

地下水埋深对土壤及地下水盐分影响的 信息统计分析^①

张妙仙 杨劲松

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 根据山西省大同盆地土壤及浅层水文地质普查资料,统计分析潜水埋深与潜水矿化度和耕层土壤盐分之间的关系,提出研究区几种盐分状态的潜水特征深度。应用信息论基本原理,分析各特征深度范围内,信息量的变化。首次提出潜水埋深影响作用系数,由此分析研究潜水埋深对潜水矿化度及耕层土壤盐分的影响作用,赋予各特征深度以信息和概率的内涵,分析结果表明,大同盆地潜水埋深对耕层土壤盐分的影响作用为32%,对潜水矿化度的影响作用为46%;潜水埋深为1.4~2.2m时发生盐化的可能性最大,打破了原有的潜水埋深越浅,土壤盐化越重的观点。

关键词 潜水埋深;潜水矿化度;土壤含盐量;概率;作用系数

潜水埋深、潜水矿化度和耕层土壤含盐量是土壤潜水系统水盐运动状态的主要表征。在盐渍土改良防治中,这三大状态数据是人们最关心的也是最容易获得的数据。如何利用这些较易获得的状态数据,从中提取有用的信息,研究盐渍土形成机理和分布规律,从而为盐渍土防治提供科学依据,是盐渍土改良领域重要的研究内容之一。土壤和潜水盐分状态是众多随机因素综合作用的结果,表现出随机分布的特点。对于随机性数据的分析是统计学和信息论所要研究的问题。统计学设法阐明尽管存在多样性,但仍能够确定某种统计规律。信息论则力图要阐明由于某种程度的多样性能够从中获得某些信息^[1]。而盐渍土改良研究则对其统计规律性和信息的丰富性都感兴趣。为此,本文将统计分析与信息分析原理相结合,得出当地盐分动态规律,及主要影响因素潜水埋深对潜水及土壤盐分状态的影响作用的大小。

1 信息统计学分析原理

我们将调查区土壤含盐量及地下水矿化度作为调查区盐分运动变化发出的一种信息,依信息理论进行信息处理。

信息作为科学概念,是由申农和维纳等人于20世纪40年代首先提出的。信源发出的消息具有多种可能性,可以看作随机过程或随机序列。消息只不过是信息的载体、符号和代码。信息则是包含在消息中的抽象物,它对于揭示事物的组织结构和不均匀程度,揭示系统的有序化程度及其演化方向等问题有重要的意义。

用信息方法时,首先必须根据研究对象(本文为潜水矿化度和耕层土壤含盐量)对其发出的消息,抽象为信息量及其变换过程,而撇开研究对象的物质和能量的具体形态。针对信息的随机特点,用消息可能数目的对象来度量消息中包含的信息量。

① 本论文得到国家重点基础研究发展规划项目G1999011803的经费支持。

设某事物具有几种独立的可能结果^[2]：

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

每一状态出现的概率分别为：

$$P(X_1), P(X_2), P(X_3), \dots, P(X_n)$$

且有：

$$\sum_{i=1}^n P(X_i) = 1$$

则该事件的信息量：

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n P(X_i) \log_a P(X_i) \tag{1}$$

当对数的底数为 2 时，H(X) 的单位称为比特(bit)。

2 潜水埋深对耕层土壤含盐量影响作用的信息统计学分析

首先对大同盆地土壤及浅层水文地质调查所得潜水埋深、潜水矿化度及耕层土壤盐分作统计分析，分别得出潜水埋深与潜水盐分状态、土壤耕层盐分状态的统计规律，然后将耕层土壤含盐量及潜水矿化度作为调查区盐分运动变化发出的一种信息，依信息理论进行信息处理。

调查资料^① 由大同盆地腹部 1100 ~ 880m 高程内的 413900hm² 土地上平均布点获得。潜水矿化度点位 445 个，耕层土壤含盐量点位 393 个。统计得大同盆地潜水埋深在 0.48 ~ 4.57m 之间，耕层土壤含盐量在 0.2 ~ 24g/kg 之间。全盆地非盐化土壤点位为 54%，盐化土壤点位为 46%；65% 的点位潜水埋深在 1.4 ~ 2.2m 之间，这一潜水埋深段相应的耕层土壤盐化点位占全部耕层盐化点位的 72%。依据点的分布趋势，结合盐化土壤轻、中、重的一般划分标准，各潜水埋深段及耕层土壤含盐量段的点位分布统计如表 1。其概率 $P(X)$ 随潜水位埋深变化如表 2。

