

原始土壤酶活性与肥力 形成实质初探

李 勇

提 要

本文首次对我国原始土壤的酶活性及其与土壤肥力因素的相关性作了初步研究。结果表明：随着岩生地衣向苔藓、草甸的演替，过氧化氢酶、转化酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶活性逐渐降低，多酚氧化酶活性逐渐升高；转化酶、蛋白酶、磷酸酶和脲酶活性与有机质非常显著相关 ($10.0 < P$) 或显著相关 ($P < 0.05$)，与全氮显著相关；过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶和磷酸酶与速效氮、速效磷显著相关、非常或极显著相关 ($P < 0.001$)；脲酶与全磷非常显著相关；多酚氧化酶与有机质显著负偏相关，与全氮显著正偏相关。

土壤酶活性是土壤生物学活性的一个重要指标，它们参与土壤中的各种代谢过程和能量转化，因此土壤酶学的研究日益受到国内外许多学者的重视。目前，土壤酶学研究主要朝两个方面发展：一是土壤酶在土壤有机质转化和土壤肥力形成中的作用及其作用机理在判断土壤熟化程度指标的可能性；另一方面则是土壤酶的来源、分布，各种因素对于酶活性的影响及土壤酶的动力学特性等。但迄今为止，还未见到有关原始土壤酶活性的报道。本文对我国岩生生物影响下原始土壤的酶活性变化及其与土壤肥力形成的关系进行了初步探讨，旨在阐明原始土壤发生和肥力形成的原因，为土壤利用、培肥提供科学依据。

一、材 料 和 方 法

(一) 研究地区的生态条件及采样方法

研究地区的主要生态条件见表1。在每个地区分地衣、苔藓及草甸时期进行采样，每个时期随机选择20个或30个以上采集点，将采集的同一时期的原始土壤样品均匀混合作为一个独立样品。采样后，立即风干，检掉植物残体，过1 mm的筛孔后，贮于0°—4 °C的冰箱中。

(二) 分析方法

1. 理化分析采用《农业化学常用分析法》^[1]。
2. 酶活性分析据《土壤动态生物化学研究法》^[2]进行。

• 【致谢】本研究是在朱显谟先生指导下完成的，曾得到中国科学院林业土壤研究所潘洪元先生的帮助，在此一并致谢。

表1

研究地区的生态条件

| 编号 | 土 类 | 采 集 地 点 | 海拔高度 (m) | 植 被 类 型 | 母 质 | 年降水量 (mm) |
|----|-------|------------|-------------|--------------------|------------|--------------|
| 1 | 地衣细土 | 天山站 | 3,558 | 壳状、枝状地衣 | 变质岩 | 435.6 |
| 2 | 苔藓细土 | 天山站 | 3,558 | 金发藓、紫萼藓仙鹤藓等 | 同 上 | 435.6 |
| 3 | 原始草甸土 | 天山站 | 3,558 | 高山草甸及座垫植物 | 同 上 | 435.6 |
| 4 | 苔藓细土 | 峨眉山 | 2,900 | 紫萼藓、腾藓、扭口藓、悬藓珠藓等 | 玄武岩 | 1,000—1,200 |
| 5 | 暗棕壤 | 峨眉山 | 2,850 | 暗针叶林及次生针阔混交林 | 同 上 | 1,000—1,200 |
| 6 | 苔藓细土 | 黄果树 | 1,000—1,200 | 绢藓、缩叶藓 | 石灰岩 | 1,000—1,200 |
| 7 | 黄色石灰土 | 黄果树 | 1,000—1,200 | 散生灌丛草被 | 石灰岩 | 1,000—1,200 |
| 8 | 苔藓细土 | 桂林 | 500—600 | 悬藓、缩叶藓 | 石灰岩 | 1,400—2,000 |
| 9 | 棕色石灰土 | 桂林 | 500—600 | 常绿阔叶林 | 石灰岩 | 1,400—2,000 |
| 10 | 生物风化层 | 太白山 | 3,600 | 壳状地衣、网衣、黄绿衣、鸡皮衣群落等 | 片 岩 片麻岩 | 700—800 |
| 11 | 苔藓细土 | 太白山 | 3,600 | 紫萼藓、黑扭口藓、角齿藓、长尖并齿藓 | 同 上 | 700—800 |
| 12 | 原始草甸土 | 太白山 | 3,600 | 藓类、蒿草等 | 同 上 | 700—800 |
| 13 | 苔藓细土 | 长白山 | 2,600 | 苔、砂藓、垂枝藓、毛尖金发藓类 | 火山喷出砂粒及火山灰 | >1,300 |
| 14 | 原始苔原土 | 长白山 | 2,300 | 矮灌木苔原带高山笃斯—牛皮杜鹃群落 | 火山灰砂石砾坡积物 | 1,300—1,100 |

