

丰产大豆土壤的生物化学活性*

張憲武 鄭鴻元

(中国科学院林业土壤研究所)

耕作土壤是在各种自然因素以及人类生产劳动的影响下形成的。过去虽然认为每一种土壤都有着自己的发生与发展,土壤形成这一复杂的历史过程是在物理、化学和生物学因素的参与下完成的。可是在联系生产实际时,往往就简单地把土壤只看为不过是供应植物营养物质的仓库。这样孤立地片面地去了解土壤与植物之间的供求关系,是不可能解释土壤,特别是耕作土壤的实质的,因此也不可能正确地控制和创造更肥沃的土壤。

以运动观点来看待土壤,把土壤作为一个特殊的历史自然体,它不仅包含着各种物理、化学组成,同时更重要的还包括着活的部分——土壤微生物以及植物根系。因此把土壤作为一个活体——特殊的有机体——来研究,无疑地会大大发展土壤的发生学观点。

把土壤作为一个活体来研究,显然单从土壤的理化性质,以及土壤微生物数量和组成的关系来研究是不够的,更重要的是应该把土壤作为特殊的有机体,研究它的生理生化特性,特别是它的代谢过程,这样才能更好地揭露土壤的实质,揭露土壤与植物之间的矛盾统一过程。

所谓土壤的生理生化特性,这里所指的是土壤的呼吸作用,土壤的酶系统,土壤代谢过程中的产物(游离氨基酸,有机酸,糖类,维生素,抗生物质,植物生长物质以及毒素物质)在土壤中的积累与分解,以及土壤生化过程的强度(氨化,硝化,反硝化,固氮,有机质分解,腐殖质合成等等)。所谓土壤代谢过程,这里所指的是土壤与环境矛盾统一的综合表现,对于耕作土壤而言,还包括土壤与作物之间供求关系的矛盾统一过程的表现,也就是在作物生长过程中适时满足作物生长所需要的生活条件的矛盾统一过程。因此,只有正确地了解土壤的生理生化特性,才有可能揭露土壤中所进行的过程的实质;只有了解了土壤代谢过程,才有可能找出定向培育丰产土壤的条件。

利用土壤的生化特性来指示土壤的肥力状况,在文献中已累积了一定的资料,尤其是苏联及德国的学者们,在这方面进行了不少工作^[1,2]。这些资料表明,土壤生化特性与土壤肥力状况存在一定的关系。但由于土壤本身是一个复杂体系;土壤生物化学特性的研究也还刚刚开始,在方法上还存在着一些问题,因此,目前对土壤生化特性的研究还存在着各种不同的看法,有些学者认为,土壤生化特性可以作为土壤生物学活性及土壤肥力的指标,但也有些学者认为它们之间不存在着直接的关系。但是,无疑地它们至少可以作为土壤中生物化学过程强度的指标。如果按照我们所给予的土壤生物化学特性以及土壤代谢的含义,土壤这个特殊有机体它自己本身的内部联系以及内外矛盾的统一,必然会从它的生物化学特性与代谢过程上表现出来。显然,只靠单一的土壤的某些生化分析并以此

* 参加工作人员尚有张德生、李养福、卢本璋等。

作为唯一的指标,要想解释这一复杂的有机体是有困难的。只有单一的研究与综合的分析相结合,才有可能找出它们之间的联系。因此,不仅需要我們进行大量的工作,而且还必須不断应用新的技术成就来改善我們的研究方法,才可能揭露土壤的实质。

本文试图从丰产大豆土壤来了解大豆丰产与土壤生化特性的关系,闡明在人工定向培育肥沃土壤时,土壤生化特性的变化,以便进一步掌握及保証作物的稳定丰产。

一、实验部分

1. 田块处理

为了总结丰产大豆土壤的生物化学特性,說明丰产大豆土壤的实质,选择了吉林省榆树县农业科学研究所的大豆試驗地,按大豆的生育期:苗期、花期、荚期、成熟期分期采样,測定土壤的生物化学特性。田块处理如下:

丰产田:1958年深翻66厘米,曾施入較多的馬粪,播前施用草炭8万斤/垧,猪粪4万斤/垧,过磷酸石灰1千斤/垧(开沟30厘米施入),分枝期施硫酸鉀200斤/垧,过磷酸石灰400斤/垧。

农肥处理田:1958年翻地14—16厘米,曾施馬粪6万斤/垧,播前施用猪粪6万斤/垧。

对照田:1958年翻地14—16厘米,曾施馬粪6万斤/垧,播前未施肥。

2. 分析項目与方法¹⁾

(1) CO₂的測定:用碱吸收酸滴定法測定,以每克土壤释放出的CO₂的毫克数表示。

(2) 接触酶的測定:置50毫升含3% H₂O₂的磷酸緩冲液于100毫升三角瓶中,放于0—4℃冰箱中15分钟,然后加入5克新鮮土壤,充分振蕩后,立即吸取5毫升土壤悬浮液于另一三角瓶中,加入2N H₂SO₄5毫升,用干滤紙过滤,取5毫升滤液用0.1N KMnO₄滴定,以0.1N KMnO₄消耗量表示酶的活性。

(3) 蛋白酶的測定:置10克新鮮土壤于100毫升三角瓶中,加入0.5克CaCO₃,1.5毫升甲苯,20毫升2%精胶溶液,于37℃恆温箱中放置20小时,取出稀释至100毫升,搖匀过滤,吸取10毫升滤液,加入10毫升Cu(NO₃)₂溶液,用比色法求出释放的氨基氮量,以每100克土壤释放出氨基氮的毫克数表示酶的活性。

