

个坐蔸田土壤的分析结果看出，在上述土壤上水稻坐蔸的主导因素是土壤供锌不足，大量单一的氮、磷化肥的施用不当也是原因之一。

分析58个稻田土壤表明，有效锌低于0.8ppm的占81.0%，其中pH高于7的占87.2%。pH高的土壤中含有不同程度碳酸盐的占92.7%。因此，可以考虑用土壤碳酸盐含量和pH值结合水稻症状来诊断水稻坐蔸是否是由缺锌引起。

施用锌肥防治水稻坐蔸效果显著。最好是防重于治，预防方法以亩施五斤硫酸锌带土移栽或亩用1斤锌肥沾秧根最好，次为亩用2斤作耙面肥。坐蔸后亩施2斤锌肥薅秧或用0.2%锌液喷叶三次也有较好的效果。

由于施锌防治水稻坐蔸效果显著，方法易行，1981年全省水稻施锌面积近100万亩，1982年约400万亩。

参考文献

- [1] A.Tanka and S.Yoshida, Nutrition disorders of the rice plant in Asia. The IRRI technical bulletin 10, P.14, P.39, The IRRI, 1975.
- [2] Ibid., P.45.
- [3] 四川省农业科学研究所，四川土壤鉴定与合理施肥，1—18页，四川人民出版社，1959。
- [4] 吴兆明，微量元素研究现状。微量元素学术交流会会刊，11—12页，科学出版社，1980。
- [5] De Datta S. K., Principles and practices of rice production, P.359, John Wiley and Sons, 1981.
- [6] Ibid., P.404.

长白山地区土壤中的微量元素*

孟宪玺 余中盛

(中国科学院长春地理研究所)

植物、动物和人所需微量元素大都直接、间接地来自于土壤。土壤中缺乏某些微量元素，植物就不能正常生长和发育；过多了，又会使植物中毒，或在植物体内累积，危害动物和人体健康。特别由于近年来环境污染问题日趋严重，土壤微量元素的研究引起了人们越来越广泛的重视和关切。

长白山自然保护区受人为活动影响较小，比较完整地保持了原有自然环境特点和生态系统，对此开展土壤微量元素的研究，不仅有助于阐明元素在自然状况下的迁移转化规律，探讨土壤形成与生物地球化学作用的关系，亦可用以判断流域和毗邻区土壤污染状况和进行污染预报的重要依据。

本工作共分析了102个土壤样品，分别属于五个土类的22个剖面，都是按发生层次采集的。多属北坡土壤，个别为西坡。高程自海拔600米至2650米。同时还采集和分析了相应土壤上的优势种植物样品。全部样品均由硝酸—高氯酸和氢氟酸消解、处理，分别用火焰分光/原子吸收法、石墨炉原子吸收法和催化波极谱法测定。

一、影响土壤微量元素的环境条件

(一) 气候特点和土壤垂直分布规律

长白山位于吉林省东南部，亚洲大陆东岸，主峰白头山为东北地区最高峰，向四周呈同心圆状阶降。由于近海和地势高耸，气候为明显的季风型。冬季长而寒冷，夏季短且凉爽。年平均气温3—7℃(白头山天池低于-7℃)，年降水量700—1000毫米，全年相对湿度70—75%，七、八月在80%以上。无霜期不足120天。气候的垂直分异明显，生物(尤其植物)、土壤也随山势增高和气候的变化而出现一系列与较高纬度相应的类型。

长白山地处中纬度，属温带湿润地区针阔叶混交林—暗棕色森林土地带^[1]。往上，其植物和土壤的垂直带谱(北坡)是：针叶林—棕色针叶林土带、亚高山岳桦林—山地生草森林土带和高山苔原—高山苔原土带。这种自然景观的垂直结构，是欧亚大陆东岸温带

* 文内部分数据取自长白山地区环境背景值研究。

季风气候条件下的典型代表。

(二)母质类型及其微量元素含量水平

成土母质的矿物成分和其组成元素是环境中微量元素的重要来源，也是土壤微量元素的主要来源。就一般而论，尽管影响土壤微量元素含量的因素很多，但母质仍不失其决定作用。

在大地构造上，长白山处于中朝准地台的东北边缘，属辽东隆起区的太子河—浑河凹陷带。主峰白头山是一死火山，地貌可分为火山锥体和熔岩台地两个单元。前者主要是中更新统白头山岩组的碱性粗面岩类，后者为大面积的厚层玄武岩。

