity in the alpine meadow.

| 植被类型                                      | A      | B       | C      | $R^2$  |
|-------------------------------------------|--------|---------|--------|--------|
| 矮嵩草草甸<br><i>Kobresia humilis</i> meadow   | 0.0549 | -6.0550 | 175.48 | 0.8378 |
| 金露梅灌丛<br><i>Dasiphora fruticosa</i> shrub | 0.0307 | -3.9149 | 101.35 | 0.9559 |
| 垂穗披碱草草甸<br><i>Elymus nutans</i> meadow    | 0.0334 | -2.6751 | 71.35  | 0.5112 |
| 杂类草草甸<br>Forbs meadow                     | 0.0101 | -0.9232 | 40.90  | 0.7708 |

$n = 5$ .

7可以看出, 高寒草甸四种植被类型的脲酶活性与月降水量都有一定的相关性, 其中, 以金露梅灌丛的相关性为显著 ( $R^2 = 0.9559$ ), 矮嵩草草甸次之 ( $R^2 = 0.8378$ ), 垂穗披碱草草甸不显著 ( $R^2 = 0.5112$ )。因为降水量直接影响到土壤水分的含量, 所以土壤水分含量也与脲酶活性有一定的相关性。

## 参 考 文 献

- 中国农业科学院土壤肥料研究所, 1979 土壤酶与土壤肥力关系的研究。中国土壤学会第四次会员代表大会暨一九七九年学术年会 论文摘要 第一集 36页。
- 关松荫等 1984 我国主要土壤剖面酶活性状况。土壤学报 21 (4) 368—380。
- 邱凤琼等 1981 东北黑土有机质和酶活性与土壤肥力的关系。土壤学报 18 (3) 244—254。
- 郑洪元、张德生 1982 土壤动态生物化学研究法。科学出版社。
- 黄世伟 1981 土壤酶活性与土壤肥力。土壤通报 (4) : 37—39。
- 张宪武、郑洪元 1962 丰产大豆土壤的生物化学活性。土壤学报 10 (1) : 1—12。
- 铃木達彦ウ, 1979 土壤微生物生态研究法, 共立出版株式会社。
- J.波爽, 1959 土壤微生物分析技术手册, 科学出版社。
- Dalal, B.C. 1975. Urease activity in some Trinidad soils. *Soil Biochem.* 7: 5—8.
- McGarity, J.W., and M.G. Myers. 1967. A survey of urease activity in soils of northern New South Wales. *Plant Soil* 27: 217—238.
- Myers, M.G. and J.W. McGarity. 1968. The urease activity in profiles of five great soil groups from northern New South Wales. *Plant Soil* 28: 25—37.
- Pancholy, S. K. and E. L. Rice. 1973. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase, and urease. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 47—50.
- Skujins, J. J. and A. D. McLaren. 1969. Assay of urease activity using  $^{14}\text{C}$ -urea in stored, geologically preserved, and in irradiated soils. *Soil Biol. Biochem.* 1: 89—99.
- Zantua, M. I. and J. M. Bremner. 1975. Comparison of methods of assaying urease activity in soil. *Soil Biol. Biochem.* 7: 291—295.
- Zantua, M. I. and J. M. Bremner. 1975. Preservation of soil samples for assay of urease activity. *Soil Biol. Biochem.* 7: 297—299.
- Емцев, В. Т. 1962. Об источниках углеродного питания для азотфиксирующих микроорганизмов рода *Clostridium* Микробиология, 31 (1) : 18—23.

STUDIES OF UREASE ACTIVITY IN THE SOIL OF  
THE ALPINE MEADOW

Yang Tao Li Yuying

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

Urease activity in the soil of the alpine meadow was determined from June to October in 1984 (Table 1). Experimental results indicated that the urease activity showed markedly seasonal dynamics. The peaks of urease activities in soils of four experimental plots were appeared from June to August (Figure 1).

Results of experiments also showed that the urease activities were changed with deepening of soil. Urease activities were highest in soils of surface layer and diminish with the increase of soil depth (Figure 2).

Experimental results showed that there are significant correlation between the urease activity and the number of nitrogen metabolic microorganisms (Table 3), and the former were correlated the activities of nitrogen metabolic microorganisms (Table 4).

Data of Table 6 showed that urease activity in the soil of alpine meadow was correlated with soil temperature. Secondary polynomial regression analysis (Table 7) showed that the urease activity was significantly correlated with monthly precipitation,