

晚近同位素应用于土壤学和农业化学研究的成就

魯如坤

(中国科学院土壤研究所)

由于核子物理学的长足进步,特别是同位素人工制备方法的发现和原子反应堆的兴建,放射性同位素目前已广泛地用于几乎是自然科学的所有领域,可以制备的同位素已达 1000 种左右,通常用于同位素方法的也有数十种之多。

今天在土壤学和农业化学方面,常用的已有十数种之多,它们是: P^{32} 、 S^{35} 、 Ca^{45} 、 C^{14} 、 Sr^{90} 、 Zn^{65} 、 K^{42} 、 Co^{60} 、 Fe^{59} 、 Na^{22} 、 I^{131} 等,在稳定性同位素方面,最常用的是 N^{15} 。

现在分几个方面,把同位素在土壤学和农业化学研究中应用的成就,简要介绍如下。

关于磷的研究

P^{32} 的使用,在应用同位素的工作中,占着极大的比重,其中大部分集中于磷素在土壤中的分布和转化及其对作物营养的关系这一方面。

大量的工作一致证明,各种作物对于集中施用在种子附近的磷,可以极为强烈地吸收,但随着不断的生长,在吸磷总量中,来自肥料的部分即逐渐减低。这种现象,一般认为是由于根系的不断壮大,增大了对土壤中磷的吸收所致。比如玉米和马铃薯比较起来,前者在这方面表现得就明显得多,这显然是由于它们不同的根系特点所造成的。这一方面说明不同作物对于磷的施用部位有不同的要求,另一方面也说明对大部分作物来说,浅施的磷肥只能在生长前期满足作物对磷的需求。最近 Гулякин^[1] 的报告说明过磷酸钙施在 18—22 厘米深处和施在 7—8 厘米处比较起来,植物对于肥料中的磷的利用在第一种情况下要高得多,而在浅施时,只能在出苗后两周内保证植物的磷素营养。但 Абумалыбов^[2] 发现在深施磷肥(25 厘米)时,棉花要在出苗 35 天以后,在植株中才有放射性出现,也就是说在 35 天以前,棉花幼株无法利用肥料中的磷素。我们都知道,磷素对于植物早期的发育具有极为重大的意义,早期缺磷所造成的不良影响,即使在后期有充分磷素供应时,也不易消除。

因此,很多工作者在浅施和深施相配合的情况下,

获得了良好的结果。这时磷肥可以保证植物整个生长期中磷的营养。

同时,同位素 P^{32} 的应用,改变了人们对于磷肥利用率过低的概念,例如 Соколов^[3] 的工作证明,在同一试验中用一般差异法所得的利用率为 10% 左右,而用示踪法所得到的却为 68%。但是,不应该因此而忽视某些土壤对磷的强烈固定作用,因为这一情况只有在施用磷肥、减弱了植物对土壤磷的吸收时才能产生。大量的结果证明,在很多情况下,磷肥用量并不引起植物对土壤磷吸收的显著影响,甚至在某些情况下,可以发现磷肥的施用,也同时提高了植物对土壤磷的利用。根据示踪原子法所得的结果,一般磷肥的利用率在 2—35% 之间。

颗粒磷肥的粒径,显然会大大地影响磷肥在土壤中分布的频率,从而也必然影响其肥效,最近 Дми-ренко^[4] 证明,最适的粒肥粒径最好是在 1—2 毫米甚至更小些。但是,最适粒径的确定要考虑到土壤性质。

磷在土壤中的运动,主要由于两个动力,一个是重力的影响,另一个是扩散作用。Heslop^[5] 发现在一个月的时间中,肥料中磷的扩散只有 3—4 厘米,Липкин^[6] 最近的工作证明磷(P^{32})不仅能向下运动,而且可以向所有方向移动,他发现在不同的土壤条件下, P^{32} 可向上运动 2 厘米左右,向下移动 9—10 厘米,而水平方向为 4—5 厘米。显然,运动的距离和肥料用量、肥料性质等有关,土壤性质也有重大影响。一般说,在石灰性土壤中运动要比在酸性土中为弱,而在水稻土中^[7] 又比在旱作田中为强。在水稻土中磷的运动和其氧化-还原势有密切关系。Lawton^[8] 等则发现了粒状磷肥中磷的运动迅速,在一天的时间内,甚至在土壤水分很低时,也有 20—50% 的磷由粒肥中扩散出来。