二、结果与讨论

(一) 原始成土中酶活性的变化

原始土壤及普通对照土壤的理化性状及酶活性见表2和表3所列。

表2 原始土壤的一些理化性状

| 编号 | 有机质 (%) | 全氮 N (%) | C/N | 全磷 P_2O_5 (%) | 速效氮 (mg/100g) | 速效磷 (mg/100g) | pH |
|----|---------|----------|--------|-----------------|---------------|---------------|-----|
| 1 | 47.532 | 2.1714 | 12.697 | 0.401 | 201.36 | 129.40 | 6.4 |
| 2 | 22.395 | 0.9291 | 13.981 | 0.291 | 63.79 | 17.44 | 7.4 |
| 3 | 32.250 | 1.6541 | 11.309 | 0.317 | 91.44 | 3.08 | 6.5 |
| 4 | 46.400 | 2.0607 | 13.060 | 0.415 | 157.30 | 8.63 | 3.9 |
| 5 | 14.095 | 0.6504 | 12.571 | 0.392 | 59.59 | 1.31 | 5.8 |
| 6 | 29.181 | 1.5792 | 10.718 | 0.466 | 75.89 | 6.27 | 7.6 |
| 7 | 10.018 | 0.5444 | 10.674 | 0.254 | 34.11 | 2.58 | 7.6 |
| 8 | 9.275 | 0.6402 | 8.404 | 0.359 | 29.45 | 4.29 | 7.7 |
| 9 | 6.885 | 0.4031 | 9.908 | 0.201 | 28.37 | 0.74 | 7.7 |
| 10 | 31.650 | 0.3311 | 55.445 | 0.054 | 28.97 | 11.07 | 4.9 |
| 11 | 15.075 | 0.6641 | 13.167 | 0.180 | 40.30 | 3.31 | 6.4 |
| 12 | 16.551 | 0.6982 | 13.750 | 0.206 | 47.29 | 2.04 | 6.3 |
| 13 | 1.396 | 0.0744 | 10.887 | 0.043 | 7.34 | 0.89 | 5.9 |
| 14 | 5.997 | 0.2178 | 15.973 | 0.066 | 20.68 | 0.91 | 5.4 |

1. 过氧化氢酶活性: 过氧化氢酶活性的变化范围是9—133.3 (平均52.8), 在天山地衣时期细土中最高, 在长白山苔藓时期细土中最低。在天山原始成土过程中, 地衣时期细土的过氧化氢酶活性最高, 苔藓时期细土居中, 原始草甸土最低。太白山与天山的情况类似, 以在苔藓时期细土中过氧化氢酶活性最高, 地衣时期生物风化层中居中, 原始草甸土最低, 黄果树、桂林和峨眉山诸地区苔藓时期细土的过氧化氢酶活性显著地大于普通对照土壤。

