

用 ^{75}Se 对土壤-小麦系统中硒转移规律研究

李书鼎 曾建华

(中国科学院沈阳应用生态研究所)

摘 要

本文采用 $^{75}\text{Se}_2\text{O}$ 作示踪剂,通过盆栽试验,对暗棕色森林土-小麦系统中,硒从土壤向小麦籽实的运转问题进行了初步探讨。硒转移规律的研究为合理使用微量元素硒肥,提高小麦中硒含量,从而提高人对硒的摄入量,防治某些地方病提供了理论依据。

关键词:放射性示踪实验,小麦Se累积,土壤-小麦系统,低硒土壤,硒传输。

研究人体所必需的微量元素在土壤-植物系统中的迁移变化规律,对于揭示严重危害人体健康的疾病(如大骨节病、克山病等)的致病因子有着重要的意义。

一、材料和方法

自辽宁桓仁县取暗棕色森林土。风干后过3mm筛,加入 SeO_2 水溶液使土壤中硒含量达到0.131ppm和1.631ppm两个等级。在本所防鸟实验场盆栽小麦(品种为5291)。每盆土重6.5kg,含 $^{75}\text{Se} 7.4 \times 10^5 \text{Bq}$,比强为 $3.7 \times 10^5 \text{Bq/mg}$ 。

每盆土中加入尿素1.3克和磷酸二氢钾3.0克充分混合,放置3天后,将麦种撒播于盆中,小麦生长到成熟收获。从播种开始每七天取小麦植株一棵,用水冲洗之后,在红外灯下烘干剪碎、称重制样,用 $\phi 40 \times 40 \text{mm}$ NaI(Tl)晶体 γ -能谱探头进行放射性活度测量。

小麦成熟收割后,连根拔起,用水冲洗干净,风干后在红外灯下烤3天,然后分别从每个处理中取出6株小麦,按籽实、颖壳、第一叶(叶1)、第二叶(叶2)、第三叶(叶3)……,第一叶鞘(叶鞘1)、第二叶鞘(叶鞘2)……,茎、根等器官分别取样,剪碎后用同一仪器测量各器官的放射性活度。未加说明时,本文小麦叶片和叶鞘的序号均从穗开始向下编排。

二、结果与讨论

1. 小麦吸收硒的特点

试验结果表明,小麦对Se吸收大致趋势是:苗期吸收量较大,从拔节到抽穗吸收量逐渐减少,但是从抽穗到成熟这期间Se吸收量又剧烈增加,大约70%的Se是在这个阶段吸收的(见表1)。可见Se对小麦穗器官生长是相当重要的,硒可能参与了小麦籽实的发育过程。

2. 硒在小麦不同器官中的累积和分配

(1) 硒在小麦体内的分布 小麦不同器官中硒的含量不同(见图1),其顺序为:籽实>叶片>根>颖壳>叶鞘>茎。籽实中 ^{75}Se 含量最高占小麦体内总 ^{75}Se 的40.1%,叶片占

本文曾得到张海荣、马晓丽的热情帮助,特此致谢。

本文于1988年1月5日收到。

表 1 小麦不同生育阶段对 ^{75}Se 的吸收量
Table 1 ^{75}Se quantity uptaked by wheat in different grown stages

生育阶段	株重 (g)	果集吸收量		阶段吸收量 (dpm/株)	麦株Se含量 (dpm/g 干物质)
		dpm/株	占果集总量 (%)		
苗期	0.1865	1271.3	12.73	1271.3	6816.6
拔节	0.2325	2281.2	22.84	1009.9	9811.6
抽穗	0.3238	2349.7	23.53	68.5	7261.1
成熟	0.5300	9988.0	100.00	7638.3	18845.3