(4) 脲酶的測定:置5克新鮮土壤于50毫升三角瓶中,加入pH6.7磷酸緩冲液20毫升,甲苯0.5毫升,混合10分钟后加入10%尿素溶液10毫升,于37℃恆温箱中放置48小时,取出过滤,吸取滤液用比色法测出释放出的氨态氮含量,以每100克土壤释放出的氨态氮毫克数表示酶的活性。

(5) 轉化酶的測定:置5克新鮮土壤于100毫升三角瓶中,加入5%蔗糖磷酸緩冲液(pH5.5)25毫升,甲苯1毫升,于30℃恆温箱中放置48小时,取出过滤,吸取滤液用碘量法求出还原糖量,以每克土壤释放出还原糖毫克数表示酶的活性。

(6) 磷酸酶的測定:置1克新鮮土壤于50毫升三角瓶中,加入1毫升甲苯,20毫升

1) 有关方法的詳細描述請參看“土壤微生物分析方法手冊”,中国科学院林业土壤所微生物室主編,科学出版社,1960年。

0.1% 酚酞磷酸钠溶液,于 30℃ 恒温箱中放 24 小时,取出过滤,吸取 10 毫升透明滤液,加入 pH 10.4 甘氨酸缓冲液 10 毫升,于比色计求出其光密度,以此表示酶的活性。

(7) 脱氢酶的测定:取土壤 20 克,加入 pH 7.5 甘氨酸溶液 40 毫升,振荡 10 分钟后,取出过滤,取 20 毫升滤液于 100 毫升三角瓶中,加入 0.4 毫升 (2% 葡萄糖 + 10% 蛋白胨) 的混合液,1 毫升 1% 的 2, 3, 5-Triphenyltetrazolium chloride 溶液,取出用乙醚抽提,于比色计上求出其光密度,以此表示酶的活性。

(8) 游离氨基酸总量的测定:取 50 克土壤,加入 50 毫升 80% 乙醇溶液,振荡半小时,离心取上层清液 10 毫升于磁蒸发皿中蒸干,溶于 0.1N HCl 中 (10 毫升),用乙醚洗 2—3 次 (每次约 5 毫升) 再蒸干,加入 0.5 毫升 0.5% 茚三酮溶液,于沸水浴上显色,用硫酸铜乙醇溶液洗出,于比色计上求出氨基氮含量。

(9) 游离氨基酸组成的定性测定:将上述乙醇抽提液蒸干,用少量 (0.2 毫升) 0.1N HCl 溶解,用下行纸上层分离法进行分离鉴定,用正丁醇:冰醋酸:水 (30:7.5:10) 为溶剂,色层分离二次,用 0.1% 茚三酮丙酮溶液显色。

(10) 纤维素分解强度的测定:用埋布片法进行,以分解的 % 数表示强度。

二、结果与讨论

1. 丰产大豆土壤生物化学特性及其在土壤肥力中的意义

(1) 施肥对土壤生物化学活性的影响

从表 1 数据可以明显看出,施肥可以改变土壤酶的活性,呼吸作用强度,以及纤维素分解作用强度。施肥能显著增加土壤中蛋白酶,脲酶的活性;蛋白酶与脲酶的活性以丰产田为最高,农肥处理田次之,不施肥的对照田最低。

表 1 施肥对土壤生物化学活性的影响 (一年平均数据)

| 处 理 | C (%) | N (%) | P (%) | CO ₂ (毫克/1克土) | 纤维分解强度 (%) | NH ₂ -N (毫克/10克土) | 蛋白酶 | 脲 酶 | 接触酶 | 转化酶 | 磷酸酶 | 脱氢酶 | 产量 (斤/亩) |
|-------|-------|-------|-------|--------------------------|------------|------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|----------|
| 丰 产 田 | 2.56 | 0.273 | 0.067 | 3.90 | 18.99 | 13.99 | 241 | 360 | 3.46 | 71.8 | 0.52 | 1.70 | 5936.6 |
| 农肥处理田 | 1.88 | 0.243 | 0.062 | 2.86 | 16.58 | 22.94 | 190 | 301 | 3.18 | 87.0 | 0.52 | 1.35 | 5192.3 |
| 对 照 田 | 1.79 | 0.200 | 0.062 | 2.56 | 10.56 | 9.43 | 156 | 209 | 2.74 | 81.4 | 0.59 | 0.80 | 4256.5 |

注:蛋白酶活性: NH₂-N 毫克/100 克土; 脲酶活性: NH₃-N 毫克/100 克土;
接触酶活性: 0.1N KMnO₄ 消耗数 (毫升); 转化酶活性: 还原糖毫克/1 克土;
磷酸酶及脱氢酶活性为比色计上读数。

土壤中蛋白酶与脲酶的活性增高,不仅反映了土壤中存在大量的含氮有机物,同时也说明了这些含氮有机物在土壤中积极的转化着。蛋白酶与脲酶在土壤中积极的活动,无疑地为改善植物及土壤微生物的氮素营养创造了有利的条件。