表 1 土壤盐分与潜水埋深点位数目统计表

潜水埋深 (m)	点位总数	0 ~ 20cm 耕层土壤含盐量 (g/kg)				
		非盐化 < 2	轻度盐化 2-4	中度盐化 4-7	重度盐化 7-10	盐土 > 10
< 1.0	20	9	7	1	3	
1.0-1.4	53	30	13	7	1	2
1.4-2.2	258	127	58	22	34	17
2.2-2.5	33	22	4	3	3	1
2.5-3.0	16	14	2			
3.0-4.0	10	6	3	1		
> 4.0	3	3				
点位总数	393	211	87	34	41	20

研究区盐化土壤点位的概率为 46.3%，非盐渍化土壤点位概率为 53.7%。0.48 ~ 4m 潜水埋深范围内都可以发生轻中度盐化土，其中，0.48 ~ 2.5m 可发生重度盐化土。潜水埋深 2.5 ~ 4m 基本上不会发生中、重度盐化土。潜水埋深大于 4m 则没有盐渍化威胁。潜水

① 山西省水科所(内部资料)，山西省大同盆地盐碱地农业综合开发可行性研究报告，专题调查之 6，表层水文地质，1991

埋深在 1.4~2.2m 情况下发生中度以上的盐化土可能性最大。为此划分几个特征深度(表 2)。

表 2 不同潜水埋深段不同土壤盐分段的概率、信息量、潜水埋深作用系数汇总表

潜水特征埋深 命名	潜水埋深 (m)	耕率 P(X)					信息量 (H(X))	潜水埋深作 用系数 β
		0~20cm 土壤含盐量(g/kg)						
		< 2	> 2	> 4	> 7	> 10		
弱盐化深度	< 1.0	45	55	20	15	0	1.6751	0.0834
盐化深度	1.0~1.4	56.6	43.4	18	5.7	3.8	1.6342	0.1058
强盐化深度	1.4~2.2	49	51	28.3	19.8	6.6	1.9341	0.0583
盐化深度	2.2~2.5	67	33	21.2	12.1	3.0	1.5409	0.1568
弱盐化深度	2.5~3.0	87.5	12.5	0	0	0	0.5436	0.703
潜在盐化威胁深度	3.0~4.0	60	40	10	0	0	1.2955	0.2111
无盐化安全深度	> 4.0	100	0	0	0	0	0	1.0
合计	0.48~4.57	53.7	46.3	24.2	15.5	5.1	1.8276	0.306

根据公式(1),计算不同潜水埋深条件下土壤含盐量所包含的信息量(表 2)。表中数据表明不同埋深段所包含的信息量不同。比特数越大,包含信息越多,比特数越小,包含信息越少。由于影响土壤的因素的复杂性和随机性及这些随机因素综合作用的随机性,造成土壤盐分含量的随机性。潜水埋深仅是这众多因素之一。为评价潜水埋深这一因素影响作用大小,我们计算对比不同埋深时信息量的变化,以区别出潜水埋深因素引入后对其信息量的影响情况。从而导出了潜水埋深对土壤盐分的影响作用系数 β :

$$\beta = \frac{H(X_1) - H(X)}{H(X)} \quad (2)$$

影响作用系数(表 2)范围为 $0 < \beta < 1$ 。平均情况下,潜水埋深对土壤含盐量的作用系数为 0.326。潜水埋深在 0~2.5m 时,潜水埋深对土壤含盐量的影响作用系数 β 值较小,也即潜水埋深的引入,并不能使其信息量降低。在此埋深范围内,潜水埋深作用微弱。引入其它影响因素才能使信息量降低,即随机性减轻;潜水埋深在 2.5~4m 范围内,其作用系数较大,潜水埋深大于 4m 其作用系数为 1,也即潜水埋深起绝对主导作用。