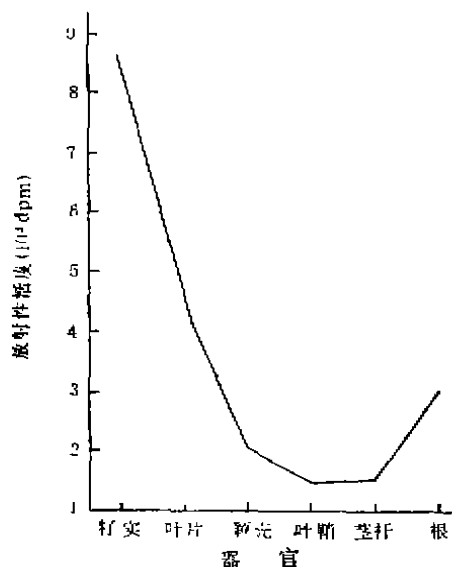


图 1 ^{75}Se 在小麦各器官中的分布
Fig.1 Distribution of ^{75}Se in various parts of wheat

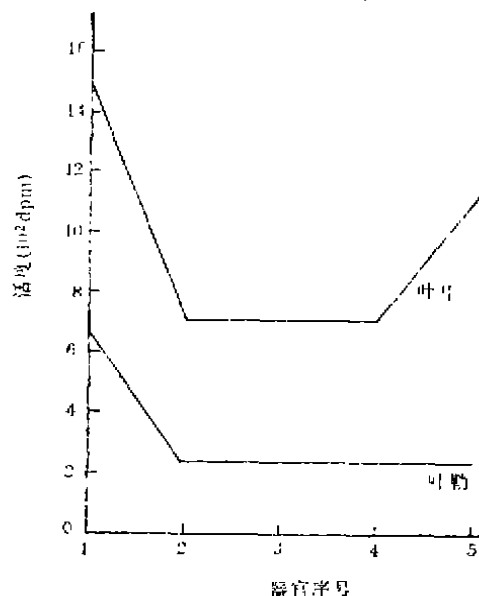


图 2 ^{75}Se 在小麦叶片和叶鞘中的分布
Fig.2 Distribution of ^{75}Se in leaves and leaf sheath

的32.2%，叶2为15.6%，叶3为15.1%，叶4为13.4%，叶5为23.7%，叶片中Se的分布与各个叶片的功能时期有很大关系。剑叶的功能主要为花粉粒发育、开花受精以及籽粒灌浆提供物质来源。籽实的大小及Se含量多少，主要取决于这片叶的叶面大小，功能时期的长短，这与以及光合作用生成或贮存含硒化合物的多寡^[2]。剑叶的Se较其它叶多，与籽实中Se分布量多相一致。第二、三、四片叶的功能是在拔节和孕穗期间为茎秆生长，穗部发育及顶叶生长提供原料。随着小麦生长，这些叶片功能逐渐减弱。第五叶位置在小麦茎秆下端，是近根叶片，其功能是为根系生长提供物质来源。它的Se量与根中Se的含量是一致的。

硒在小麦叶鞘中的分布如图2所示。鞘1 (39.8%) > 鞘2 (13.8%) > 鞘3 (15.1%) > 鞘4 (16.5%) > 鞘5 (14.9%)。这表明，Se在叶鞘中并不累积，小麦体内的Se在小麦生长过程中可以再分配，叶鞘中所贮存的Se在小麦穗发育中，大部分都转移到了籽实或其它生长点。鞘1中Se含量与对应的剑叶中Se含量相一致。

(2) 小麦对硒的累积 ^{75}Se 在根和土壤之间的分配系数等于根中 ^{75}Se 和土壤 ^{75}Se 的浓度之比。如表2所示，分配系数值在1.36—1.72之间，这表明小麦根能从土壤中浓集硒。

当 ^{75}Se 进入小麦植株之后，在各器官中累积浓度不一样(见图3)。根中Se浓度最大，其

21.6%，根占13.7%，颖壳占9.7%，叶鞘占7.8%，茎占7.2%。籽实和叶片中Se数量较高，可以估计Se在小麦体内的形式可能是硒的有机化合物。小麦籽实内含有较高的蛋白质，Se主要和植物蛋白质伴生而成为其组成部分^[4]。

硒在各叶片中分布的量也不同(图2)。剑叶中含Se最多，占叶子中Se总量

表 2 ^{75}Se 在小麦根和土壤之间分配系数
Table 2 Distribution coefficient of ^{75}Se between root and soil

土壤 ^{75}Se 浓度 Cs(dpm/g)	根 ^{75}Se 浓度 Cr(dpm/g 干物质)	分配系数 ($K_d = \text{Cr/Cs}$)
28393.7	38674.7	1.36
18091.8	27731.0	1.72

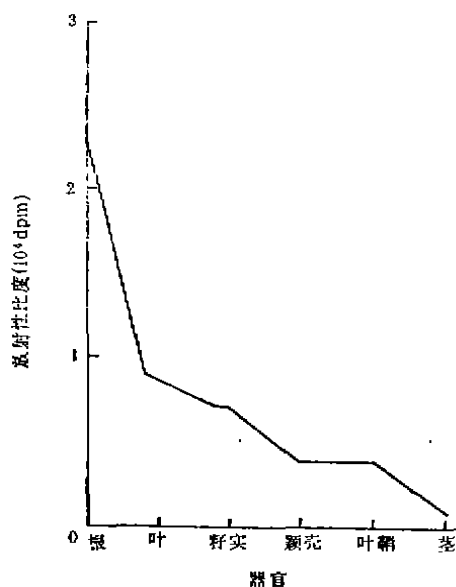


图 3 小麦各器官对 ^{75}Se 的累积

Fig. 3 ^{75}Se accumulation in various parts of wheat

表 3 小麦地上部各器官对根的分配系数
Table 3 Distribution coefficient of ^{75}Se between wheat top and root

