小麦与水稻植株中稀土元素的含量及其分布的研究*

孙景信　赵　航[1)]　王玉琦

（中国科学院高能物理研究所，中国科学院核分析技术开放实验室，北京 100080）

关键词　稀土元素、小麦和水稻、中子活化分析

稀土元素（REE）在我国农业中已经大面积推广使用，并取得了显著的经济效益．对粮食作物、水果和蔬菜等，一般可增产 10% 左右；同时大大改善了作物的品质．但是，迄今为止，有关稀土元素的增产机理、稀土元素在土壤-植物体系中的迁移、转化规律和生物效应，以及稀土元素对环境和人体健康的影响等方面，了解还甚少[1,2]．这主要由于稀土元素在生物体内的含量很低，一般在 ppb 级（10^{-7}—10^{-10}g/g）．通常的分析技术，其灵敏度难以达到，尤其是对单一稀土元素的测定．

中子活化法具有灵敏度和准确度高及可同时测定多种元素等优点，目前成为稀土元素分析中最有效的手段之一[3-5]．本工作利用放化组分离中子活化分析（RNAA）及仪器中子活化分析（INAA）测定了植物样品小麦和水稻及其相应土壤中 8 种稀土元素（La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb 和 Lu），研究了施用稀土元素与对照样品小麦和水稻植株各部位（根、茎、叶、壳和米粒）及其相应土壤中稀土元素的含量和分布规律．

一、样品来源及分析方法

1. 样品的采集与制备　小麦及其土壤样品采自北京市通县，其中包括有稀土元素喷施和拌种样品及其对照样品．喷施稀土元素是在小麦灌浆期，每亩喷施“常乐”稀土元素约 40g；拌种为每千克麦种加入稀土元素约 2g；土壤样品的采集深度为 0—20cm．水稻及其土壤样品来自湖南省华容县，分别采集了喷施稀土元素、对照样品及其相应土壤．稀土元素喷施量每亩约 30—60g．

采集后的小麦和水稻植株样品，按其生长部位分根、茎、叶、壳和米粒，分别用清水充分洗涤数次，在蒸馏水中浸泡过夜，最后用去离子水冲洗三次，放入干燥箱中烘干．称取一定量的植株各部样品置于石英坩埚中，并放在马福炉中 550℃ 下高温灰化，冷却后称重并计算灰化率．

土壤样品经自然风干，剔除石砾及植物根茎等外来物，压碎并混匀，用玛瑙研磨机磨细（—100 目），放在硅胶干燥器中待分析．

2. 分析方法　准确称取灰化后的植株各部位样品 100mg，生物标准参考物质（GSV—4

1992-04-15 收稿，1992-06-28 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目

1) 本所 87 级硕士毕业生

和 SRM—1575）各 300mg，分别用高纯铝箔包好，并与人工配制的稀土元素混合标准一同送入中国原子能科学院的重水反应堆中照射。照射时间为 20h，热中子注量率为 7×10^{13}n/cm^2·s。照射后的样品经冷却 3 天后进行稀土元素放化组分离(分离流程如图 1 所示)。最后用 4ml 4mol/L 的 HCl 溶液通过 P507 萃淋树脂柱淋洗稀土元素，收集并测量[6]。

由于稀土元素在放化分离过程中发生部分分馏作用，因而须对各单一稀土元素进行化学回收率校正。样品经测量后，分别取 40 μl 样品溶液及载体溶液(作为标准)并滴在滤纸片上(6 层，直径为 8mm)，烘干后用高纯铝箔包好并送入反应堆中再活化。照射时间为 10min，中子注量率为 1×10^{13}n/cm^2·s。冷却一天后测量稀土元素的短寿命核素。测定结果表明，一般轻稀土元素（La-Eu）的化学回收率约在 50—60%，重稀土元素（Gd-Lu）的回收率约为 70% 左右。

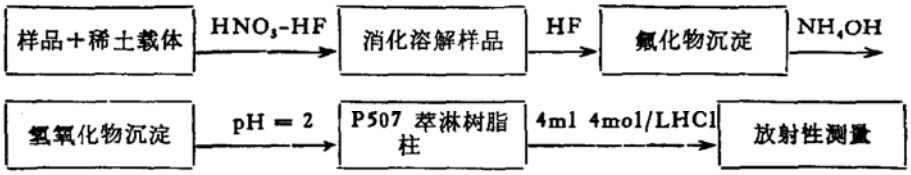


图 1　稀土元素放化组分离流程图

土壤样品中稀土元素的测定采用 INAA 方法[7]。照射样品量为 50mg，照射时间为 8h，中子注量率为 7×10^{13}n/cm^2·s。

放射性测量系统由高分辨率 Ge(Li) 和 HPGe 探测器(美国 Ortec 公司产)及微机化 γ 能谱仪组成。γ 能谱分析、干扰校正及元素含量计算等均由该系统自动完成。