3 潜水埋深对潜水矿化度影响作用的信息统计学分析

研究区潜水矿化度范围在 0.3~21.6g/l。随着矿化度的增加,潜水埋深变化范围逐渐缩小,最后趋于 1.8m 左右。依点位分布趋势,总点位的 67.9%,潜水埋深在 1.4~2.2m 之间,且该潜水埋深下的潜水矿化点位占总矿化点位的 84.8%。结合潜水矿化划分标准,各潜水埋深段及潜水矿化段的点位分布统计如表 3,其概率统计如表 4。

矿化潜水的埋深主要在 1.4~2.5m 范围内,随着埋深的增加和减少,矿化度都在减少。为此划分几个特征潜水深度(表 4)。

同理,根据公式(1)和(2),计算不同潜水埋深条件下潜水矿化度所包含的信息量和影响作用系数 β (表 4)。平均情况下,潜水埋深对潜水矿化度的作用系数为 0.461,当潜水埋深在 1.4~2.5m 强矿化段时,潜水埋深作用系数 β 值较小,即潜水埋深的引入,并不能使潜水矿化度所包含的信息量降低。在此埋深范围内,潜水埋深影响作用降为次要。只有引入其它影响因素才能使信息量降低,即随机性减轻。潜水埋深 $> 2.5m$ 或 $< 1.4m$ 其作用系数较大,潜水埋深对潜水矿化度起主导作用。

表 3 潜水矿化度与潜水埋深点数统计表

潜水埋深 (m)	点位总数	潜水矿化度(g/L)				
		< 2	2-3	3-5	5-10	> 10
< 1.4	77	72	3	1	1	
1.4-2.2	302	224	22	22	19	15
2.2-2.5	38	30	4	2		2
2.5-4.0	24	23		1		
> 4.0	4	4				
合计	445	353	29	26	20	17

表 4 不同潜水埋深、不同潜水矿化度的概率和信息量、作用系数汇总表

潜水特征 埋深命名	潜水埋深 (m)	耕率 P(X)					信息量 H(X)	作用系数 β
		潜化矿化度(g/L)						
		< 2	> 2	> 3	> 5	> 10		
弱矿化	0.48-1.4	93.5	6.5	2.6	1.3	0	0.43576	0.61852
强矿化	1.4-2.2	74.2	25.8	18.5	1.3	5.0	1.33651	-0.17002
矿化	2.2-2.5	78.9	21.1	10.5	5.3	5.3	1.05827	0.073554
弱矿化	2.5-4.0	95.8	4.2	4.2	4.2	0	0.24988	0.781246
非矿化	4.0-4.57	100	0	0	0	0	0	1
合计		79.3	20.7	14.2	8.31	3.82	1.14229	0.461

4 结 论

将潜水埋深与潜化矿化度和耕层土壤含盐量之间关系的统计学分析和信息论分析相结合, 不仅表明各类轻、中、重盐化土壤发生与潜水埋深的关系, 同时表明潜水埋深对潜水-土壤系统的盐分状态的作用不是唯一地起主要作用, 用作用系数度量其作用仅占 32%。潜水埋深对潜水矿化度的影响要比对土壤含盐量的影响大, 达到 46%。

信息分析结果表明, 大同盆地土壤及潜水盐化与潜水埋深的关系。当潜水埋深在 1.4~2.5m 时, 土壤及潜水盐化的可能性最大也最严重, 但其信息量也最大, 为 1.9~1.1。潜水埋深的影响作用系数仅为 0.16~0.17。也即在最可能发生土壤盐化的潜水埋深条件下, 潜水埋深作用变为次要, 而其它因素的作用起主导作用。与其它特征深度相比这一深度发生盐化的可能性最大, 但在这一深度, 土壤及潜水并不一定发生盐化, 是否发生盐化, 还要分析其它更主要的原因, 如耕作管理、土壤质地、土体构型等影响盐化的原因。

将信息统计学方法应用于土壤及潜水盐化与潜水埋深关系的研究是本论文的初步尝试。可为盐渍土综合治理, 合理配置各项措施, 提供定量的依据。

参 考 文 献

- [苏]B. W. 鲍罗夫斯基等著. 盐渍土改良的数量研究法. 北京: 科学出版社, 1980, 139~149
- 仪重详. 非线性科学在地学中的应用. 北京: 气象出版社, 1995, 53~59