P^{32} 也用来评价各种磷肥的肥效和后效^[9],在酸性土壤上,偏磷酸钙对不同作物都有良好效果,但磷酸二钙在条施时的肥效则逊于混合集中施用,这时它的肥效可以相当于过磷酸钙。经中子照射后的放射性磷灰

土壤氮素

石的肥效則和土壤酸度有密切关系。在中性和硷性土壤上,各种磷肥的效果有如下次序:过磷酸钙>磷酸一鉍>偏磷酸钙>磷酸二钙>磷酸三钙。其中磷酸二钙的肥效則視施用時間、土壤性質和作物品种不同而有較大差异。

在后效方面,过磷酸钙和偏磷酸钙相近,而融成磷肥的后效在酸性土壤上較高,而在石灰性土壤上則較差。

关于代換現象

土壤中的代換現象是土壤的根本过程之一,由于这一过程牽涉到一系列的土壤化学和植物营养問題,它受到土壤学者的巨大注意是很自然的。实际上,这一原理的最初应用就是用来研究植物对 K^{42} 和 Na^{22} 的接触吸收和間接吸收作用^[10]。后来, Wiklander^[11] 也用同位素代換的方法来研究鉀素的固定問題。关于这方面的文獻,特別是关于磷的研究,馬亭格里有着全面的总结^[12],但是他对于苏联学者的成就提到較少,因此,这里将着重介紹苏联在这一方面的某些成果。

Сердобольский^[13] 用人工制备的难溶性磷酸盐研究了同位素代換作用,他認為磷酸离子的代換作用,在本質上和吸附代換作用是两个不同的过程,因为在絕大部分情况下,土壤都是荷負电的,因此,磷酸离子不可能以“补偿离子”状态存在,而更可能的是这些磷酸离子以化学吸附状态存在于“电位决定离子”层內,Иванов^[14] 进一步証实了这一概念。作者用生草灰化土和泥炭土进行的試驗証明,这些土壤对磷酸离子吸收的等溫綫完全符合于 Fervei 公式($X = K_2 + K_1 \ln C$),作者同时发现,以化学化合物状态存在的磷酸离子和以吸附状态存在的磷酸离子,在同位素解吸方面有巨大的差异,从而有可能根据其同位素解吸曲綫来区别磷酸离子的存在状态。

Иванов 还証明,当土壤和泥炭吸附磷酸离子时,也同时增加了对“补偿离子”的吸附,因此,必然导致阳离子代換量的增加。在同一作者以后的工作中^[15] 証明,在耕层中表面吸附的磷主要是与活性鋁結合,而在 A_2 和 B_1 层,則主要与活性鉄相結合。

Поляков^[16] 研究了不同价离子之間的交換規律。由于应用了同位素方法,作者得以在极接近于自然的情况下,測得 NH_4^+ 、 K^+ 和 Ca^{++} 之間的交換常数,并从而計算出这一代換作用的某些热力学数据(ΔH_{298}° , ΔF_{298}° , ΔS_{298}° 等),根据这些数据,作者認為 $GNH_4^+ + Ca^{++}$ 和 $GNH_4^+ + K^+$ 的代換过程是自动进行的,吸附化合物 GCa^{++} 和 GK^+ 比 GNH_4^+ 更为稳定。

应用 N^{15} 来研究土壤的氮素問題,主要集中在氮肥的肥效、氮素的生物固定和氮素在土壤中的轉化(包括矿化)等几个主要方面。

很多工作証明,氮肥的利用率可以变动在极大的范围(由 10% 到 100%)^[17,18]。在利用率很小时,并不一定就是植株生长不良,甚至不一定表示氮肥的无效,作者认为这是由于土壤中氮素的消耗并不仅仅是由于作物的吸收,他如生物体的固定、土壤的固定、反硝化作用、淋失作用等,均足以減少土壤中的有效性氮素,在氮肥利用率低而却又表现出氮肥的效果时,是由于施入的氮素代替了某一氮素的消耗途径。另一些結果表明,植物对加入的氮肥的吸收,也并不經常伴随着产量的增加。这主要决定于土壤有效性氮素的水平。

Церлинг^[19] 的研究說明蛋白質的更新,在幼植物中进行得最为强烈,追肥的效果在很大程度上和播种前所用氮肥的数量和状态有关,并且发现氮肥的分次施用所有的条件下都优于一次施用(用量相同)。