本研究所用土壤样品均采自熔岩台地面以上，母质全系火山喷出物及熔岩流的风化产物，其元素组成似乎也应比较接近。但由于喷发时期和岩浆源不同，岩性及元素组成仍有较大差异。加之长白山垂直带各土类各有其相应的成土母质类型，所以了解成土母质的微量元素含量水平，对判断土壤的微量元素含量水平更具参考价值。本区主要成土母质的微量元素含量列于表1。

表1 长白山地区几种成土母质的微量元素平均含量(ppm)

元 素	凝灰岩风化物	粗面岩风化物	火山灰	冲积—淤积粘土
铜	9.5	11.0	8.2	26.8
锌	169.8	137.8	136.5	86.0
铅	26.4	24.5	—	29.0
铬	7.0	24.8	13.0	79.8
锰	667.0	801.7	515	606.0
钴	19.8	23.0	22.0	27.4
钼	4.73	3.61	—	0.56
镍	12.7	21.1	17.3	34.8
锶	14.2	20.8	25	40.3

在各类成土母质中，冲积—淤积粘土的微量元素含量最为丰富(锌、钼、锰除外)，其中铬、镍、锶含量尤高。这一方面是由于当地基岩(玄武岩)的微量元素含量较高，同时也由于此种母质有较强的吸附能力，吸附了别种风化壳中淋洗出来的微量元素。至于火成岩风化物母质中，则以粗面岩风化物的微量元素含量为丰富(钼、铅、锌除外)。此三种母质类型中微量元素含量的差异，也主要决定于母岩本身的矿物组成。

(三)植被类型及其对微量元素的富集

活的有机体，尤其是植物，是地表化学元素迁移的强大动力。植物有选择地从岩石和土壤中吸取某些

矿质元素以维持其生命活动，植株(全株或部分)死亡后，通过残体的矿质化作用又将这些元素归还给土壤。这样，一些元素就从下层被“汲取”到土壤表层，从而改变着元素在土壤剖面中的分布。在这一过程中，各种植物的选择吸收能力不同，各植物种群的微量元素含量，尤其是草本、小灌木和乔木叶子中微量元素含量的高低，直接影响元素在土壤中的富集程度。为此，我们采集并测定了各垂直带优势种植物的微量元素含量(表2)。

表2 长白山各垂直带植物微量元素的平均含量(ppm)

元 素	高山苔原	岳桦林	针叶林	针阔叶混交林
铜	7.8	11.4	6.1	6.9
锌	47.0	121.9	33.5	27.0
镉	0.23	0.40	0.04	0.04
铅	5.2	6.9	2.5	3.8
铬	2.1	0.3	1.3	1.0
锰	632.7	201.4	519.3	197.0
钴	1.2	0.6	0.7	0.6
钼	0.3	0.4	0.2	0.4
镍	1.9	2.2	1.2	1.4
锶	14.6	21.9	21.5	45.4

纵观长白山垂直带各植被类型，以岳桦林的微量元素含量为丰富，其中铜、锌、镉、铅、钼、镍的含量都居首位，尤以锌为突出。针叶林的微量元素含量除个别元素(如锰)外普遍较低。针阔叶混交林则以锶含量高为特征。

(四)成土过程特点

成土过程系指在生物作用下土壤中物质与能量转化和移动的全过程，是决定土壤性质和物质组成的重要因素。长白山地区随着海拔高度和生物气候条件的变化，成土过程特点相应改变，从而形成了不同类型的土壤。如高山苔原带，是在生物堆积物的半泥炭化过程和冰冻过程为主的条件下形成的高山苔原土；针叶林带较强烈的生物性堆积和明显的淋溶、淀积过程，致使棕色针叶林土的酸度较强；以及岳桦林带和针阔叶混交林带土壤表层生物成因的堆积过程强烈等特点，这些都必然影响微量元素在土壤剖面的积累和再分配。

二、长白山地区土壤的微量元素含量

(一)长白山地区主要土类的微量元素丰度

长白山地区土壤十种微量元素的含量范围和平均

值①列于表3，同时列出东北地区及世界土壤的含量范围和平均值，以利比较。可见，长白山地区土壤中钼、锌、铅的含量比较丰富，约等于我国东北地区和世界土壤的1.5—2.5倍；锶、铬、镍和铜的含量较低，其