二、结果与讨论

1. 方法的准确度　为检验方法的可靠性，用本方法对美国国家标准局（NBS）的标准参考物质 SRM-1575（松针)及我国植物标样 GSV-4（茶叶)中稀土元素进行了测定。分析结果表明，本工作的测定值与文献值相当符合，对大多数元素的分析误差在 ±20% 以内(见表 1)，说明方法是可靠的。

2. 稀土元素在小麦和水稻植株中的分布特征　利用 RNAA 和 INAA 方法分别测定了小麦和水稻植株各部位样品及土壤中 8 种稀土元素的含量。为便于比较，将各样品中 REE 含量用球粒陨石中 REE 丰度[8]归一化后得到稀土元素分布模式图(图 2—4)。

表 1　SRM-1575（松针)和 GSV-4（茶叶)的 RNAA 测定值与文献值 (μg/kg)

元素	GSV-4（茶叶）		NBS SRM-1575（松针）		
	测定值	文献值[9]	测定值	NBS汇编值[10]	Tjioe 值[3]
La	636±15	600±30	170±15	160±40	141±22
Ce	820±58	1000±100	354±50	150, 400[a]	258±27
Nd	385±31	440±40	135±20	200	128±53
Sm	64.5±1.2	85±17	21.0±0.5	20—130[a]	18±1
Eu	16.5±0.8	18±2	6.34±1.34	6.2, 6[a]	4±1
Tb	10.4±0.4	11±2	3.82±0.20	60	2±1
Yb	38.9±3.9	44±4	10.8±1.1		9±1
Lu	5.82±0.2	7±1	1.83±0.22	1.3	1.2±0.2

a) NBS 参考值.

