

灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响*

肖振华¹ 万洪富² 郑莲芬³

(中国科学院南京土壤研究所^{1,3}, 210008)

(广东省土壤研究所², 510650)

摘 要

本文以灌溉水矿化度和钠吸附比(SAR)为两个主要指标,组合成16个灌溉水质处理,研究了不同灌溉水质对土壤化学性质和作物生长的影响,初步提出了引起盐害和碱害的灌溉水矿化度和钠吸附比的临界值。研究表明,灌溉水带入土壤的盐分在土壤中累积与淋洗交替进行。当灌溉水矿化度小于3g/L时,土壤剖面中的盐分处于平衡状态,超过3g/L,则有不同程度积盐,甚至发生中度次生盐化。

灌溉水高钠吸附比(SAR)和高碳酸钠含量,可能引起土壤溶液中钙、镁离子因生成碳酸钙镁沉淀而使其浓度降低,钠离子浓度相对增加,从而促使可溶性钠百分率(SSP),钠钙镁比(SDR)和钠吸附比(SAR)升高,最终导致土壤交换性钠百分率(ESP)增加。当灌溉水钠吸附比大于14,矿化度大于3g/L和4g/L时,大豆和小麦生长和产量受到影响,土壤出现中度或强度次生碱化。

关键词 灌溉水质, 矿化度, 钠吸附比(SAR), 土壤交换性钠百分率(ESP)

我国华北和西北干旱半干旱地区,雨量较少,地面灌溉水源短缺,已成为农牧业持续发展的一个主要限制因素。70年代以来,由于开发利用地下水资源,发展井灌,促进了灌溉农业的发展。但是,地下水中或多或少含有可溶性盐类,有些地区含盐量较高,对这类劣质水,如果利用不当,会对土壤和作物产生危害,甚至导致土壤次生盐碱化和生态环境恶化。灌溉水源不足,已成为许多国家所面临的共同性问题,美国、澳大利亚、印度、以色列以及前苏联等国,在劣质水利用方面都有许多成功的经验^[1]。我国在咸水灌溉的增产效果及改良利用方面也做了许多有益的工作^[2-3]。但是,长期以来,对灌溉水质问题,只注重于灌溉水的含盐量(矿化度),而对灌溉水的化学组成及其对土壤理化性质的影响则缺乏较深入研究^[4]。由于灌溉水源日趋紧张,利用劣质水灌溉的趋势正在增长,因此,研究劣质水灌溉对土壤理化性质的影响及其利用途径等,仍然是许多国家近期研究的重点^[5]。目前世界上广泛使用盐害和碱害两项重要指标,对灌溉水质进行评价。盐害以含盐量(矿化度)或电导率(EC_w)为标准,碱害多以钠吸附比(SAR)^[6-7],

* 本研究为国家自然科学基金项目。孟繁华、张丽君等同志参加部分实验工作。

残余碳酸钠^[8]等为标准。灌溉水 EC_w 和 SAR 对土壤水力性质的影响已有不少论述,作者也进行过专题研究^[9]。本文主要研究灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响,为灌溉水质分类分级和劣质水的改良利用提供科学依据。

1 试验条件与方法

试验在中科院封丘农业生态实验站进行。试验地区光照充足,多年平均降雨量 615mm,蒸发量 1831mm,地下水位 4—5m。试验设计以灌溉水矿化度和钠吸附比(SAR)为两个主要指标,分别配制成 16 个灌溉处理。各处理灌溉水化学性质见表 1。试验在不透水混凝土筒中进行,试筒直径 50cm,筒长 1.1m,埋深 1m,不封筒底,试筒底部土壤与筒外土壤相通。供试土壤为黄河泛滥沉积上发育的潮土,以轻壤质地为主,经碾压过筛后以容重 1.5g/cm³ 分层装填。土壤物理和化学性质见表 2。试筒填装之后,用井水(水质见表 1 中处理 2)自表面分次灌入湿润至底层,使 1m 土层达田间持水量(含水量约 24%),每试筒共灌水 60kg。