随着岩生地衣、苔藓向草甸的演替, 过氧化氢酶活性出现增高, 达到最高值, 后又趋于稳定降低的变化规律。即由岩漆时期的生物物理风化层发展到生物风化层, 过氧化氢酶活性很高, 这时岩石一方面遭受地衣酸的强烈破坏, 另一方面还受过氧化氢酶的作用。过氧化氢酶非但酶促聚积的有机质的氧化分解反应, 产生具有螯合作用的有机酸对矿物元素进行螯合迁移作用, 而且可能直接酶促过氧化氢对矿物元素的氧化反应。随着地衣时期生物风化层的发生和发展, 生物物理风化层不断增厚, 细土开始在地衣基部出

现和聚积^[1],这时,过氧化氢酶活性达到最高值,大大加强了岩生地衣对岩石生化作用的强度和深度。岩生苔藓的着生、延伸和扩大,显著地扩大了有机质和细土的来源,加强了岩面拦截细土和含蓄水分的能力,酶活动的条件较地衣时期大为有利,因而过氧化氢酶活性稳定地保持着很高的活性。草甸类植物的插入,细土层成倍增厚,过氧化氢酶活性迅速降低。

2.多酚氧化酶活性:多酚氧化酶活性的变化范围是3—116.2(平均为44.1),在峨眉山苔藓时期细土中最高,在天山地衣时期细土中最低,与其它5种酶活性的变化不同,多酚氧化酶活性变化概括为两类:一类是天山、太白山、长白山酶活性的递增规律,即伴随岩生生物进化,多酚氧化酶活性迅速增加;另一类是峨眉山、黄果树和桂林等地区,苔藓时期细土的酶活性高于普通对照土壤。

可以看出,在地衣时期和苔藓时期多酚氧化酶活性较弱,特别是在地衣时期细土中,尽管有机质积累很高(见表2),其它5种酶活性很强,但处于寒冷、裸露、缺水的

表3 原始土壤的酶活性

| 编号 | 过氧化氢酶 0.1NKMnO ₄ ml/g·h | 多酚氧化酶 O ₂ μl/g·h | 转化葡萄糖 mg/g·24h | 磷酸酶 mg/g·24h | 蛋白酶 NH ₂ -Nμg/g·h | 脲酶 NH ₃ -Nmg/g·24h |
|----|--|--------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 133.3 | 3.0 | 149.015 | 57.365 | 227.124 | 30.957 |
| 2 | 74.5 | 8.4 | 129.651 | 23.498 | 65.747 | 20.205 |
| 3 | 22.0 | 69.4 | 91.824 | 8.345 | 37.804 | 2.829 |
| 4 | 38.0 | 116.2 | 36.663 | 12.025 | 18.628 | 8.566 |
| 5 | 23.5 | 37.8 | 5.016 | 7.333 | 11.506 | 2.870 |
| 6 | 42.5 | 66.8 | 39.046 | 13.957 | 76.704 | 36.080 |
| 7 | 1 | 49.9 | 9.274 | 8.621 | 43.064 | 3.733 |
| 8 | 50 | 102.8 | 10.771 | 7.241 | 36.709 | 11.558 |
| 9 | — | 44.8 | 5.727 | 7.149 | 24.182 | 1.627 |
| 10 | 66 | 19.5 | 165.409 | 23.498 | 27.066 | 0.898 |
| 11 | 87 | 9.9 | 41.667 | 9.265 | 49.858 | 5.102 |
| 12 | 38.8 | 23.8 | 39.172 | 6.965 | 39.996 | 3.042 |
| 13 | 9 | 16.8 | 10.546 | 4.030 | 19.262 | 0.344 |
| 14 | 20 | 48 | 18.938 | 4.214 | 16.656 | 1.718 |

逆境, 过氧化氢酶等难于有效酶促有机质的降解, 为腐殖质的合成提供足够原料, 微生物分泌的多酚氧化酶较少, 所以地衣时期腐殖质的合成速度是非常缓慢的。苔藓植物的着生, 改善了酶作用的微环境, 转化酶、过氧化氢酶等酶类较为有效地酶促有机质降解, 为腐殖质合成提供较为丰富的原料, 导致多酚氧化酶活性稳定提高, 腐殖化过程加快。在此基础上, 其它高等植物的着生, 使细土层迅速增厚, 扩大以至覆盖整个岩面, 多酚氧化酶活性达到最大值, 有机质分解和腐殖质再合成的速度和强度远远超过了地衣、苔藓时期, 创造了色浅而不太明显的腐殖质A层。