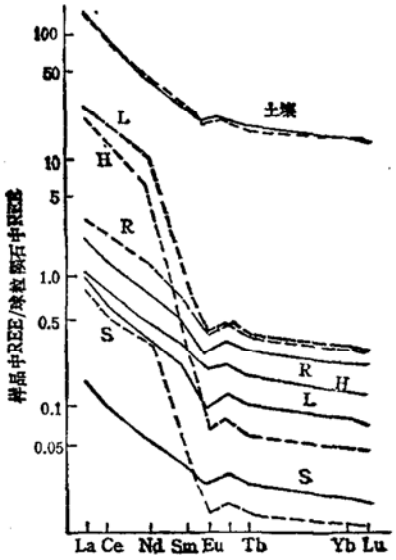


图 2　喷施与对照小麦植株的各部位及土壤的 REE 分布模式
----为喷施小麦，
——为对照小麦.
R为根，L为叶，H为壳，S为茎

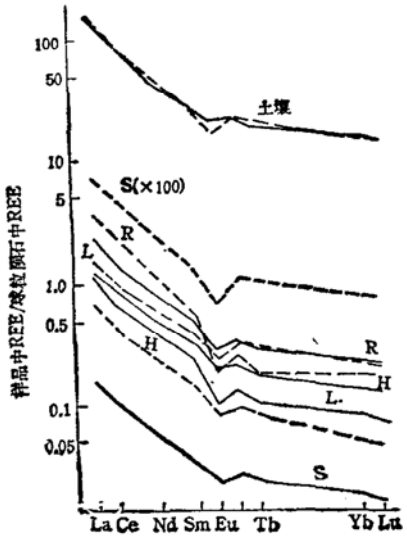


图 3　拌种与对照小麦植株各部位及土壤的 REE 分布模式
----为拌种小麦，
——为对照小麦.
R为根，L为叶，H为壳，S为茎

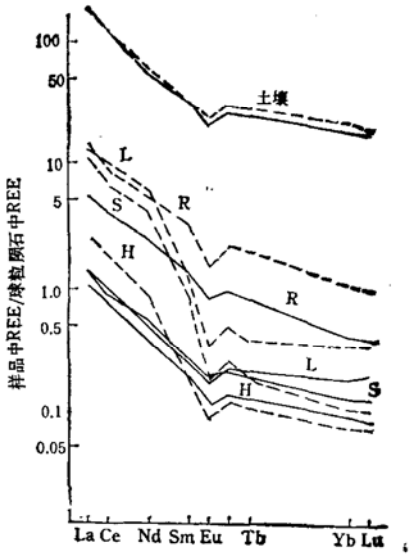


图 4　喷施与对照水稻植株各部位及土壤的 REE 分布模式
----为喷施水稻，
——为对照水稻.
R为根，L为叶，H为壳，S为茎

从稀土元素分布模式图可以看出，小麦和水稻的对照样品，其植株各部位的 REE 分布模式均与其相应土壤相似，没有发现明显的稀土元素化学分异. 这表明 REE 在植株生长过程中没有出现选择性吸收；对于喷施稀土元素的小麦和水稻样品，除其根部的 REE 分布模式与土壤相近外，其它部位(叶、茎和壳等)均不同程度地呈现出轻稀土元素 (La 和 Ce 等系"常乐"稀土元素的主要成分)显著富集. 说明对于喷施小麦和水稻样品的植株对 REE 的吸收除部分来自土壤外，可能更主要的是通过叶面吸收而进入植物体中；用稀土元素拌种的小麦样品，除根部略微富集轻稀土元素外，其它部位均与对照样品或土壤的 REE 分布模式相似. 这表明，拌种小麦植株中的稀土主要还是来自土壤并受其影响.

3. 小麦和水稻植株中稀土元素总量的分布趋势　根据样品的稀土元素分布模式图，分别计算了小麦和水稻植株各部位中总稀土元素 (La-Lu) 的含量[8]，其分布趋势如下：

(1) 对照小麦：根＞壳＞叶＞茎＞麦粒；

表 2　麦粒和稻米中稀土元素含量 (μg/kg)

元　素	麦　粒			稻　米	
	对　照	喷　施	拌　种	对　照	喷　施
La	3.19	26.6	3.09	3.15	3.36
Ce	—	37.1	—	—	—
Nd	—	16.6	—	—	—
Sm	0.48	0.49	0.34	0.36	0.27
Eu	0.11	—	0.10	—	—
Tb	—	—	—	—	—
Yb	0.21	0.15	0.14	—	—
Lu	0.04	0.03	—	0.05	—

(2) 喷施小麦：叶＞壳＞根＞茎＞麦粒；

(3) 拌种小麦：根＞叶＞壳＞茎＞麦粒.

水稻喷施与对照植株各部位中稀土总量的趋势相同：根＞叶＞茎＞壳＞稻米.

从上述趋势可以看出，小麦和水稻植株中总稀土元素含量均以籽粒为最低. 表 2 给出了麦粒和稻米中稀土元素的测定结果. 对小麦而言，麦粒中稀土残留量随稀土的施用方式不同而略有差异，喷施麦粒中稀土元素轻微富集，稀土元素总量约在 80 μg/kg 左右，拌种麦粒与对照麦粒中稀土元素残留量几乎相同，约为 13 μg/kg. 喷施稀土元素的稻米中稀土元素残留量与对照稻米相近，约为 15 μg/kg 左右. 该结果均低于我国粮食中稀土元素含量的调查结果[1]. 我国小麦中稀土元素含量范围为 260—3150 μg/kg，稻米为 50—1370 μg/kg.

致谢 作者对中国有色金属研究总院元素农用技术开发中心胡朝浦先生的热情帮助和支持表示感谢.

参 考 文 献

[1] 郭伯生等编著，农业中的稀土，中国农业出版社，北京，1988.

[2] 王夔主编，生命科学中的微量元素，下卷，中国计量出版社，北京，1992，257.

[3] Laul, J. C. et al., *J. Radioanal. Chem.*, **69**(1982),181.

[4] Lepel, E. A., Laul, J. C., *Proc. 7th Intern. Conf. on Modern Trends in Activation Analysis*, Copenhagen, 1986, 417.

[5] Tjioe, P. S. et al., *J, Radioanal. Chem.*, **80**(1983), 129.

[6] 孙景信、王玉琦，第三次全国核化学与放射化学学术讨论会论文摘要集，上海，1990，B12.

[7] 王玉琦、孙景信，环境科学，**43**(1991),5: 41.

[8] 王中刚等，稀土元素地球化学，科学出版社，北京，1989.

[9] 地矿部物化勘探研究所，植物地球化学和人发标准物质的研制报告，北京，1990.

[10] Gladney, E. S. et al., 1982 Compilation of Elemental Concentration Data for NBS Biological, Geological and Environmental Standard Reference Materials, U. S. Government Printing Office, Washington, 1984.