器官名称	根	叶	籽实	颖壳	茎秆
比活性 (dpm/g 干物质)	23576.4	9148.9	7312.0	4289.7	1422.7
K_d	1	0.39	0.31	0.18	0.06

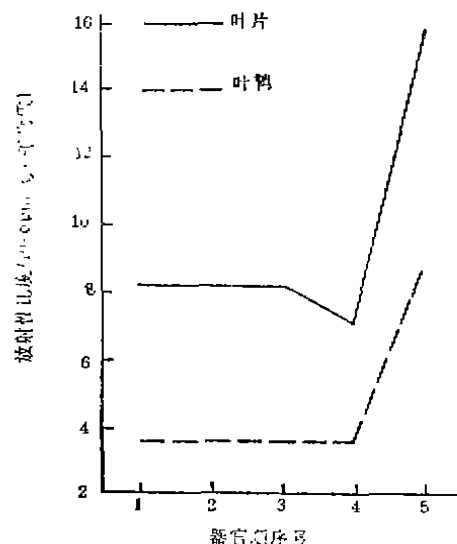


图 4 叶及叶鞘对 ^{75}Se 的累积

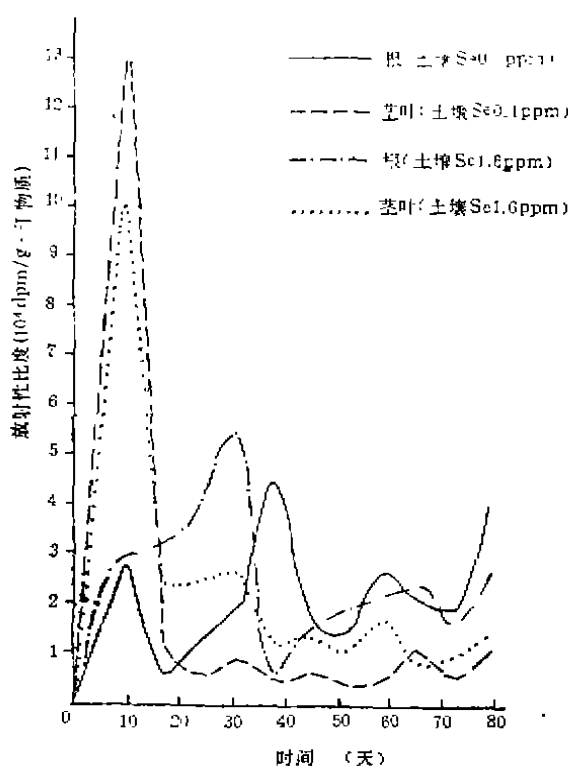
Fig. 4 ^{75}Se accumulation in leaves and their sheaths

他器官比较小,其顺序为:根>叶>籽实>颖壳>叶鞘>茎。小麦地上部分各器官对根的分配系数都小于1(见表3)。原则上讲,小麦地上部器官不贮存Se或沉积Se,Se可以从低活性代谢区向高活性代谢区迁移。

小麦各个叶片对 ^{75}Se 的累积作用不同(见图4)。叶子越老,累积的 ^{75}Se 愈多,其排列顺序为:叶5>叶1>叶2>叶3>叶4。小麦叶鞘对 ^{75}Se 的累积和对应的叶片累积规律相似。

3. 小麦累积硒的动力学特性

(1) 无机 ^{75}Se 向小麦植株转移 小麦不同生长期中,土壤 ^{75}Se 向小麦植株转移和累积情况不同(见图5)。小麦播种后15天里,土壤 ^{75}Se 通过根吸收而迅速地运转到地上部分并累积在茎叶之中,在根内并不累积。随着小麦的生长,吸收的Se才在根中有明显的累积,但这种累积作用不是无限制的,大约经过25天之后进入根和流出根的 ^{75}Se 离子平衡。从播种后25天一直到小麦成熟,根中的 ^{75}Se 含量几乎不变,与地上部分 ^{75}Se 含量之比基本恒定。生长在含Se量不同(0.1与1.6ppm)的土壤上的小麦 ^{75}Se 吸收的动态曲线形状大致相似(见图5),说明土壤硒含量并不改变小麦的吸收与累积Se的动态规律。 $\text{H}_2^{75}\text{SeO}_3$ 供给的放射性,首先迅速转移到地上部分,同样也是经15天之后,根中的累积才开始。20天之后根与地上部分 ^{75}Se 含