3. 转化酶活性: 原始土壤转化酶活性的变化范围是10.546—165.409(平均66.609)。在太白山地衣时期生物风化层中最高, 长白山苔藓时期细土中最低。转化酶活性在原始成土中表现极为明显的递减规律: 地衣时期>苔藓时期>原始草甸时期, 苔藓时期细土>普通对照土壤。

许多作者认为, 转化酶在参与土壤有机质转化、碳循环中有重要作用。在原始成土中, 我们也看到这一作用。在地衣时期细土中有机质含量极高(见表2), 但岩生地衣覆盖面积小, 细土零星分布, 少而微薄, 岩生生物为了利用这些有机质, 分泌聚积含量很高的酶是其所处生态条件的一种适应, 同时也表明转化酶在地衣时期有机碳的循环中起着重要作用。正是由于转化酶和过氧化氢酶等酶系的紧密配合, 才促进了有机质、糖类的氧化分解, 为非岩生生物提供了赖以生存的物质基础和能量来源, 碳的循环转化中产生大量的有机酸又会加强对岩石矿物的分解作用, 从而获得更多的矿质养分。苔藓植物着生时期, 较高的贮水保肥能力, 丰富的作用基质及较好的酶作用条件, 必然导致有机碳循环过程的加强。

4. 脲酶及蛋白酶活性: 脲酶活性的变化范围是0.344—36.080(平均11.03), 蛋白酶活性的变化范围是16.656—227.124(平均55.96)。在原始成土中, 脲酶和蛋白酶的变化规律均为: 在地衣时期生物风化层中较低, 在地衣细土中最高, 苔藓时期细土中很高, 原始草甸土中较高。

原始土壤中蛋白酶、脲酶活性的大小反映了原始土壤中氮循环水平的高低。在地衣时期的生物风化层中, 全氮水平较低, 脲酶和蛋白酶活性均低, 必然导致岩生生物养分缺乏, 氨基酸合成缓慢, 从而抑制了岩生生物的生长速度, 也影响着腐殖质化过程。当过渡到地衣基部零星细土出现时, 微生物的固氮强度增加, 含氮量增大, 同时岩生生物分泌的大量脲酶和蛋白酶, 必然引起地衣细土中氮的循环加快, 氨基酸含量猛增, 为苔藓植物的着生创造了肥力基础, 导致苔藓时期腐殖质化速度和强度的提高。

5. 磷酸酶活性: 磷酸酶活性的变化范围是4.030—57.365(平均15.491), 以在天山地衣时期细土中最高, 在长白山苔藓时期细土中最低, 磷酸酶活性在原始成土过程中成倍数降低。

原始土壤磷酸酶活性的大小, 在一定程度上反映了土壤的供磷能力, 同时也反映了岩生生物对磷需求的演变情况及生物对不良营养环境的反应, 在地衣时期生物风化层中, 全磷含量很低, 岩生地衣和微生物为了从生物风化层中获取正常生命过程所需的磷, 分泌较多的磷酸酶, 随水渗入生物风化层乃至生物物理风化层中, 进行着有机磷的转化过程。可以推测, 处于酶活动的恶劣条件且基质较少的生物风化层中, 供磷能力及生物所需磷水平都是极其微弱的。地衣时期细土的出现, 岩生生物固氮作用、腐殖质化过

程较地衣时期生物风化层大为加强,全磷含量极高,因而磷酸酶活性及速效磷也伴之提高。苔藓时期细土和原始草甸时期土的磷酸酶活性逐渐降低,主要原因是细土层加厚,酶部分被淋洗到下层土壤或广布较厚细土层中,或被粘土矿物胶体吸附失活等所致。