中锶比东北及世界土壤约低一个数量级，铬低4—6倍，镍低一倍；其它如锰、钴、镉等则比较接近。土壤微量元素含量的这一特征与其成土母岩的微量元素含量状况相吻合。

长白山地区各土类的微量元素含量的变化幅度较小(表4)。各土类中不同土壤剖面的微量元素含量的变幅多在3倍以内，达5倍以上者极少。同一元素在不同土类间的变幅也不大。

就所研究的多数微量元素而论，在长白山地区四个主要土类中以暗棕色森林土为最丰富，山地生草森林土次之，棕色针叶林土和高山苔原土较低。若与世界土壤一般状况相比，这四个土类的共同特点是：铬、镍、锶、铜普遍较低，而铅、镁、锌、镉、钴、钼等比较接近或略高于世界土壤正常含量。

比较四个土类之间微量元素含量时可以发现，若以高山苔原土、山地生草森林土、棕色针叶林土和暗棕色森林土为排列顺序，则多数元素(如铜、钴、铬、镍、铅、镁)呈现低—高—低—高(或更高)的规律性，钼和镉的含量刚好相反；锶含量呈递增的趋势，锌含量递

表3 长白山地区东北地区及世界
土壤微量元素含量(ppm)

元素	长白山地区土壤		东北地区土壤 ^[2]		世界土壤 ^[3]	
	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
锶	0.02~0.42	0.107	—	—	0.03~0.3	0.1
钼	0.28~7.22	3.05	0.1~7	2.2	0.5~5	2
镍	2~35	13.5	4~27	22	2~100	20
镁	3~40	19.8	11~180	51	5~500	40
钴	5~41	22.4	5~47	23	1~40	3
铬	3~123	28.8	16~310	103	5~100	180
锶	3~90	29.4	93~920	270	3~3000	350
铅	19~50	30.1	<1~49	26	2~200	12
锌	48~284	142.5	12~250	85	10~300	50
锰	250~2020	781.0	63~2100	840	50~5000	1000

表4 长白山地区各类土壤的微量元素含量(平均值，ppm)
(剖面含量范围)

元素	高山苔原土	山地生草森林土	棕色针叶林土	暗棕色森林土
铜	12 6~20	13 10~19	10 7~15	20 15~25
镁	171 142~216	544 126~154	131 83~178	94 85~114
镍	0.17 0.03~0.31	0.04 0.02~0.07	0.11 0.04~0.18	0.08 0.02~0.13
铅	30 24~33	32 29~36	27 24~31	31 26~38
铬	13 6~25	31 27~34	20 12~35	67 56~88
锰	740 590~1030	930 880~1150	680 550~790	830 650~1090
钴	20 15~24	24 21~28	20 17~24	27 22~34
锶	4.4 2.5~5.9	2.8 1.7~3.6	3.5 3.1~3.9	0.8 0.5~1.6
镁	14 6~31	22 18~29	19 12~23	30 25~32
钼	18 6~31	20 10~32	30 19~43	53 34~64

① 平均值是由各剖面的平均含量求得的。计算剖面平均含量时，第一，考虑到每一测定值所代表的土层厚度，故采用了下列公式：

$$\text{剖面平均含量} = (\text{A层含量} \times \text{A层厚度}) + (\text{B层含量} \times \text{B层厚度}) + (\text{C层含量} \times \text{C层厚度}) / \text{A、B、C层厚度之和}$$

第二，考虑到A₀层的特殊性(未分解的植物残落物)，未计入剖面平均含量内。

碱。此种变化趋势与凝灰岩风化物、粗面岩风化物、火山灰及冲积—淤积粘土间微量元素含量的变化趋势基本一致。

(二)各土类微量元素含量与剖面分布特征(图1)

1. 高山苔原土：高山苔原土分布于海拔2,000米以上的高山上，是长白山特有的土类。母质为凝灰岩、火山浮石及其风化物。植被为多年生小灌木、藓、地衣等，植株低矮，根系发达。

高山苔原土微量元素含量的特点是锌、钼、镉特别丰富，高出世界土壤正常值一倍以上。铬、钴、镍、锶的含量不仅在长白山地区四个土类中最低，而且铬和锶仅为世界土壤正常值的 $\frac{1}{14}$ 和 $\frac{1}{19}$ 。锰、铅、铜含量接近世界土壤正常值。这与其成土母质的元素组成有直接关系。