土壤中氮素的轉化,一直是土壤学者注意的一个焦点。Broadbent 等^[20] 用 N^{15} 作的試驗,发现能源物質的加入能够促使土壤腐殖質中氮素的释放。因此,他認為,土壤中有機氮素之所以难于为植物利用,与其說是由于更难分解的有机物的形成,毋宁說是由于土壤中能源物質的缺乏。这里順便提一下,根据这一結論,也必然要承認土壤有机質中的碳素,在某些情况下,也应该可以容易地为微生物利用。这样一来,能源物質的加入,将会引起土壤有机物質的某些耗損。应用 C^{14} 的很多工作^[21,22] 都証明加入植物莖秆时,可引起土壤中碳素的減少,只有在用量高达每亩 12 吨时,土壤有机質才有增加,这一現象似乎并沒有为大家所一致公認,因为它和长期以来人們所共知的綠肥施用可以增加土壤有机質这一概念相矛盾。但也有人建議,为了增加土壤有机質,在用植物有机体作肥料时,应少施几次,但每次用量要大,而不要次数多而用量少。

在氮素轉化方面另一重要作用是“反硝化作用”,这一作用所以受到重視,是因为它可导致氮素的損失。Broadbent^[23] 研究了土壤中氧分压对氮素轉化的影响,发现在氧分压特低时,氮素的損失在 70—80%,而在正常的通气情况下(旱作)为 16—25%。Wijler^[24] 等証明,氮素除去以 N_2 的状态損失以外,也可以以 N_2O 和 NO 的状态逆失,而且这些以气态逆出的氮素全部来自硝酸盐而不是来自鉍盐,在厌气条件下,酸性土

壤的反硝化作用比中性或硷性土壤为弱。

此外苏联学者 Турчин^[25] 的极为细致的工作发现,在根瘤菌体中,完全没有 N^{15} 或者含量极少,而在根瘤组织的汁液中,则有大量的 N^{15} 存在。因此,他认为豆科植物的固氮作用不是在根瘤菌体中进行的,而是在根瘤组织中进行的,根瘤菌的作用似乎在于促使这种特殊的根瘤组织的形成。这一发现,无疑地将对今后根瘤菌的研究和应用,产生深远影响。

根 外 营 养

同位素方法的应用,使得根外营养的研究有了极大的进展,目前不但知道植物可以通过叶子吸收养分,甚至也可通过茎、花和果实吸收。现在,在国内外,根外追肥已经在农业上大规模应用。

在根外营养方面,苏联学者的研究工作占有重要地位,Якушкин^[26] 等工作证明,磷、钾的根外追肥对于甜菜有巨大的良好作用。Гриненко^[27] 对于棉花的根外营养进行了有价值的研究。Иванников^[28] 并证明了根外追肥对谷类作物的增产效果,此外,对于蔬菜和果树的根外追肥也曾进行了大量的研究,对于某些微量元素的根外营养也进行了不少工作^[29],并得到了良好的效果。

根外追肥的优越性是大家所熟知的,除去施用方便,不受土壤和田间条件的某些限制以外,根外施用的利用率远远超过根部施用,它有时可以高达 50—70%,甚至可达 95%。Дадькин^[30] 发现在气候寒冷的地区植物很难利用土壤中的氮素,而对根外施用的氮却能很好利用,有时根外营养也被用来防治植物病害。

但是,必须指出,根外追肥远不是在所有情况下都能得到预期的效果,这除去受到一系列的环境因素和施用技术(在这方面曾进行了大量的研究)的限制以外,另一个重要原因是对于根外营养的生理生化本性研究得极少。最初,人们似乎认为根外追肥和根际施肥一样,只是施肥的方式之一而已。但是,这种看法,很自然地引起人们的怀疑:从根部进入的、并经过一系列复杂转化到达叶茎部分的养分,和直接从叶茎进入的养分,难道在对植物的生理上的作用完全相同吗?这一问题,较早的 Мацков^[31] 的工作和其后 Сербин^[32]、Гриненко^[27] 等人的工作作了回答。研究证明,这一特殊的营养方式,对于光合作用、呼吸作用,对于碳素和氮素的代谢,对于植物的氧化-还原状况,对于各种酶的作用,均有重大影响。但由于这种影响极为复杂,到目前为止仍未完全研究清楚。最近 Иконенко^[33] 的工作证明,植物的根际营养和根外营