许多学者认为,可以利用接触酶,转化酶以及脱氢酶的活性来判断土壤中有有机质转化的状况^[3,4,5,6]。从表 1 数据明显地看到,施用大量有机肥料的丰产田,接触酶及脱氢酶的活性最高,农肥处理田次之,而不施肥的对照田最小。这表明了在这些土壤中有有机质转化过程与土壤中接触酶,脱氢酶的活性具有一定的相关性,这也可以从土壤中 CO₂ 的释放及纤维素的分解强度得到相应的证明。

至于土壤中轉化酶活性的变化情况則相反。丰产田轉化酶活性的減低可能与土壤中可溶性有机物质含量的增高相关^[5]。

脫氫酶,接触酶是属于氧化还原体系的酶,也是呼吸作用的酶,其活性的改变不仅可以指示土壤中有有机物质的轉化,而且也与土壤中生物学总的活性相关,因此,它們在土壤中的变化規律与存在状况值得深入地研究。

施肥有减弱磷酸酶活性的趋势。土壤中磷酸酶活性的变化不仅与土壤的全磷量相关,而且也与磷化合物所处的状况相关。根据前人所研究的材料,土壤中缺少可給态磷时,磷酸酶的活性較高^[7]。从我們的土壤分析結果来看,丰产田及施用农肥处理田的有效磷均比对照田高(丰产田为 2.90 毫克/100 克土;农肥处理田为 2.04 毫克/100 克土;而对照田为 1.60 毫克/100 克土),这可能是丰产田磷酸酶活性減弱的一个原因。但是值得注意的是,磷素是大豆营养的重要元素,是大豆增产的关键之一。当施用大量有机肥料时,如何加强土壤中磷酸酶的活性,促进有机肥料中有机磷化合物的轉化,适时供应植物磷素的需要,值得进一步探討。

土壤中酶的存在,說明了在土壤中进行着各种各样的复杂的生物化学过程(正如以上証明的那样),并且这些过程結果将在土壤中累积一定数量的产物。这些产物再經微生物利用,轉化而形成各种各样的生物活性物质(氨基酸,維生素,抗生物物质,以及植物生长物质等)。已有的資料証明,土壤中存在各种維生素,抗生物物质以及植物生长物质^[8]。施肥同样也能改变这些物质在土壤中的含量。从表 1 的数据明显地看到,施肥能增加土壤中游离氨基酸的含量。

植物营养除了需要大量的营养元素外,为了保証其正常生长还需要补充各种微量的、生物活性的有机化合物。前人的研究証明,象氨基酸,維生素,抗生物物质等复杂的有机物质,均能直接为植物所吸收。虽然植物本身也能合成这些物质,但是外来的这些有机物质,对于保証植物的正常生长和获得更高更稳定的产量是有利的。土壤中的微生物羣大部分都需要氨基酸^[9],因此,通过施肥增加土壤中游离氨基酸的含量,这对于保証土壤中有益微生物的活动是有利的。土壤中有有益微生物的活动加强,对于进一步保証植物营养元素的适时供应,以及供給植物其他生物活性物质也同样是有益的。

不同的土壤中除了游离氨基酸总量有明显的差异外,在游离氨基酸的組成方面也有明显的不同。利用紙上色层分离法証明,在土壤中发现的游离氨基酸中,以胱氨酸,天門冬氨酸,谷氨酸,丙氨酸,蛋氨酸(或纈氨酸),亮氨酸的含量較高。施肥能促进土壤中谷氨酸及亮氨酸含量增高,而胱氨酸則有減少的趋势,关于这一方面的原因尚需进一步研究。

(2) 土壤生物化学活性的变化与土壤养分动态的关系

土壤养分的动态是在很复杂的因子影响下变化着。土壤本身的物理化学性质可以影响土壤养分的变化,植物根系的活动也可以影响土壤中养分的变化,但是这些影响主要是引起量上的改变,即简单的数量上的增減。事实上,土壤中养分的变化尚取决于土壤微生物活动的影响,这种影响引起土壤中养分的质和量的改变,对植物营养起着主要的作用。

从土壤中养分动态变化的关系与土壤中酶的活性改变关系来看(表 1),它們之間存在着一定的关系。蛋白酶的活性与土壤中的全氮量有关;脲酶的活性与土壤中氨基氮量

相关；磷酸酶的活性与土壤中全磷量相关；而转化酶及接触酶的活性又与土壤中碳的含量，碳氮比，以及相应的纤维素分解强度相关。这种关系的存在是不难理解的，只有作为这种酶的活动基质的存在，才有可能活跃这种酶的活性。从这里也说明了土壤中酶的活性改变，在一定程度上反映了土壤中养分所处的状况。然而必须指出，它们的关系并不成简单的比例关系，尤其是在耕作土壤中它们之间的关系更为复杂。尽管它们之间的关系是如此复杂，但是必然存在着一定的规律性，因此需要我们进一步去揭露。