图 5 小麦根和茎叶中 ^{75}Se 含量与时间关系Fig. 5 Relationship between grown time and ^{75}Se Content in wheat

量出现平衡状态。从表 4 数据看, 当土壤中 Se 含量从 0.131 ppm 增加到 1.631 ppm 时, 小麦根与地上部分达到平衡时, 根与地上部分 ^{75}Se 含量之比值从 3.18 下降到 1.76, 几乎减少一倍, 说明土壤中 Se 浓度(水溶态) 增加越多, Se 离子越不易在根中停留, 越易向上转移, 这对于增加小麦地上部分 Se 含量非常有利。

(2) ^{75}Se 在小麦体内的迁移与累积

在小麦-土壤系统中, 不仅要注意小麦根对 ^{75}Se 的转移和吸收, 而且更关心 ^{75}Se 在小麦植株中的累积和交换过程。这些过程一般说来是复杂的, 而且往往几个过程又同时发生。

用示踪动力学方法描述这些过程, 对揭示它们的特征是很优越的^[8]。动力学分析, 可以决定 ^{75}Se 从一相(土壤)向另一相(小麦)转移的速度, 并可估算每一相中 Se 的数量。

硒在小麦-土壤系统中吸收累积及其随时间的变化如图 6 所示。小麦中 ^{75}Se 量

表 4 不同生长期根与地上部分 ^{75}Se 浓度比值Table 4 The rates of ^{75}Se Contents of wheat root to one of its top

时间(天)	10	17	24	31	38	45	52	59	66	73	80	平均
土壤 ^{75}Se (ppm)												
0.22	0.22	0.47	2.36	2.11	7.46	2.87	3.98	5.65	1.82	3.78	4.26	3.18
1.72	0.38	1.79	2.48	3.20	0.41	1.14	1.80	1.35	3.22	1.67	1.97	1.76

按指数规律变化, 因此可用一级反应来表示。该过程的反应速度正比于反应物的数量。即

$$\frac{dQ}{dt} = KQ \quad (1)$$

式中 dQ 为时间 dt 内物质质量的变化, K 为反应速度常数, Q 为某时刻 t 所存在的原始物质量。

若把小麦从土壤中吸收 Se 看成是一简单的单室累积过程, 那么它便可用 (1) 式来描述。假设 t (天) 时刻有数量 Q (mg) 的 Se 按指数规律被小麦地上部分累积, 在达到平衡时小麦地上部分 Se 量为 Q_{∞} , 则解式 (1) 并整理得:

$$\log\left(1 - \frac{Q}{Q_{\infty}}\right) = -\frac{K}{2.3026}t \quad (2)$$

利用该式处理数据, 可以求出 ^{75}Se 从土壤向小麦地上部分转移的速度, 这里 Q 是 t 时刻里由土壤运转到小麦植株中硒的数量。

从图6曲线形状看, 当 $t \rightarrow \infty$ 时(即小麦成熟时), 小麦-土壤系统达到平衡, 植株中 Se 的量由图外推 $Q_{\infty} = 2100\text{dpm}$, 也可由该同位素的比强换到成 $6.5256 \times 10^{-6}\text{mg/株}$ 来表示。以

$(1 - \frac{Q}{Q_{\infty}})$ 为纵坐标, t 为横坐标在半对数纸

上作图, 图形为一直线, 其斜率为0.01429,

即 $K/2.3026 = 0.01429$, $K = 0.0329$ 。它表示 ^{75}Se 从土壤通过根向小麦茎叶转移的速率。将 Q_{∞} 和 K 值代入式(2)并整理后得:

$$Q = 6.5256 \times 10^{-6} (1 - e^{-0.0329t}) \quad (3)$$

利用式(3)可对小麦生长期间任意时刻从土壤通过根进入植株的硒数量进行预测预报。

供试小麦全生育期约80天。根据上述数学式推出, 播种后大约30天, 小麦地上部分累积硒量便达平衡, 即流进根和流出根的 Se 离子量基本相等。表明提高小麦硒含量应在播种时加入硒肥, 若在播种30多天后施肥会降低肥效。