养及空气营养之间存在着密切关系。

植物既然可以从叶部吸收养分,那么,雨水或其他因素是否也能使养分从叶部淋失呢? Тикей^[34] 的试验证明,用水洗 48 小时,被根部吸到叶中的 P^{32} ,没有什么淋失现象,但 Егоров^[35] 发现在雨水长时间的淋洗下,已被吸收的 P^{32} 有某些损失。最近 Тикей^[36] 在这方面进行了系统的工作,他按被淋失难易程度,把离子分为三类: Na^{24} , Mn^{54} 最易淋失; Ca^{45} , Mg^{28} , S^{35} , K^{42} , Sr^{90} — Y^{90} 其次; Fe^{59} , Zn^{65} , P^{32} , Cl^{36} 最难淋失。同时发现某些有机物质也有淋失的可能,其淋失的程度和光照强度呈正相关。

土壤天然放射性元素和重核裂变产物

关于土壤中天然放射性元素的含量和分布以及重核裂变产物在土壤中的转化和与植物吸收的关系等问题,最近几年来愈来愈受到土壤和农化工作者的重视,这不仅是因为要解决土壤中所含有的极为微量的放射性元素对植物生长的影响这个长久以来争论的问题,而且也因为某些重核裂变产物可能危害人类。例如 Власюк^[37] 最近发现在 1956—1958 年间,某些作物中天然放射强度大大地增加了,分析结果表明这是由于大地和空气受到人为的放射性污染所致。

在比较早的工作中, Jacobson^[38] 研究了植物对于裂变产物 (Sr , Y , Zr , Cb , Cl) 吸收的可能性,发现大麦和豌豆都可以吸收上述元素,但却绝大部分集中在根部,不过 Sr 例外,它可以相当强烈地被吸收至植株的地上部分,并且发现当每克土壤的放射性达到 0.1 微居里时,植株即受到严重毒害。Rediske^[39] 发现植物地上部分和土壤中 Sr 的浓度比 > 1 ,大麦甚至能把土壤中 2% 以上的放射性 Sr 吸收。因此,某些对人体有严重危害的裂变产物就有可能通过作物而进入人的身体。为此,很多人对这些微量的物质在土壤中的转化和植物对这些物质吸收的特点进行了研究,企图通过对这些问题的了解,来防止进入人体的可能。Menzel^[40] 研究了植物对于 Sr , Rn , Cs , K , Ca 等的选择吸收,发现植物对于 Sr 的吸收和土壤代换性钙量呈反相关。对于 Ru 和 Cs 的吸收则和土壤中的有效性钾量呈反相关,最近 Клечковский 等^[41], Martin^[42] 和 Romney^[43] 的研究证明: Cs^{137} , Sr^{90} 作为一类和 Ru^{106} , Zr^{95} 作为一类,在植物体内的分布和植物的吸收方面是完全不同的,前者大量集中于茎叶部分,而后者则主要集中于根部, Cs 和 Sr 均可以离子代换方式被土壤吸收。但是 Sr 极易为中性盐类所代换,而 Cs 则较难。这样使得 Sr 更易为植物吸收。施肥对于这些元

素的吸收有显著影响。施用钾肥可以降低作物茎秆和籽实中的 Sr 和 Cs 的含量,而氮肥似有相反影响。施用石灰,可以大大降低 Sr 的吸收。

土壤中的天然放射性元素主要是铀、钍、锕系、钾、铷、铯等^[44]。在不同母质的土壤中,它们的天然放射性强度极为不同,一般說,在噴出岩母质上所发育的土壤,其放射性高于沉积岩母质的土壤,而在酸性噴出岩上发育的土壤的放射性,又高于基性噴出岩上所发育的土壤。

铀的平均含量为 $1.10 \times 10^{-4}\%$,通常愈近母质含量愈多,在石灰性土壤和有机质土壤的溶液中,铀极活泼,并形成易溶性的复盐,因而它极易淋失,在灰化土、红壤和轻质土壤的表层,这种淋失作用进行的特别明显。钍则相反,它较难淋失。因此,在土壤的发育过程中就相对地积累起来,特别是在表层。它在土壤中的平均含量为 $6.10 \times 10^{-4}\%$,钍在土壤中的含量为 $8.10 \times 10^{-11}\%$,愈近表层含量愈大,而镭在土壤中含量很少。

Гродзинский^[45]测定了采自不同地区的 400 种以上的植物样本,他发现各种植物的放射性强度有极大差别(相差达 250 倍),而且,植物的放射性强度并不常与土壤放射性强度呈正相关,他认为这是由于植物的选择吸收能力所致。