表1 不同处理灌溉水化学性质

Table 1 Chemical properties of irrigation water in different treatments

处理 Treatment	电导率 EC _w (ds/ m)	矿化度 Mineralization degree (g/ L)	钠吸附比 SAR	残余碳酸钠 RSC (mmol/L)	可溶性钠百分率 SSP (%)	钠钙镁比 SDR
1	0.805	0.45	5	0	77.0	3.27
2	1.437	0.98	5	2.63	61.0	1.61
3	4.153	2.80	5	0	47.0	0.89
4	6.418	4.33	5	0	41.0	0.68
5	8.456	5.90	5	0	36.0	0.57
6	12.609	9.05	5	0	31.0	0.45
7	1.708	1.03	14	0	90.0	9.08
8	3.582	2.50	14	17.89	80.0	4.07
9	7.368	5.34	14	0	70.0	2.33
10	3.643	2.58	22	0	90.0	8.97
11	4.304	3.77	22	32.29	86.0	6.23
12	7.120	5.13	22	0	83.0	4.87
13	1.890	1.01	30	11.40	98.0	19.50
14	4.228	2.95	30	36.31	92.0	8.88
15	6.962	5.02	30	0.88	89.0	8.39
16	10.250	7.71	30	0	85.0	5.85

试验从 1992 年 10 月至 95 年 12 月,种植作物为冬小麦和大豆,小麦品种为 85 中 33,大豆为豫豆 10 号,属当地一般品种。在作物生育期中,当累积水面蒸发量与降雨量

表2 供试土壤物理化学性质

Table 2 Physical and chemical properties of the experimental soil

颗粒组成				容重				
Particle size distribution(g/ kg)								
1—0.25mm	0.25—0.05mm	0.05—0.01mm	<0.01mm	Bulk density(g/ cm ³)				
1.0	128.2	576.0	294.8	1.5				
土壤盐分离子组成				土壤1:5浸提液电导率EC _w (water: soil=5: 1) (ds/ m)				
Ionic composition of soil salt (cmol/ kg)								
CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
0	1.058	0.021	0.049	0.074	0.186	0.682	0.023	0.211

之差大于 40mm 时, 即进行灌溉, 每次灌水 8 升(42.4mm)。根据土壤含水量情况, 适当增加或减少灌水量或灌水次数。在每次灌水之前取土样测定土壤含水量和土壤电导率, 在作物收获后(6月初和10月初)取土样测定盐分组成变化。另外, 在10个测筒中分别埋设土壤盐分传感器, 定期原位测定土壤溶液电导率, 在作物生长过程中随时观测作物生长情况。

2 结果与讨论

2.1 灌溉水质对土壤盐分动态的影响

2.1.1 土壤盐分的累积和淋洗 由于半湿润、半干旱季风气候的影响, 春旱、夏秋涝和秋冬旱成为明显的气候特点, 引起土壤盐分累积和淋洗交替进行。灌溉促进了土壤盐分的这种变化。

春季干旱积盐: 由于冬小麦耗水增多和强烈蒸发, 土壤处于明显积盐阶段。这期间降雨较少, 冬小麦需要灌返青水、拔节水和灌浆水以满足其对水分的需要。灌溉水中的盐分多累积在耕层, 特别是表层土壤中。在雨季到来之前的5月底或6月初, 0—30cm 土层加权平均含盐量达一年中最高值。图1是盐分传感器原位测定的土壤剖面电导率(EC)的变化, 三次测定时, 土壤含水量基本相同。图中5月18日不同处理10cm深处土壤电导率分别为2.0, 3.9, 6.3和14.9ds/m。灌溉水含盐量愈高, 土壤盐分累积愈多。

夏季降雨淋洗: 6月中旬至9月上旬是降雨较集中的季节, 降雨量占全年降雨量的50—60%, 次降雨量较大, 几天之内降雨量可达100mm以上, 使得土壤盐分自上而下淋洗, 一般是30—50cm以上脱盐, 50cm以下可能积盐, 脱盐的程度和深度与次降雨量有关。与春旱时盐分峰值相比, 表层10cm处盐分降低最多, 7月14日测定不同处理EC_w分别降至0.39, 0.57, 2.44和5.73ds/m。

秋季蒸发积盐: 9月中旬开始降雨减少, 蒸发蒸腾增强。在大豆生育期中需要灌水3—4次, 以满足作物对水分的需要。由于强烈蒸发, 上层土壤盐分又开始增加。图中12月23日测定的土壤EC_w分布, 可以说明这期间的积盐状况。