施肥改变了土壤中酶的活性，在大豆的各个生长期间，丰产田与对照田土壤中酶的活性变化与土壤养分动态的关系显然是有差异的（图1—5）。这明显地说明了土壤中酶的

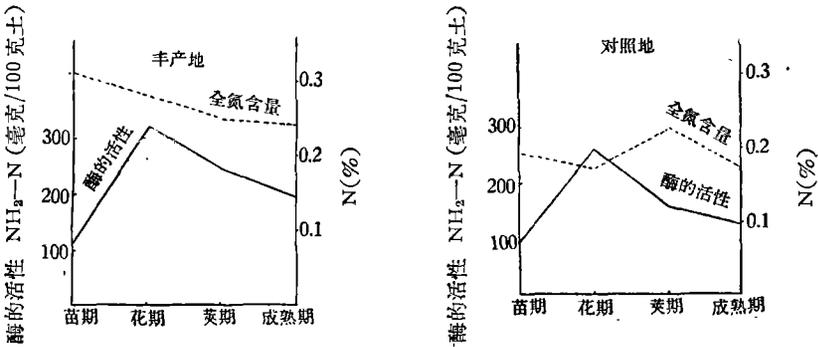


图1 大豆不同发育阶段土壤中蛋白酶活性的变化

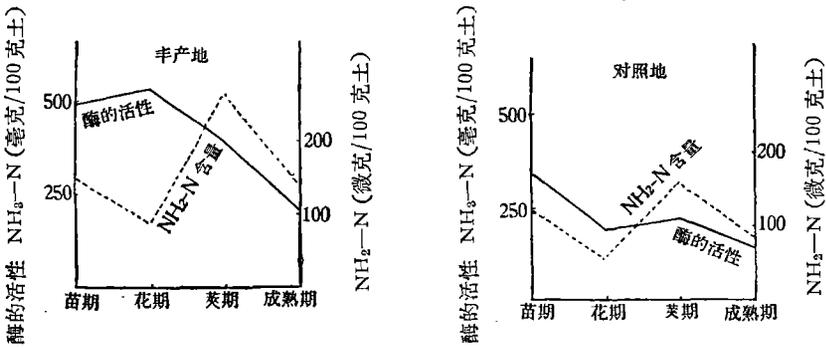


图2 大豆不同发育阶段土壤中脲酶活性的变化

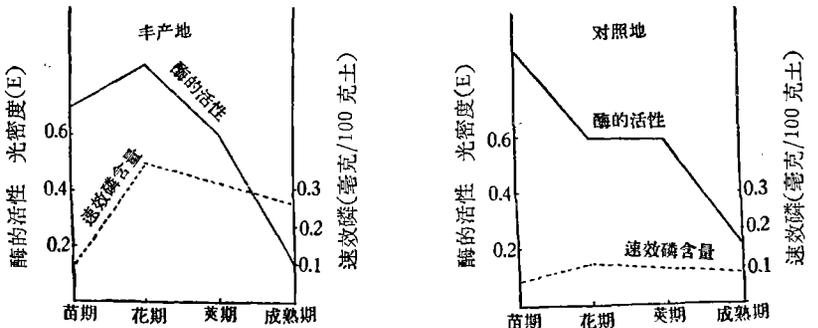


图3 大豆不同发育阶段土壤中磷酸酶活性的变化

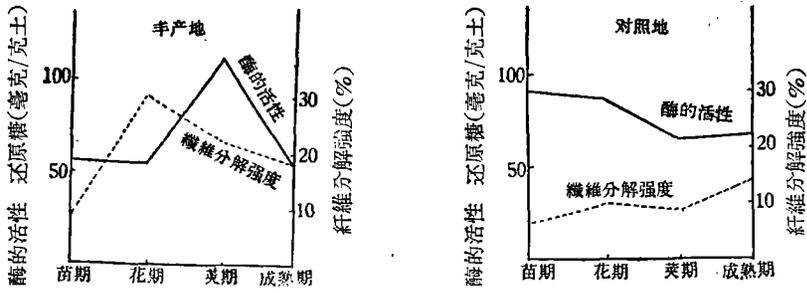


图 4 大豆不同发育阶段土壤中转化酶的活性的变化

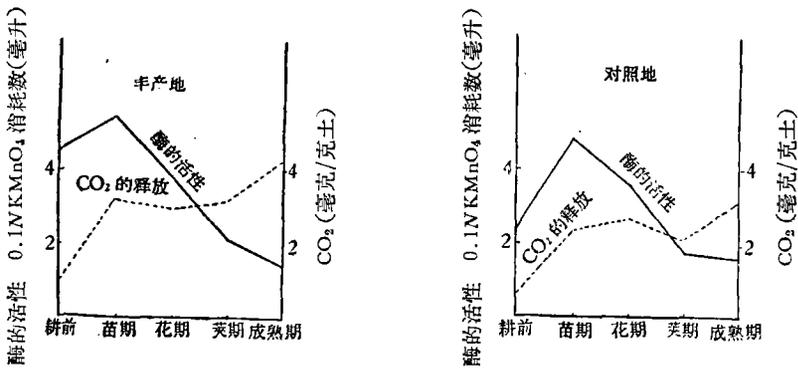


图 5 大豆不同发育阶段土壤中接触酶活性的变化

活性变化对调节植物的营养需求具有一定的意义。同时也暗示了,了解不同生长期中土壤酶的活性的改变与土壤中养分动态的关系,以及植物本身的需求规律,对于培育肥沃土壤有着极其重要的意义。