(3) ^{75}Se 向小麦籽实迁移和累积

小麦籽实 Se 含量多少同土壤中 Se 的含量成正相关。土壤 Se 为0.131ppm时籽实含 Se 0.022—0.024ppm; 当土壤 Se 含量增到1.631ppm时, 籽实中 Se 相应增加到0.37—0.61ppm。 ^{75}Se 向籽实中的迁移和时间关系见图6。从小麦始穗开始($t=0$)观测, 始穗期后15天, 籽

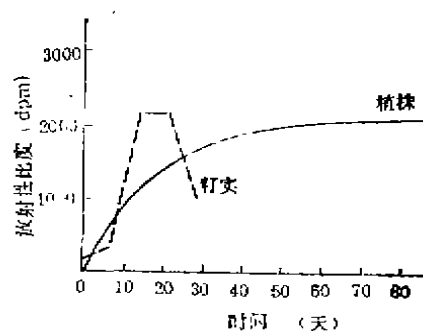


图6 麦 ^{75}Se 量随时间变化关系
Fig.6 Change of ^{75}Se in wheat with time

表5 小麦籽实中 Se 含量
Table 6 Contents of Se in wheat grain

土壤 Se (ppm)	编号	籽实中的 Se	
		(dpm/g干物质)	ppm
0.131	1	7562.6	0.0235
	2	7061.4	0.0219
1.631	3	25465.9	0.6146
	4	15379.2	0.3711

高小麦含硒量的可行办法。

实中 ^{75}Se 数量急剧地增高, 随后便达到平衡, 籽实中 ^{75}Se 量达最大值。说明小麦灌浆、乳熟期这一段时间是 Se 通过根、茎叶向籽实转移最活跃时期。随着时间增长, 例如始穗期后20天, Se 数量下降, 这是由于小麦腊熟后降雨淋溶作用的结果。腊熟时及时收获是防止籽实 Se 损失的有效措施。此外, 在始穗后施加一次硒肥也是提

三、结 论

小麦从低硒暗棕色森林土吸收硒与生育期有关, 始穗后小麦吸收的 Se 占整个生育期吸收量的70%, 这表明硒对小麦籽实发育具有重要作用。硒在小麦各器官中分布按其量大小顺序为: 籽实>叶片>根>颖壳>叶鞘>茎。硒进入小麦体后向上迁移困难, 大部分累积在根中。硒从土壤向小麦地上部分转移遵循指数变化规律, 可用一级反应过程描述。抽穗后施硒肥和腊熟时及时收割对提高硒含量, 防止籽实硒损失都的有效是措施。

参 考 文 献

- [1] K. J. Bock et al., 1982, *The Handbook of Environmental Chemistry*, 3(B), 45—57, Springer-Verlag Berlin Heidelberg new York.
- [2] A. U. 诺萨托夫斯基著, 1956, 《小麦生物学》, 164—174, 财政经济出版社。
- [3] P. B. Vose, 1980, *Introduction to Nuclear Techniques in Agronomy and Plant Biology*, 127—150, Pergamon Press Ltd.

STUDY ON Se TRANSLOCATION IN SOIL-WHEAT SYSTEM USING ^{75}Se

Li Shuding Zeng Jiahua

(Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shengyang)

Dark Brown Forest Soil was collected from Hengren in Liaoning. Aqueous solution of $^{75}\text{SeO}_2$ is mixed with the soil. Se adsorption, distribution and accumulation in wheat was studied with pot-experiments. Amount of ^{75}Se uptaken by wheat depends on the stages of growth. It is more in seeding stage, lesser during jointing to heading, and has a rapid increase during heading to maturity. Se contents in wheat grain cropped on the soil containing 0.131 ppm and 1.631 ppm of Se are 0.023 ppm and 0.493 ppm, respectively. The order of ^{75}Se distribution in different parts of wheat in terms of magnitude of Se is: Grain > Leaf > Root > Chaff > Leaf Sheath > Stem. For ^{75}Se in leaf, the younger the leaf of wheat is, the more ^{75}Se distributed. After wheat absorbed ^{75}Se from soil, it is difficult to translocate ^{75}Se to the aerial parts of wheat. Therefore, ^{75}Se is accumulated mainly in root. After the seeds were planted, ^{75}Se uptaken by root were translocated upwards rapidly and were accumulated in stem and leaf. ^{75}Se accumulation in root appeared evidently along with growth of wheat, but after 15 days an equilibrium was established between the incoming and outgoing Se ions. Such a ^{75}Se content in root was kept almost constant until maturity of wheat. Mathematical model for describing transportation of soil-Se to wheat has been developed. These results are useful for increasing the Se intake to human living in disease area and for finding pathogenic factor of keshan disease and kaschin-Bek disease.

Key words: soil-wheat system, radiotracer, translocation,