冬季缓慢积盐: 12月中旬之后, 由于气温低, 蒸发减弱, 盐分移动缓慢。但这期间

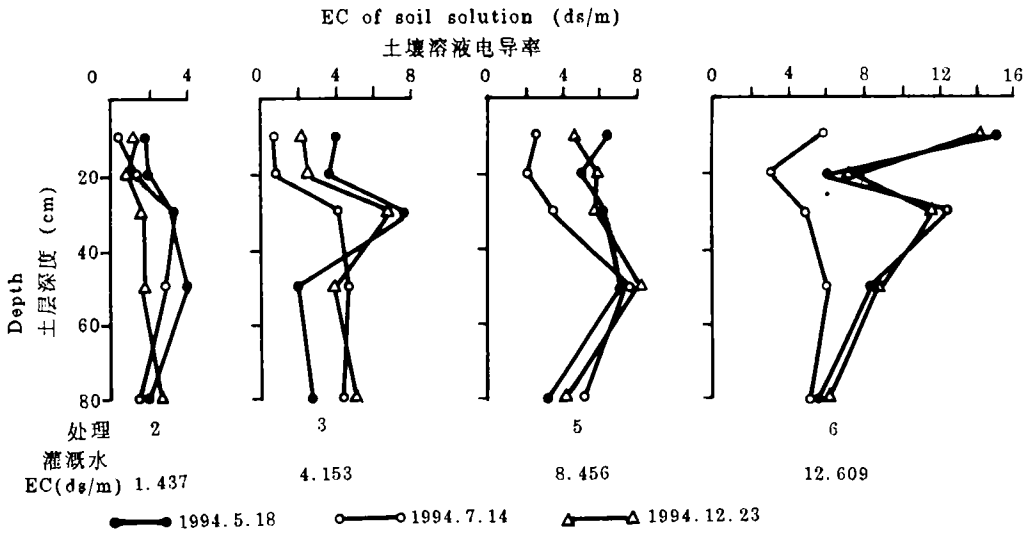


图1 土壤盐分传感器测定的土壤溶液电导率变化

Fig.1 Changes of EC in soil solution determined by the soil salinity sensors

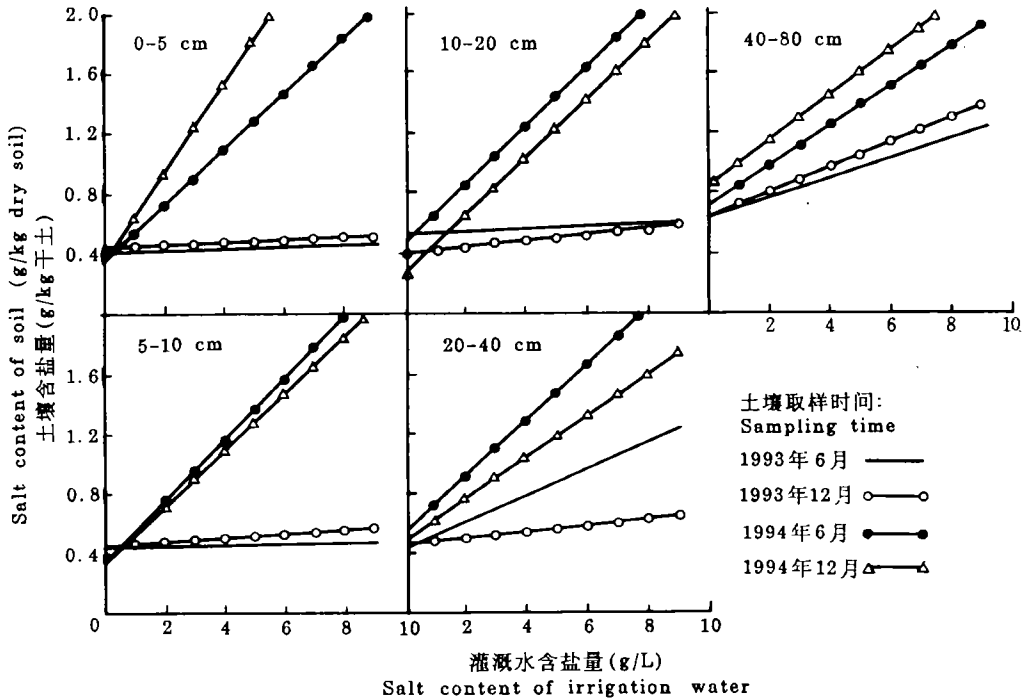


图2 土壤含盐量与灌溉水矿化度的关系

Fig.2 Relation between the salt content of soil and the salt content of irrigation water