(3) 土壤生物化学活性的变化与作物生长的关系

前人的研究证明,作物不同生长期内土壤中生物学活性的强度是不同的^[10]。我们的试验结果也得到了同样的规律性。这种规律性表明土壤与植物之间存在一定的矛盾统一——供与求之间的关系,这可以从图 1—5 明显地看到。蛋白酶的活性以大豆花期为最活跃;脲酶的活性以苗期及花期为最活跃;接触酶与转化酶的活性以苗期为最活跃,到大豆生长后期逐渐减弱;而磷酸酶的活性以花期前为最高,然后逐渐下降。至于作为土壤生物化学活动结果产物之一的氨基氮,在土壤中有累积之势,而以花期及荚期为最高。如果再从作为土壤生物学活性总的指标之一的呼吸作用来看(与耕前相比,土壤呼吸作用一直强烈地进行着),也说明土壤代谢过程在积极进行着。作物不同生长期内土壤中生物学活性的这些改变,是与作物阶段发育和生理需求相适应的,花期为大豆营养生长与生殖生长高度增长时期,此时作物必须吸取大量的养分以满足地上部分及地下部分干物质累积的需要。至荚期以后,作物本身虽然仍需要大量的养分,但此时主要为营养物质再分配的过程;因此土壤中生物学活性变化以花期为最活跃(图 1—5),相应地也是植物干物质累积最多,同时也是吸收养分最多的时期(图 6—7)。这说明,土壤中所进行的各种生物化学活动,对适时供应及调节作物生长所需求的土壤条件起着极其重要的作用。

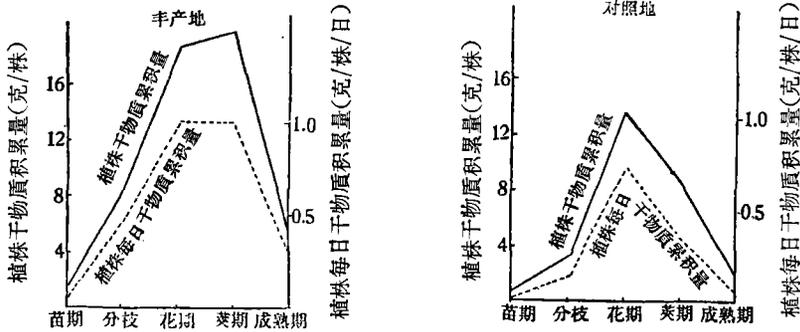


图 6 大豆不同发育阶段植株地上部干物质积累量的变化

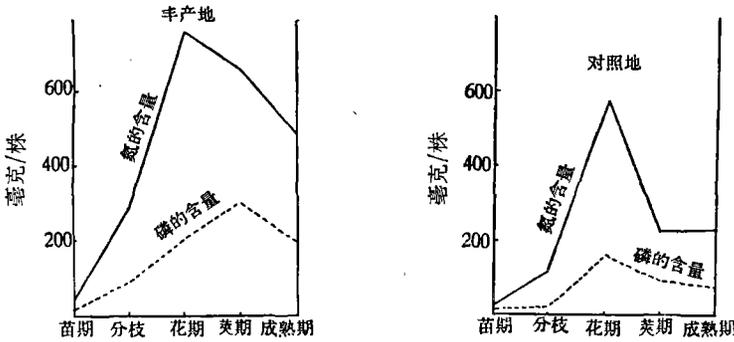


图 7 大豆不同发育阶段植株地上部氮、磷含量的变化

丰产田与对照田不仅在大豆各个生长时期生物化学活性强度有明显的差异，而且它们所呈现的最为活跃的时期也有所不同(图 1—5)。这正如以上所证明的，土壤生物化学活性的变化不仅与土壤的营养动态相关，而且也与作物本身的需求有关(图 6—7)。丰产田各个时期的生物化学活性强度(蛋白酶，脲酶，接触酶的活性)一般均比对照田高。由于土壤中生物化学过程的活跃，营养物质的及时释放，保证了大豆各生育期干物质累积的能量需要。因此，丰产田植株的干物质累积量、累积速度以及植株每昼夜干物质的累积量均大于对照田；而且丰产田植株的干物质累积至荚期仍然在继续进行；而对照田植株干物质的累积在花期后却逐渐下降(图 6)。与此相适应的，植株对于养分(氮、磷)的吸收也出现同样的现象(图 7)。在丰产田中，不仅植株吸收氮与磷的量要比对照田高，更由于丰产田土壤的生物化学过程活跃，养分得以及时释放，因而也保证了作物后期生长的需要，使植株对养分的吸收仍然可以进行，而对照田上的植株则呈明显下降的趋势。丰产田与对照田生物化学活性表现的不同，与大豆最后的产量有一定的相关性，丰产田的产量要比对照田增产 14%(表 1)。

以上情况很明显地说明了大豆在不同的生长阶段，对于环境，尤其是对于土壤有着一定的要求。同时土壤为了满足以及调节作物生长的这种要求，也表现出一定的生物化学特性的改变。在大豆的不同生育阶段，生物化学活性的表现也有所不同；在大豆生长最旺盛，干物质累积速度最大和植株需要养分最多的时期，它们的活性也表现最为明显，最为

活跃(图 1—7)。然而它们之间的关系我们仍然了解得很不够,尤其是土壤生物化学活性的变化和调节过程中所起的作用的实质,尚有待于应用土壤学、农业化学、植物生理学以及土壤微生物学的综合研究材料来深入阐明。