综上所述,可以认为,不同时期原始土壤酶活性的差异,反映了原始成土过程中岩生生物对岩石生物化学风化作用的强度和原始土壤物质流动的方向;同时也明显地反映了岩生生物演替规律及其演替的基础。随着岩生生物的原生演替,腐殖质化过程逐渐加强,粘土矿物含量及种类增多,土层逐渐加厚,酶活性下降。这一现象一方面揭示了岩石上生物生存的旺盛生命力,另一方面是前一个时期为后一个时期创造物质基础和动力源泉,尔后细土层水热状况逐渐改变、完善的有力证据。实验结果表明,地衣时期不但总的生物活性最大,而且创造了具有一定肥力因素的细土,从局部讲岩生生物对岩石的生化作用极强,因此,地衣时期是土壤肥力形成的关键时期。苔藓时期细土层不仅酶活性很高,而且从广度和深度,无论从对岩石的生化作用,还是细土层中有机物质、无机物的代谢、转化过程均大大加强,所以,苔藓时期是土壤肥力的发展提高时期。

(二) 原始土壤酶活性与肥力因素的相关性

1. 原始土壤酶活性与土壤肥力因素的相关性。表4结果表明,除多酚氧化酶外,其它几种酶活性均与有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷有不同程度的相关关系,特别是转化酶、蛋白酶、磷酸酶与有机质呈非常显著相关;脲酶与有机质显著相关;全氮

表4 原始土壤酶活性与土壤肥力因素间的相关系数(r)

| 试验项目 | 过氧化氢酶 | 多酚氧化酶 | 转化酶 | 脲酶 | 蛋白酶 | 磷酸酶 |
|------|------------------|-------------------|------------------|------------------|---------|---------|
| pH | 0.24 | 0.42 | 0.16 | Δ 0.61 | 0.13 | 0.13 |
| 水分 | 0.40 | 0.15 | Δ 0.61 | 0.54 | 0.53 | 0.47 |
| 速效磷 | 0.81** | -0.41 | 0.72* | 0.57 | 0.97*** | 0.97*** |
| 全磷 | 0.47 | 0.344 | 0.47 | 0.82** | 0.57 | 0.52 |
| 速效氮 | 0.74* | -0.26 | 0.83** | Δ 0.65 | 0.94*** | 0.92*** |
| 全氮 | 0.57 | 0.004 | 0.74* | 0.71* | 0.78* | 0.73* |
| 有机质 | Δ 0.65 | -0.16 | 0.83** | 0.69* | 0.83** | 0.80** |
| C/N | 0.11 | Δ -0.60 | 0.24 | -0.19 | 0.019 | 0.095 |

注: $n=9$, $\Delta P<0.10$, $*P<0.05$, $**P<0.01$, $***P<0.001$

与转化酶、脲酶、蛋白酶及磷酸酶显著相关;速效氮与过氧化氢酶显著相关,与转化酶非常显著相关,与蛋白酶、磷酸酶极显著相关($P<0.001$);全磷与脲酶非常显著相关;速效磷与过氧化氢酶、蛋白酶、磷酸酶非常或极显著相关,与转化酶呈显著相关。

2. 有机质是肥力形成的物质基础。由表5可以看出,在原始土壤中,有机质与全氮、速效氮、全磷、速效磷、水分呈显著相关、非常显著相关或极显著相关,而转化

表5 原始土壤肥力因素间的相关系数 (r)

| 试验项目 | C/N | 有机质 | 全 氮 | 速 效 氮 | 全 磷 | 速 效 磷 | 水 分 |
|-------|-------------------|---------|---------|------------------|--------|-------|------|
| pH | Δ -0.61 | 0.27 | 0.36 | 0.12 | 0.79* | -0.03 | 0.39 |
| 水 分 | -0.12 | 0.89** | 0.92*** | 0.74 | 0.81** | 0.39 | |
| 速 效 磷 | 0.074 | 0.74* | 0.67* | 0.90*** | 0.41 | | |
| 全 磷 | -0.46 | 0.76* | 0.83** | Δ 0.64 | | | |
| 速 效 氮 | 0.018 | 0.95*** | 0.92*** | | | | |
| 全 氮 | -0.17 | 0.98*** | | | | | |
| 有 机 质 | -0.027 | | | | | | |