同一作者发现植物的放射性并不象有些人认为的是由于体内的钾素所引起,在很多情况下,钾的放射性只占总放射性的 1—4%。他认为大部分是由于铀的放射性所引起的。

关于天然放射性元素对作物生长的关系,Жежель^[46]用大麦(20 次重复)进行了盆栽试验,他发现微量 Ra^{226} 、 Sr^{90} 、 Co^{60} 、 K^{40} 的存在,均能导致作物极显著的增产,增产幅度高达 20—47%。

关于天然放射性元素和重核裂变产物的研究,应该说只是刚刚开始,但它的研究有可能成为今后土壤和农化方面的重要课题。

关于某些方法的研究

土壤中吸附状态的钙离子极易进行同位素代换,因此,就有可能利用这一原理来测定土壤的代换量。Рыдкий^[47]和 Blume^[48]等均曾用 Ca^{45} 进行土壤代换量的测定,证明当土壤中有游离 $CaCO_3$ 存在时, Ca^{45} 和 $CaCO_3$ 之间的同位素代换作用不至影响结果。最近有人曾用 Blume 法和常用方法进行了比较研究,也得到满意结果。但这种方法用于酸性土壤上则有困难,Рыдкий 以后的工作在某种程度上弥补了这个缺陷,

但操作手续和常用的方法比较起来,虽有所精简,但仍嫌繁复,今天似乎还没有被广泛采用。

另一种应用同位素的方法是用中子或 γ -射线来测定土壤水分^[49,50],这一方法具有比常法更多的优点,但这个方法的缺点是在同时对不同土壤类型进行测量时,要进行某些变数的校正,否则结果不稳定。但这一方法在研究水分动态上有着极大的优点。

中子和 γ -射线也用来测定土壤的蒸发、雪水当量、土壤比重等。

此外,曾有人用 Ca^{45} 、 Na^{22} 、 I^{131} 等来鉴定灌溉水的品质、研究洗盐效果和地下水运动等,并获得了良好的结果。

同位素方法在应用上所存在的两个问题

在生物学上应用示踪原子法的一个根本原则是:用作标记的原子,在其生物学的一切作用方面,应该全同于被标记的原子。以放射性同位素說,就是示踪原子的射线及其原子质量数上的差异,不应影响研究对象的一切自然过程。为此,在应用示踪原子法时,就必须首先考虑二个問題,一个是这些原子的电离射线对生物产生什么影响,在不同条件下的影响程度如何?另一个是示踪原子质量数的差异,对这些原子各方面性质的影响如何?一般认为,第二个問題在大多数情况下是不存在的,因为这种差别不大(如 P^{31} 和 P^{32}),但重氢除外;至于第一个問題,也认为在通常的用量下,射线的影响可以忽略,但是根据最近的一些报导来看,問題似乎不是那么简单。例如早些时候 Власюк^[51]曾报导过,磷、钙的放射性同位素在进入植株的速度方面,比其稳定性同位素要慢 10—50 倍,这种巨大的差异是极为令人惊异的,但是后来在 Клечковский^[51]的工作中并未得到证实。最近 Yuan^[52]也报导了 P^{31} 和 P^{32} 的不同行为。

在射线的影响方面,报导极多,但却极为紊乱。一部分作者报告說在用量极低时(甚至每盆只有几个微居里)即可对作物产生影响。另一部分作者报告說在甚大的用量时(数千微居里/克 P^{31}),也并未发生危害作用,这些现象由于它牵涉到同位素在生物学上的根本原理,必须引起足够的重视,这是确定“指示剂量”的根本依据。这一工作从现在大量研究的“电离辐射对于生物的影响”这一問題来看,更加具有重大意义。