2. 土壤中酶的活性的垂直分布与水平分布

耕地土壤中酶的活性与土壤层次之间存在着紧密的关系。试验结果表明(表 2), 脲

表 2 不同时期各耕层的生物化学活性

| 处理 | 层次 (厘米) | CO ₂ (毫克/克土) | 纤维分解强度 (%) | NH ₃ -N (微克/10 克土) | 蛋白酶 | 脲酶 | 接触酶 | 转化酶 | 磷酸酶 |
|-------|------------|----------------------------|---------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| 幼 苗 期 | | | | | | | | | |
| 丰产田 | 0—10 | 3.58 | 17 | 14.25 | — | 632 | 6.7 | 76 | 0.58 |
| | 10—20 | 2.81 | 1.5 | 10.71 | — | 350 | 4.2 | 55 | 0.72 |
| | 20—40 | 2.63 | 3.3 | 13.56 | 112 | 300 | 4.0 | 78 | 0.54 |
| 对照田 | 0—10 | 2.59 | 11 | 16.02 | 88 | 375 | 5.0 | 106 | 0.68 |
| | 10—20 | 1.99 | 1.9 | 5.08 | 108 | 337 | 4.7 | 74 | 1.05 |
| | 20—40 | 1.27 | 0.2 | 5.22 | 41 | 243 | 3.0 | 46 | 0.81 |
| 盛 花 期 | | | | | | | | | |
| 丰产田 | 0—10 | 4.79 | 12.1 | 10.14 | 400 | 187 | 4.6 | 54 | 0.75 |
| | 10—20 | 1.01 | 7.8 | 10.12 | 240 | 150 | 3.0 | 54 | 0.91 |
| | 20—40 | 1.26 | 22.0 | 2.01 | 224 | 125 | 2.7 | 0.9 | 0.62 |
| 对照田 | 0—10 | 2.59 | 5.9 | 9.63 | 261 | 100 | 3.7 | 88 | 0.48 |
| | 10—20 | 2.66 | 13.0 | 2.53 | 260 | 95 | 3.5 | 85 | 0.72 |
| | 20—40 | 1.31 | 0.8 | 10.21 | 168 | 45 | 1.8 | 26 | 0.69 |
| 结 荚 期 | | | | | | | | | |
| 丰产田 | 0—10 | 3.54 | 12.1 | 26.29 | 296 | 480 | 2.4 | 121 | 0.50 |
| | 10—20 | 2.74 | 32.8 | 26.13 | 192 | 312 | 1.8 | 102 | 0.71 |
| | 20—40 | 1.59 | 10.7 | 13.29 | 144 | 155 | 1.5 | 74 | 0.67 |
| 对照田 | 0—10 | 2.43 | 11.0 | 20.23 | 180 | 300 | 2.0 | 104 | 0.35 |
| | 10—20 | 1.65 | 6.3 | 11.42 | 141 | 162 | 1.4 | 26 | 0.85 |
| | 20—40 | 0.53 | 2.6 | 27.00 | 82 | 55 | 0.7 | 82 | 0.67 |

注: 酶的活性单位同表 1。

酶, 蛋白酶, 接触酶及转化酶的活性随着层次的加深而逐渐减弱。这种明显的层次性与土壤中氮和碳的含量相关, 而且也与土壤微生物数量上的层次性变化相关。至于土壤中磷酸酶的活性的表现则是另一种情况, 它并不以表层为最高, 而以 10—20 厘米为最活跃。其次, 土壤中酶的活性变化的层次性, 并不依作物生长期而改变, 一般仍然是以表层为最活跃, 越深越弱。在作物的各生长期酶的活性变化也以 0—20 厘米层较为明显, 20 厘米以下土壤酶的活性变动较小, 这是耕地土壤耕层的生物化学特征。

在耕地土壤中, 酶的活性除了表现显著的层次外, 尚存在着另一种关系, 即是以植物根系为中心的水平分布。根、根上土壤及根际土壤的活性也显著不同, 以根上土壤为最强(表 3)。

表 3 大豆根及根际土壤酶的活性

| 处 理 | 采 样 部 分 | 脲酶 NH ₄ -N (毫克/克 N) | 接 触 酶 (O ₂ 毫升/克 N) | 轉 化 酶 (还原糖毫克/ 克 N) | 氨化菌数 (×10 ⁹) | 芽孢菌数 (×10 ⁶) |
|------|---------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 号地 | 根 际 土 | 1.135 | — | 0.019 | 32 | 12 |
| | 根 上 土 | 19.25 | 0.0083 | 0.244 | 97 | 85 |
| | 根 | 0.12 | 0.0019 | 0.108 | — | — |
| | 根 瘤 | 3.33 | 0.0105 | 0.095 | — | — |
| 3 号地 | 根 际 土 | 1.517 | — | 0.051 | 41 | 8 |
| | 根 上 土 | 8.10 | 0.0076 | 0.089 | 50 | 1 |
| | 根 | 0.071 | 0.0023 | 0.105 | — | — |
| | 根 瘤 | 3.61 | 0.0170 | 0.333 | — | — |

注：分析时期：盛花期。

試驗結果表明，就层次而言，在 0—20 厘米的耕层中酶的活性最为活跃；以植物为中心而言，在与植物根系紧密相連的土壤中酶的活性为最强。因此，可以认为在耕作土壤中，这部分土壤是最主要的部分，是保证、调节和适时供应植物营养需要和辅助物质的部分。另外，这一部分土壤不仅在微生物数量上为最多，而且在組成上也出现该作物固有的专一性的微生物羣^[10,12]。由此可见，把这一部分土壤作为活体来深入研究，是揭露耕作土壤实质的主要关键之一。

3. 土壤中生物活性物质的来源及其状况

前面已经证明，土壤中酶的活性和土壤中游离氨基酸的含量，在一定程度上反映了土壤所处的状况，并与植物生长和最终产量有直接关系(表 1)。因此，有必要进一步了解它们在土壤中的来源、累积和所处的状况。