高山苔原土的剖面结构特征是：上部为残落物层(A_0)和泥炭层(A_T)，其下为A或AB层、B层和C层。全剖面在50厘米以内，有的仅20—30厘米，质地粗。

由于高山苔原土形成于寒冷而又潮湿的气候条件，剖面下部常有循环冻层或多年冻层。越桔、杜鹃等优势植物又是灰分含量低而富含单宁酸的种属，所以尽管每年归还给土壤的残落物数量有限，然其分解程度很差，以致进行着明显的粗腐殖质一半泥炭化过程和冰冻过程。元素的淋洗受到显著抑制，许多微量元素被禁锢在半分解的有机质中。所以在苔原土的表层，随有机质的累积，微量元素也有不同程度的聚集。锶、锰、铅、铬、锌的聚集较明显，尤以锶为突出；一般较母质的含量高一倍以上，有的甚至高3—5倍。除残落物(A_0)层外，铜、铬、锶的含量通常以有机质堆积旺盛的 A_T 层最高；锰、锌、铅的高含量则出现在下面的A或AB层；钼在淀积层(B)中明显聚集，而在 A_T 层中留存较少；钴和镍则无生物积累特征，以母质层含量最高，向上层逐渐减少。

2. 山地生草森林土：山地生草森林土是指岳桦林下发育的土壤。由于林下草本植物生长繁茂，在土壤形成上也表现了生草化过程特点。母质多为粗面岩风化物。土层厚度一般为35—60厘米，表面有2厘米左右未分解的残落物。在生草森林土中，除锌、镉、钼外，其余多数微量元素的含量都比高山苔原土高，尤以铬、镍、猛为明显。铬为苔原土含量的一倍半，锰含量为长白山地区各土类之冠。与世界土壤正常含量相比，其锌、铅、锰、钼含量都比较丰富，而锶、镍、铬、铜含量偏低，尤其是锶，仅相当于世界土壤正常值的1/10。与其成土母质的元素组成十分接近。

从微量元素在土壤剖面中的分布来看，锶、锌、铜、锰都在表层有不同程度的聚集，最突出的是锶。由于

岳桦林带植物中铜、锌含量特别高，铜、锌在生草森林土剖面上部的积累也比其它土类突出。其余元素则无表聚现象。铅、钴、铬的含量以A层最低，高含量层分别为AB或B层，尤以铅为明显。钼在AB层明显积累。镍仍是母质含量最高，向上减少。

3. 棕色针叶林土：棕色针叶林土是针叶林(鱼鳞云杉、臭冷杉、落叶松等)下的典型土壤。由于针叶树生长茂密，郁闭度较高，林内阴湿，灌木和草本植物极少，地面为藓类覆盖。母质为安山玄武岩、粗面岩和浮石等的风化物。

针叶树残落物的数量不多，但酸度较大，在其分解时产生较多的有机酸。土壤溶液的酸度较强，质地又粗，多数在酸性环境中溶解度增高的元素(如锌、铜、锰、钴等)易从土壤上层淋失。所以棕色针叶林土的微量元素含量偏低，其中铜、铅、锰、钴的含量为长白山地区各土类中最低。除锌、铅、钴、钼外，所研究的其它元素均在世界土壤平均值之下。

在棕色针叶林土的剖面中，因表层(A_1)的有机质含量高些，一些微量元素的含量也略高。绝大多数微量元素在 A_2 层含量较低，则是棕色针叶林土具有灰化特征的一个有力证明。铅和钼在淀积层(B)，明显聚积，铜、铬、锰、锌的淋液更甚，它们的淀积层次更低。钴在全剖面的分布比较均匀。

4. 暗棕色森林土：暗棕色森林土是在针阔叶混交林下发育的土壤。母质为冲积—淤积物。针阔叶混交林内树种较多，群落结构复杂，生长茂密，郁闭度高，生长量大。这里气温较高，降雨量虽不算太多，但大多集中于高温的夏季。这种高温与多雨的结合，对植物和各种微生物的生命活动，以及元素的化学活动都极为有利，成为长白山垂直带谱中物质与能量交换最活跃的地带。岩石和矿物的风化比较彻底，土壤质地较细，生物性堆积也最强烈。因此，所研究的微量元素大都比较丰富，其中铜、铬、钴、镍、锶的含量居长白山地区各类土壤之首。铬、镍、锶的含量分别为高山苔原土的2—5倍。除锶、铬外，其它元素的含量均接近或略高于世界土壤正常值和东北地区土壤平均值。