注: n = 9; $\Delta P < 0.10$, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

酶、蛋白酶和磷酸酶这些水解酶系均与有机质呈非常显著相关。

蛋白酶和磷酸酶在原始土壤中的氮和磷的生物学循环及其为供给岩生生物或后来高等植物生长所需的有效磷和有效氮,起着难以估价的巨大作用。由表 4 看出,蛋白酶、磷酸酶均在 $P < 0.001$ 水平上,与速效磷和速效氮呈极显著相关,同时速效氮与速效磷呈极显著相关(见表 5)。这表明:在原始土壤中,一方面岩生固氮微生物经固氮作用形成的氨,与体内代谢作用产生的 α -酮戊二酸结合形成谷氨酸,后经脱羧、转氨作用生成其它诸如尿素、蛋白质核酸等有机氮化合物。有机氮化合物在蛋白酶作用下被分解为多肽,进而分解为氨基酸,为土壤腐殖质的合成提供原料,并在氨化过程中起重要作用。

另一方面,岩生生物通过代谢作用产生的有机酸首先使原生矿物(如磷灰石)风化形成磷酸铝盐,然后再转化成磷酸铁盐,这些无机磷酸盐在岩生生物的作用下又可转化为有机磷酸盐,有机磷酸盐与生物遗体(磷脂、核酸、磷酸糖等)在磷酸酶的作用下进行矿化分解,为岩生生物提供有效磷。由岩生生物引起的磷的固定和有机磷的酶促矿化过程,直接影响着原始土壤中无机磷的有效性。

脲酶与有机质、全氮、全磷呈显著相关或非常显著相关,脲酶活性的高低,反映了原始土壤中有机质、氮和磷的状况。值得注意的是,脲酶活性与pH呈正相关($r = 0.61$, $P < 0.10$),pH与全磷呈显著正相关($r = 0.79$),在pH较高的原始土壤中脲酶活性较高,全磷含量也高,在桂林(pH=7.7)和黄果树(pH=7.6)苔藓时期细土中表现尤为突出(见表 2 和表 3),因而pH对脲酶活性有较大影响。在太白山地衣时期生物风化层中,pH很低(pH=4.9),脲酶活性也很小,全磷含量仅为0.054%,苔藓时期pH普遍提高,脲酶活性增加,全磷含量较高。可以认为,脲酶活性在反映原始土壤中全磷的状况有重要意义,同时脲酶活性与pH呈正相关,应引起我们农业界的重视。

过氧化氢酶与速效氮、速效磷显著相关或非常显著相关及与有机质相关的事实表明:过氧化氢酶与蛋白酶、磷酸酶等酶类配合,在有机质的氧化、转化,使原始土壤中有效磷和有效氮素养分不断增加具有重要作用,过氧化氢酶活性的高低,在一定程度上

可以反映原始土壤供氮供磷能力。另外发现在地衣时期, 过氧化氢酶活性较高, 因而酶促过氧化氢氧化有机质产生的羧酸类或 CO_2 较多, 从而导致较低的pH环境。实验证明:

表6 原始土壤酶活性与土壤肥力因素的偏相关分析 (r)

| 相 关 因 子 | | | 偏 相 关 系 数 (r^{12}) | 概 率 (P) | 样 品 数 (n) |
|--------------|-------|-------|---------------------------|------------|--------------|
| Y | X_1 | X_2 | | | |
| 过 氧 化 氢 酶 | 全 磷 | 速 效 磷 | $YX_1 \cdot X_2$ 0.26 | N.S. | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.77 | <0.05 | |
| 过 氧 化 氢 酶 | 全 氮 | 速 效 氮 | $YX_1 \cdot X_2$ -0.42 | N.S. | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.67 | <0.10 | |
| 转 化 酶 | 有 机 质 | 全 氮 | $YX_1 \cdot X_2$ 0.78 | <0.05 | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ -0.67 | <0.10 | |
| 转 化 酶 | 全 氮 | 全 磷 | $YX_1 \cdot X_2$ 7.71 | <0.05 | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ -0.39 | N.S. | |
| 脲 酶 | 全 氮 | 速 效 氮 | $YX_1 \cdot X_2$ 0.38 | N.S. | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.012 | N.S. | |
| 蛋 白 酶 | 全 氮 | 速 效 氮 | $YX_1 \cdot X_2$ -0.63 | <0.10 | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.91 | <0.005 | |
| 蛋 白 酶 | 有 机 质 | 速 效 氮 | $YX_1 \cdot X_2$ -0.59 | N.S. | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.87 | <0.005 | |
| 蛋 白 酶 | 有 机 质 | 速 效 磷 | $YX_1 \cdot X_2$ 0.78 | <0.05 | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.98 | <0.001 | |
| 磷 酸 酶 | 有 机 质 | 速 效 磷 | $YX_1 \cdot X_2$ 0.50 | N.S. | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.94 | <0.001 | |
| 多 酚 氧 化 酶 | 有 机 碳 | 全 氮 | $YX_1 \cdot X_2$ -0.82 | <0.05 | 9 |
| | | | $YX_2 \cdot X_1$ 0.82 | <0.05 | |

地衣时期生物风化层或细土的pH较小, 而风化溶液最重要的方面是它的 H^+ 含量, 有机酸及 CO_2 为 H^+ 提供了一个连续不断的来源 ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$)。所以, 地衣及其岩生生物产生的有机酸及碳酸对岩石矿物的螯合、水解、溶解、离子交换等作用是其巨大的。正是地衣时期的这种生物化学风化营力, 从铝硅酸盐或硅酸盐中分离出阳离子, 并能形成溶解的和非溶解的二氧化硅, 才使原生矿物逐渐向次生矿物转化, 开始形成具有一定肥力因素的细土。因此作者认为, 过氧化氢酶可能是通过氧化

有机质产生 CO_2 或有机酸而参与了长石 \rightarrow 高岭石、云母 \rightarrow 伊利石的形成过程。至于过氧化氢酶是否直接参与粘土矿物的形成过程,有待进一步研究。

为了深入探讨土壤酶活性在肥力形成中的作用,对原始土壤酶活性与土壤肥力因素进行了偏相关分析(见表6),结果表明:过氧化氢酶、蛋白酶、磷酸酶与速效氮、速效磷呈相关,显著相关,非常或极显著相关;转化酶活性与有机质、全氮显著相关。通过偏相关分析,有趣地发现,多酚氧化酶与有机碳显著负相关,与全氮显著正相关。偏相关分析的结果进一步证明:过氧化氢酶、蛋白酶、转化酶、磷酸酶和多酚氧化酶在原始土壤肥力形成中起重要作用。至于脲酶在偏相关分析中表现与全氮、速效氮不相关的原因有待探讨。原始土壤肥力的形成诚然要受到气候、地形、时间等因素的影响,但应当指出,酶促生化作用是土壤肥力形成的主导因素。

(三) 原始土壤酶活性之间的相关性

表7结果表明:磷酸酶与蛋白酶呈极显著相关,它们均与过氧化氢酶、转化酶、脲酶显著相关、或非常显著相关,转化酶与过氧化氢酶显著相关。从转化酶、过氧化氢酶、磷酸酶、蛋白酶、诸酶类之间的显著相关或非常显著相关看出,在岩石—生物—原始土