对于土壤中这些生物活性物质的来源，文献上存在着不同的看法，有人认为它与植物的根分泌及植物根的残留在土壤中有关系，也有人认为这与土壤的微生物活动相关^[13,14,15]。为了说明这一问题，我们曾进行了一组试验，在大豆生长最旺盛时期，即植物需要养分最多、根分泌也最旺盛的花期，从田间取 0—20 厘米层的根及土壤进行分析。将易脱离根的土壤作为根际土壤，紧密附着在根上用水冲洗下来的土壤作为根上土。此外，把洗去了土壤的根与根瘤分开，分别研碎。分别进行根际土、根上土、根和根瘤的脲酶、接触酶及转化酶的分析。

从根际土、根上土及根的酶的活性分析结果来看，根际与根上土壤的脲酶、接触酶、转化酶的活性均比根的酶的活性高，其中以根上土壤为最高。根上土比根际土大 12 倍，而比根大 160 倍。从根瘤与根的酶的活性比较来看，根瘤中酶的活性也比根高得多。微生物学分析资料也说明，根上土壤的微生物数量也最多。这一切都说明土壤酶的活性来源不能不与微生物紧密相关。

其次，从我们在灭菌条件下接种根瘤菌与不接种根瘤菌的盆栽试验结果来看，在根瘤未形成之前，不论是接种或不接种的砂中，游离氨基酸含量均比较低。随着根瘤的形成，砂中游离氨基酸含量明显增加。接种根瘤菌形成根瘤的盆中要比不接种根瘤菌不形成根瘤的盆中高得多。其次，从根上的游离氨基酸含量分析来看，也有类似的情况，接种根瘤菌的要比未接种的高，相反的，根中可溶性糖类含量减低。如果从根与根瘤中游离氨基酸

含量对比来看,游离氨基酸主要集中于根瘤。这也说明土壤中游离氨基酸的含量与土壤中微生物活动相关,也与酶的活动相关。大田试验也同样证实了土壤中游离氨基酸量随着土壤中酶的活性和微生物数量的增加而增加。土壤中生物活性物质的来源虽然认为主要取决于土壤微生物的活动,但把土壤作为一个整体来研究,植物根系本身的生物活性物质以及它们的分泌仍然是相当重要的。由于植物根分泌物的不同,能选择和集聚一定的土壤微生物在其根际活动,它们之间是相互影响的,因此对它的作用不应忽视。

关于土壤中生物活性物质在土壤中累积的问题,前人也进行了一些工作,他们认为,土壤的吸附性能对生物活性物质在土壤中的累积具有重要的意义^[16,17,18]。土壤对各种酶具有吸附作用,处于吸附状态的酶不仅不失去活性,而且能防止其他微生物的分解。在土壤中所起积极作用的酶是处于吸附状态的。我们过去的研究工作同样证明了这一点,土壤对酶具有强烈的吸附作用,并随接触时间的延长而大大增加。我们在进行土壤酶分析时,同样也发现被吸附了的酶并不失去活性,仍然对基质起积极的作用。例如,用水,甚至于用缓冲溶液抽提土壤时,抽提液中酶的活性或者很低,或者无活性;相反的,如果基质与土壤相接触,则酶的活性就会明显地表现出来。正因为如此,土壤中酶的活性才被保存并长久保持其特殊功能。

土壤除了对酶具有强烈的吸附作用外,同样对其他生物活性物质也有强烈的吸附作用,我们的实验结果表明,土壤能吸附大量的维生素 B₁ (表 4)。

表 4 土壤对维生素的吸附作用

| 处 理 | 荧光比色计读数 (毫升) |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 100 克土壤用 100 毫升水抽提 | 11/10 |
| 10 微克维生素 B ₁ 溶于 100 毫升水中 | 75/10 |
| 100 克土壤加 10 微克维生素 B ₁ 用 100 毫升水抽提 | 13/10 |
| 100 克土壤加 10 微克维生素 B ₁ 用 100 毫升 0.1N HCl 抽提 | 15/10 |
| 100 克土壤加 10 微克维生素 B ₁ 用 100 毫升 0.1N HCl 的 25% KCl 溶液抽提二次 | 61/10 |

注:维生素 B₁ 的测定为将待测液 10 毫升,用碱性铁氰化钾将维生素 B₁ 转变为硫色素后用异丁醇提取,进行荧光测定。

被吸附了的维生素,同样也能为植物所利用,植物对于这部分物质的利用,认为可以由两方面进行:一方面是由于与根直接接触而吸收,另一方面是由于根系的代换反应,生物活性物质被解吸附而利用。例如,我们的试验证明,如果用酸性氯化钾溶液可把被土壤吸附的维生素洗脱出来(表 4)。

土壤具有如此强大的吸附性能,它不但吸附土壤中的酶和土壤中其他的生物活性物质,而且也吸附土壤微生物^[19],因而构成了一个特殊的有机体——生物-有机-无机的复合体。因此,只有了解这一特殊有机体的生化实质,了解它的代谢过程,才是解决土壤肥力实质和定向培育丰产土壤的主要关键。

三、结 论

1. 土壤中生物化学活性的变化在一定程度上反映了土壤所处的状况。施肥能明显地改变土壤的生物化学活性,增加土壤中蛋白酶,脲酶,脱氢酶,接触酶的活性,增加土壤吸

附作用的强度，纤维素分解作用的强度以及增加土壤游离氨基酸的含量。

2. 土壤中生物化学活性的变化与土壤中养分动态和植物阶段发育相关。在作物生长最旺盛、植株干物质累积速度最快和需要养分最多的时期，土壤中生物化学活性也最为活跃。试验结果表明，丰产田由于土壤中生物化学过程积极进行，供应了作物生长的需要，导致了最后的增产。因此，土壤中的生物化学活动，是调节和适时供应植物生长所需要的条件的主要关键。