按照在土壤剖面中的分布状况，可将暗棕色森林土中的微量元素分为三类：(1) 在有机质含量较高的表层明显聚集，向下层递减者，如锶、锰、锌等。(2) 在表层含量较少，向下逐渐增加，最高值出现在母质层的，如镍、铬、钴、铜等。(3) 在AB或B层中明显聚集的，如钼和钼。

三、结语

长白山地区土壤中的微量元素受其成土母质的制约，钼、锌、铅含量比较丰富，锶、铬、镍、铜偏低，锰、

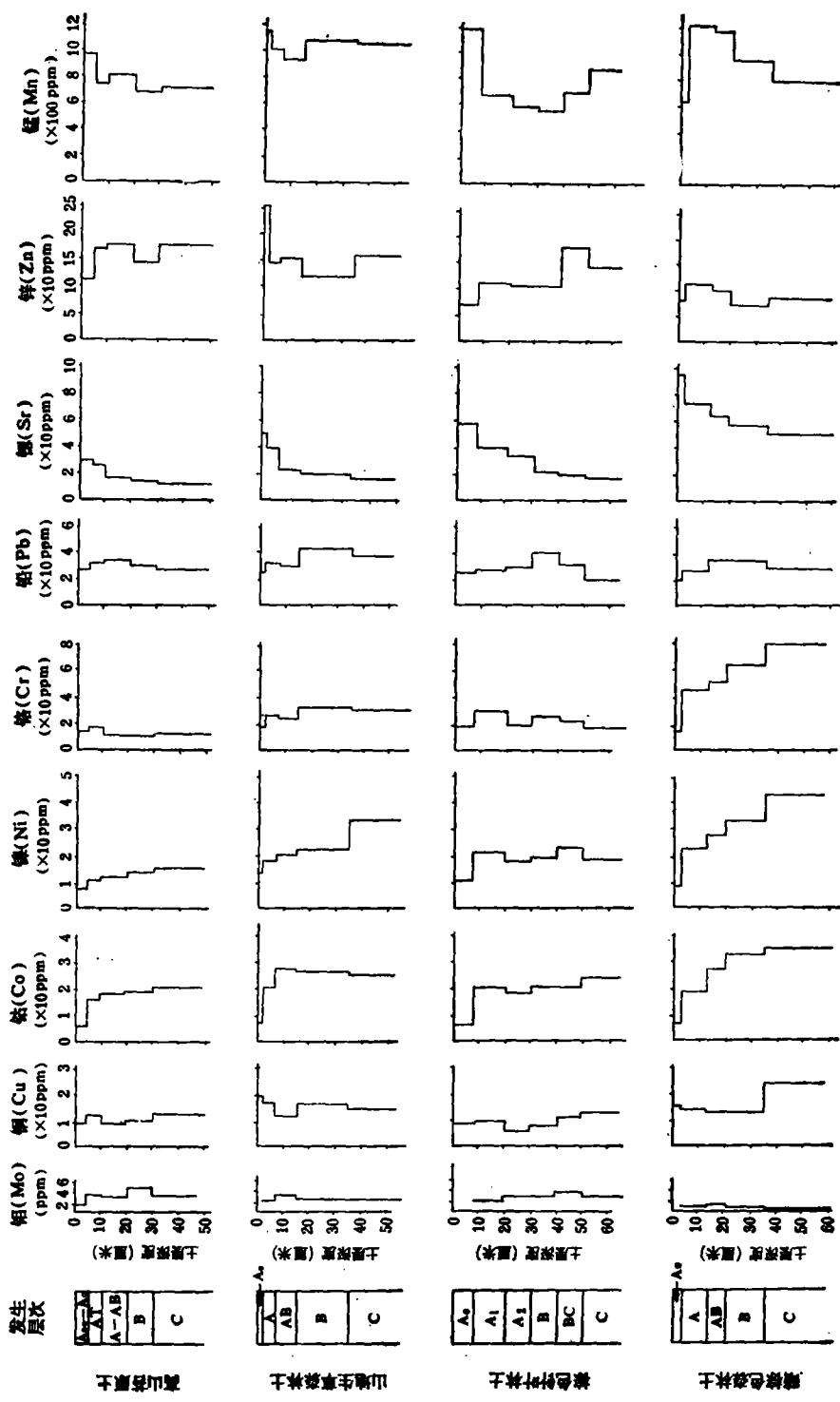


图 1 长白山地区主要土壤类型的微量元素剖面分布图

钴、镍接近世界土壤正常值。

在四个主要土类中，多数微量元素的平均含量以暗棕色森林土为最丰富，山地生草森林土次之，棕色针叶林土和高山苔原土较低。

植物的选择吸收和生物富集作用使锶、锰、铜、锌等元素在生物性堆积较强的土壤表层明显聚集，也表明它们是生物强烈堆积的元素。镍和铬在土壤剖面中大多是下层多而上层少（棕色针叶林土除外），说明它们是生物摄取量较低（针叶树的摄取量略高些）或生物弱堆积的元素。各种植物对同一元素的吸收和富集程度有很大差别，因而同一元素在各类型土壤中的累积状况也不一样。铅往往在土壤的AB或B层淀积，锌

的淀积层次更低。各种元素在土壤剖面中淀积的深度受土壤形成过程特点、土壤性质和该元素的活性等制约。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院自然区划工作委员会：中国土壤区划（初稿）。科学出版社，1959。
- [2] 方肇伦等：东北及内蒙古东部的土壤微量元素。土壤学报，11卷2期，130—142页，1963。
- [3] Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Наука АН СССР. 1957.

地形因素对太湖地区水稻土的发生与肥力的影响

李伟波 徐琪

（中国科学院南京土壤研究所）

地形因素对土壤的影响是人所共知的。微地形对水稻土的影响，早在本世纪三十年代，我国土壤学者已予以注意。随着水稻土研究工作的不断深入，有不少论著提出了这方面的问题^[1,2]。当然，地形对土壤发生与肥力的影响并不是孤立的，它和其它成土因素的作用密不可分。但是，在同一个地域性生态系统内，地形因素的突出作用是不能低估的。