表7 原始土壤酶活性之间的相关系数(r)

| 试 验 项 目 | 过 氧 化 氢 酶 | 多 酚 氧 化 酶 | 转 化 酶 | 脲 酶 | 蛋 白 酶 |
|-----------------------|---------------|--------------|--------|-------|---------|
| 磷 酸 酶 | 0.86** | -0.44 | 0.82** | 0.69* | 0.98*** |
| 蛋 白 酶 | 0.85** | -0.38 | 0.74* | 0.72* | |
| 脲 酶 | 0.58 Δ | -0.02 | 0.50 | | |
| 转 化 酶 | 0.69* | -0.45 | | | |
| 多 化 酚 氧 酶 | -0.46 | | | | |

注: $n=9$, $\Delta P<0.10$, * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$

壤生态体系中,多种酶系催化的有机碳、有机氮和有机磷的转化是相互影响的,它们密切配合,不断地进行着物质交换和能量流动的生化过程,一方面使岩生生物自身籍以生存、繁茂生长,另一方面导致原始土壤肥力的形成与提高。

原始土壤酶活性之间的相关性使我们进一步认识到,在原始成土过程中,各种酶活性本身不仅具有高度的专一性,同时它们相互之间还存在着共性关系。酶的专一性动态地反映了原始成土过程中岩石矿物生物化学风化和各种有机化合物分解转化的强度和方向,而共性关系的酶活性总体在一定程度上反映了原始土壤肥力形成与演进的水平。

三、结 语

通过对原始土壤的酶活性及其与肥力因素的相关性的研究,可以认为:岩生地衣着生时期是原始土壤肥力形成的关键时期,岩生苔藓植物的着生是原始土壤肥力的发展与

提高时期;原始土壤成土过程中各种酶活性变化的总规律是,过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶、脲酶和磷酸酶等5种酶的活性在地衣时期细土中最强,苔藓时期细土仍具有很高的活性,原始草甸土较弱,苔藓时期细土的酶活性显著地大于普通对照土壤,多酚氧化酶活性的变化与前5种酶活性相反,由地衣时期细土到原始草甸时期土壤呈递增规律。

原始土壤肥力形成发展的实质,是岩生生物分泌的各种酶系催化的各种生物化学过程的综合,可以用过氧化氢酶、多酚氧化酶、转化酶、脲酶、蛋白酶、磷酸酶诸酶类的活性总体作为评价原始土壤形成过程中生化作用强度及其肥力水平演进的重要参数。

参 考 文 献

- [1] 朱显谟:论原始土壤的成土过程,《中国科学》第27卷,1983年10期,919—927页。
- [2] 郑洪元、张德生编:土壤动态生物化学研究法,科学出版社,1982年。
- [3] 陕西师大化学系分析化学教研室等编:农业化学常用分析法,陕西省科学技术出版社,1980年。

The Initial Research on Enzyme Activities and Essence of Fertility Formation in Primary Soils

Li Yong

ABSTRACT

This paper discussed the changes of enzyme activities in the process of primary soil formation under the influence of rock-bearing organisms in China. The results obtained are as follows:

1. The occurrence of rock-bearing lichen is the crux stage of primary soil genesis and fertility development or evolution. Bryophyta bearing is the stage of development and improvement of primary soil fertility level. Enzyme activities of catalase, invertase, urease, protease, phosphatase decrease and polyphenol oxidase activity increases gradually with the evolution of rockbearing organisms from lichen to bryophyta and primary meadow.

2. The essence of formation and development of the primary soil fertility is synthesis of the biochemical process catalyzed by various enzymes secreted from rock-bearing organisms. The activities of invertase, protease, phosphatase and urease were significantly ($P < 0.05$) or very significant ($p < 0.01$) correlated with organic matter, significantly with total N. The activities of catalase, invertase, protease and phosphatase were significantly or very significantly or extremely significantly ($P < 0.001$) correlated with available N and available P respectively. Urease was very significantly correlated with total P.

3. The total activities of catalase, polyphenol oxidase, invertase, protease, urease and phosphatase can be used as important indexes in evaluating primary soil fertility level.