3. 耕地土壤中生物化学活性具有垂直及水平分布的特征。从土壤层次而言，一般以0—20厘米土层的活性最为活跃，并随作物的不同生长期而有明显的变化。20厘米以下土层中酶的活性较弱，在作物不同生长期中变化也较小。以植物根系而言，一般以与根紧密相连接的土壤中的酶活性最高。

4. 土壤中的生物活性物质来源主要与土壤中微生物的活动相关，虽然根也分泌这些物质，可以认为它只是作为进一步刺激、活化土壤微生物的活动和增加对这些物质分泌的因子。

5. 土壤中生物活性物质主要是处于被吸附的状态，构成了土壤这一生物-有机-无机特殊的有机体。这一特殊有机体是实现和调节土壤与植物间供与求的矛盾统一过程的动力。只有详细研究这一特殊有机体的生物化学变化及其代谢过程的特征，才能揭露土壤肥力的实质和定向地培育丰产土壤。

参 考 文 献

- [1] Купревич, В. Ф.: 1951. Биологическая активность почвы и методы её определения. ДАН СССР, 79, 863.
- [2] Купревич, В. Ф.: 1958. Вопросы почвенной энзимологии. Вест. АН СССР, № 4, 52.
- [3] Дробник, Я.: 1957. Изучение биологических превращении органических веществ в почве. Почвоведение, № 12, 62.
- [4] Hofmann, E.: 1955. Über die Rolle der Enzyme bei Humus bildung. Z. Pfla. Düng Boden, 69, 15.
- [5] Александрова, И. В.: 1959. О методе определения активности некоторых почвенных ферментов. Почвоведение, № 9, 73.
- [6] Pauli, F. W.: 1958. 在研究腐殖质中的一些现代的方向。(J. Sci. Africa Forest Assoc. No. 32, 8—25. 引自生物学文摘, 土壤学部分, 1823 (1960)).
- [7] Крмер, М.: 1959. Применение метода определения активности фосфатазы в агрохимических исследованиях. Почвоведение, № 9, 99.
- [8] Красильников, Н. А.: 1958. Микроорганизмы почвы и высшие растения. стр. 214—275, Изд. АН СССР, Москва.
- [9] Nallace, R. H., Lochhead, A. G.: 1950. Qualitative studies of soil microorganisms IX, Amino acid requirements of rhizosphere bacteria. Can. J. Research C 28, 1.
- [10] Власюк, П. А.: 1957. Интенсивность действия ферментов в ризосфере отдельных сельскохозяйственных культур. Докл. ВАСХНИЛ, вып. 3.
- [11] Красильников, Н. А.: 1958. Микроорганизмы почвы и высшие растения. стр. 275—322, Изд. АН СССР, Москва.
- [12] Возняковская, Ю. М.: 1958. Состав корневой микрофлор в некоторых растений. Микробиология, 27, 61.
- [13] Кацнельсон, Р. С., Ермов, В. В.: 1957. Исследование микрофлоры целинных и окультуренных почв Карельская АССР. Микробиология, 26, 468.
- [14] Гебгард, А. Г., Козальчук, С. И.: 1958. Влияние внесения азотобактера на содержания витаминов в почве и в проростках овса. Микробиология, 27, 331.
- [15] Rovira, A. D.: Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect. Plant and Soil, 7, 178 (1956). Plant and Soil, 7, 195 (1956). Plant and Soil, 7, 209 (1956).

- [16] 张宪武、許光輝: 1959. 中国科学院林业土壤研究所十年来研究主要成果。微生物学通訊, 1, 184.
- [17] Киш, И., Балинт, И.: 1959. Данные к изучению накопление энзимов в почве. Изд. АН СССР, Серия биол., № 2, 215.
- [18] Гебгард, А. Г., Репицкий, Р. Ф., Штейнберг, Э. К.: 1960. О стоянии тиамина в почве. Изд. АН СССР, Серия биол., № 3, 401.
- [19] Виноградский, С. Н.: 1952. Адсорбция микроорганизмов частицами почвы. в кн. Микробиология почвы, стр. 396, Изд. АН СССР, Москва.

BIOCHEMICAL ACTIVITIES OF SOILS POSSESSING HIGH YIELD OF SOYBEAN

H. W. CHANG AND H. Y. CHENG

(Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica)

(SUMMARY)

For understanding correlations between the high yield of soybean and the biochemical characteristics of the soils, field experiments were carried out with different fertilizer treatments. In one series of the plots both organic manure and chemical fertilizers were applied, while in the second series only organic manure was used. A third series without fertilizer treatment was taken as control. The biochemical activities of the soil were studied at different growing stages of soybean.

Results of present experiments showed that there are definite correlations between the yield of soybean and the biochemical activities of the soil, including enzyme activities, respiration and rate of cellulose decomposition. Good correlations are also found between the yield of soybean and amount of free amino acids present in the soil. The origin of the enzyme activities and the active substances in the soil also show an intimate relationship with the soil microflora. Soil particles possess great absorptive power for the enzymes, other active substances, and soil microorganisms without any inhibition of their activities.