太湖地区按地形可以划分为低山丘陵、平原和圩区。低山丘陵约占陆地总面积的27.8%，平原约占45.8%（其中沿江平原占26.7%，太湖平原占19.1%），圩区占26.4%。在不同地形部位上发生发育不同类型水稻土。虽然几千年来人类精耕细作，土壤的形态

特征、理化性状、肥力水平等都与起始土壤有很大的不同，但由于地形及其所支配的水文类型、水文地质特征以及母质的分布状况等，到目前为止还不能全部为人力所改变，所以它对土壤发生与肥力的影响仍然是相当巨大的。表1列举的太湖地区不同地形部位水稻土耕层化学性质，表明了这一点。一般说来，丘陵区发育的侧渗水稻土有机质、全氮含量较低，平原区发育的爽水水稻土、滞水水稻土和漏水水稻土居中，圩区发育的壅水水稻土最高。全钾、全磷因同时受地形与母质等因素的影响而含量不同，侧渗水稻土偏低，发育在新冲积物上的漏水水稻土最高。土壤肥力的差异直接表现为作物产量的高低。据吴县金山、望亭等公

表1 太湖地区水稻土耕层化学性质

土壤类型	有机质含量 (%)			全氮含量 (%)			全磷含量 (%)			全钾含量 (%)		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
爽水水稻土	2.81	0.545	138	0.164	0.0325	133	0.141	0.0435	80	1.60	0.239	53
侧渗水稻土	1.59	0.418	65	0.104	0.0323	67	0.081	0.0441	52	1.44	—	36
滞水水稻土	2.23	0.561	72	0.131	0.0316	61	0.095	0.0358	38	1.51	0.125	21
壅水水稻土	3.40	1.28	108	0.189	0.0607	109	0.123	0.0395	66	1.96	0.425	45
漏水水稻土	2.02	0.599	88	0.119	0.0268	88	0.178	0.0358	23	2.32	0.143	20

注：(1) \bar{x} —平均值，s—变异系数，n—标本数。

(2) 资料引自刘元昌等，1981；双季稻对农田生态的影响及其与稻麦高产稳产的关系。农田生态文集，中国科学院南京土壤所（内刊）。