* * *

我国在和平利用原子能方面,已经有了良好的开端,我们深信在党的领导和关怀下,在最近的将来,同位素的应用必定在我国开出灿烂的花果来。

- [1] Гулякин И. В. и др., В кн. "Всесоюзная конф. по применению изотопов и излучений", Изд. АН СССР, М., 1958.
- [2] Абумалыбов М. Г., Тезисы докладов на научной конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в с.-х., 1958.
- [3] Соколов А. В., В кн. "Применение изотопов при агрохимических и почвенных исследованиях", Изд. АН СССР, М., 1955.
- [4] Дмитренко Л. А., В кн. "Всесоюзная конф. по применению изотопов и излучений", Изд. АН СССР, М., 1958.
- [5] Nesler, J. M. et al., *Soil Sci.*, **78**, 389, 1954.
- [6] Липчинд И. М., В кн. "Всесоюзная конф. по применению изотопов и излучений". Изд. АН СССР, М., 1958.
- [7] Неунылов Б. А., Тезисы докладов на научной конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в с.-х., 1958.
- [8] Lowton, K. et al., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **18**, 26, 1954.
- [9] Dean, L. A., A conference on radioactive isotopes in agriculture, 1956.
- [10] Jenny, H. et al., *Soil Sci.*, **48**, 9, 1939.
- [11] Wiklander, L., *Soil Sci.*, **69**, 261, 1950.
- [12] G. E. G. 馬亭格里, 土壤譯報, 第3期, 1958.
- [13] Сердобольский И. П., *Почвоведение*, № 7, 1955.
- [14] Иванов С. Н., *Почвоведение* № 7, 1955.
- [15] Иванов С. Н., *Почвоведение* № 7, 1957.
- [16] Антипов-Каратаев И. Н., В кн. "Применение изотопов в механике, биологии и с.-х.", Изд. АН СССР, М., 1955.
- [17] Norman, A. G. et al., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **10**, 191, 1945.
- [18] Bartholomew, W. V., *Soil Sci.*, **73**, 193, 1952.
- [19] Церлинг В. В., В кн. "Всесоюзная конф. по применению изотопов и излучений", Изд. АН СССР, М., 1958.
- [20] Broadbent P. E. et al., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **11**, 264, 1946.
- [21] Hallam M. J., *Ibid*, **17**, 365, 1953.
- [22] Plice M. J., *Ibid*, **15**, 238, 1951.
- [23] Broadbent P. E. et al., *Ibid*, **16**, 359, 1952.
- [24] Wijler J. et al., *Plant and Soil*, **5**, 155, 1954.
- [25] Турчин Ф. В., в кн. "Всесоюзная конф. по применению изотопов и излучений", Изд. АН СССР, М., 1958.
- [26] Якушкин И. В. и др., *Агробиология*, № 4, 1952.
- [27] Гриненко В. В. и др., *физиология растения*, № 2, 132, 1955.
- [28] Иванников В. Ф., Докл. ТСХА, вып. 18, 1954.
- [29] Camp A. F., *J. Agri. Food Chem.*, **1** (4), 1953.
- [30] Дадыкин В. П., Сборник "Внекорневая подкормка с.-х. растений", Сельхозгиз, 1955.
- [31] Мацков Ф. Ф., Подкормка растений через листья, Киев, 1952.
- [32] Сербин С. С., *Агробиология*, № 5, 1954.
- [33] Иконенко Т. К., Тезисы докладов на научной конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в с.-х., 1958.
- [34] Tukey H. B., *Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic energy*, vol. 12, 1955.
- [35] Егоров А. В., *Известия ТСХА*, № 3, 1957.
- [36] Tukey H. B., *Proc. of the first (UNESCO) Intern. conference*, 1958.
- [37] Власюк П. А., Доклады ВАСХНИЛ, вып. 2, 1959.
- [38] Jacobson L. et al., *Soil Sci.*, **65**, 129, 1948.
- [39] Rediske J. H. et al., *Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, vol. 12, 1955.
- [40] Mengel R. G., *Soil Sci.*, **77**, 419, 1954.
- [41] Клечковский В. М., *Почвоведение*, № 3, 1958.
- [42] Martin R. P., *Proc. of the First (UNESCO) Intern. Conf.*, p. 173, 1958.
- [43] Romney E. M., *Soil Sci.*, **87**, 42, 1959.
- [44] Андреева Е., 未发表資料.
- [45] Гродзинский Д. М., Тезисы докладов на научной конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в с.-х., 1958.
- [46] Жежель Н. Г., Тоже.
- [47] Рыдкий С. Г., В кн. "Меченые атомы в исследованиях питания растений и применения удобрений", Изд. АН СССР, М., 1955.
- [48] Blume J., *Soil Sci.*, **77**, 9, 1954.
- [49] Gardner W. et al., *Ibid*, **73**, 391, 1952.
- [50] Данилин А. И., В кн. "Всесоюзная конф. по применению изотопов и излучений", Изд. АН СССР, М., 1958.
- [51] Клочковский В. М., тоже.
- [52] Yuan T. L., *Soil Sci.*, **86**, 220, 1958.