雨雪较少, 常有大风, 所以土壤仍处于缓慢积盐过程。

在一年的周期中,灌溉水含盐量小于 3g/L 的处理, $0\text{--}80\text{cm}$ 土层盐分基本处于平衡状态,大于 3g/L 的处理,土壤剖面上有不同程度积盐, $30\text{--}50\text{cm}$ 土层积盐较明显。图 2 是由定期取样测定的土壤含盐量与灌溉水矿化度的关系,可以清楚说明灌溉水可溶盐浓度对土壤含盐量的影响。土壤含盐量与灌溉水矿化度成正相关关系,相关系数 r 大于 0.90 。随着灌溉水次数和灌入盐量的增加,土壤含盐量增加。但是,由灌溉水带入土壤中的盐分,并非全部累积在根层土壤中,相当数量的盐分由灌溉水或降雨淋洗至根层以下土层中。经过两年灌溉,由不同处理土壤剖面盐分增加的情况可以看出,灌溉水矿化度小于 3g/L 的处理, $0\text{--}40\text{cm}$ 各层土壤含盐量小于 1g/kg 干土,属非盐化土壤^[10];灌溉水矿化度 $3\text{--}5\text{g/L}$ 的处理,土壤含盐量 $1\text{--}2\text{g/kg}$ 干土,属轻度盐化土壤;矿化度 $5\text{--}9\text{g/L}$ 的处理,土壤含盐量 $2\text{--}4\text{g/kg}$ 干土,为中度盐化土壤,均未达到强度盐化标准。当然,随着灌溉的延续,土壤累积的盐分还会增加。国内外惯用以小于 1g/L 作为灌溉水质标准^[7,11],本研究认为这个标准偏严,可以适当放宽。

2.1.2 灌溉水质对土壤盐分组成的影响 灌溉促进了土壤中盐分的运移和变化,从而也促进了土壤溶液的离子与土壤胶体复合体所吸附的离子之间的交换反应,引起灌溉土壤化学性质的变化。

(1) 灌溉水质对土壤溶液可溶性钠百分率(SSP)的影响:灌溉水 SSP 随矿化度增大而减小,随钠吸附比(SAR)增大而增大。从表 1 可知,当灌溉水 SAR 等于或大于 14 时,其 SSP 值大多超过 80% 。Scofield^[12](1935), Magistad 和 Christiansen^[13](1944)认为 SSP 大于 60% 的水是有害的。Greene^[14](1948)提出对于总盐量小于 10 毫克当量/升的水, SSP 可以提高到 80% 。表 3 为不同处理的灌溉水对土壤化学性质的影响。可以看出,在灌溉水低钠吸附比(SAR = 5)情况下,土壤溶液 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 随灌溉水矿化度增加而增加,但其相对组成变化不大,所以,其 SSP 变化规律不明显。但是,处理 $7\text{--}9$, $10\text{--}12$ 和 $13\text{--}16$, 其灌溉水 SAR 分别为 14 , 22 和 30 , 在相同 SAR 值的几个处理中,随灌溉水矿化度增高,土壤溶液 SSP 值变大,同一处理,灌溉年限愈多, SSP 值愈大。处理 $8\text{--}16$ 的 SSP 值均超过 60% , 特别是灌溉水 SAR 为 22 和 30 , 矿化度为 3g/L 或大于 3g/L 的处理 11 , 12 , 14 , 15 和 16 , 土壤溶液 SSP 达 80% 以上。长期使用这样的灌溉水可能会使土壤发生碱害。然而,要确定灌溉水引起的碱害,应当考虑土壤交换性钠百分率(ESP)的变化。

(2) 灌溉水质对钠离子与二价阳离子比值(SDR)的影响:如表 1 所示,灌溉水 SDR 的变化规律与 SSP 相似,矿化度愈高, SDR 愈小;钠吸附比愈大, SDR 愈大。当 SAR 等于或大于 14 时, SDR 大于 4 。有人提出灌溉水 SDR 大于 4.0 可能使土壤碱化度(ESP)超过 15% 。由表 3 可知,在灌溉水低 SAR 时,土壤溶液 SDR 和 SSP 有相似的变化规律,且 SDR 值小于 1.0 。当灌溉水 SAR 到达 14 之后,随矿化度增加,土壤溶液 SDR 值变大。处理 11 , 12 , 14 , 15 和 16 的土壤 SDR 值超过 4.0 , 其中处理 12 , 15 和 16 SDR 超过 7.0 。

(3) 灌溉水质对土壤溶液钠吸附比的影响:随着灌溉水钠吸附比(SAR)增大,钙、镁离子相对于阳离子总量的比值变小,而钠离子所占的比值变大。在 16 个处理的灌溉水中,绝大多数含有重碳酸根离子,有 5 个处理残余碳酸钠大于 $2.50(\text{mmol/L})$, 最高者达到 $36.31(\text{mmol/L})$ 。一般认为,灌溉水中的碳酸钠进入土壤后,使土壤的碱度增加,特别是当灌溉水中含有残余碳酸钠时,与土壤溶液中的钙、镁离子反应生成碳酸钙、镁沉淀,使土

表3 不同处理的灌溉水对土壤化学性质的影响¹⁾(20cm加权平均值)

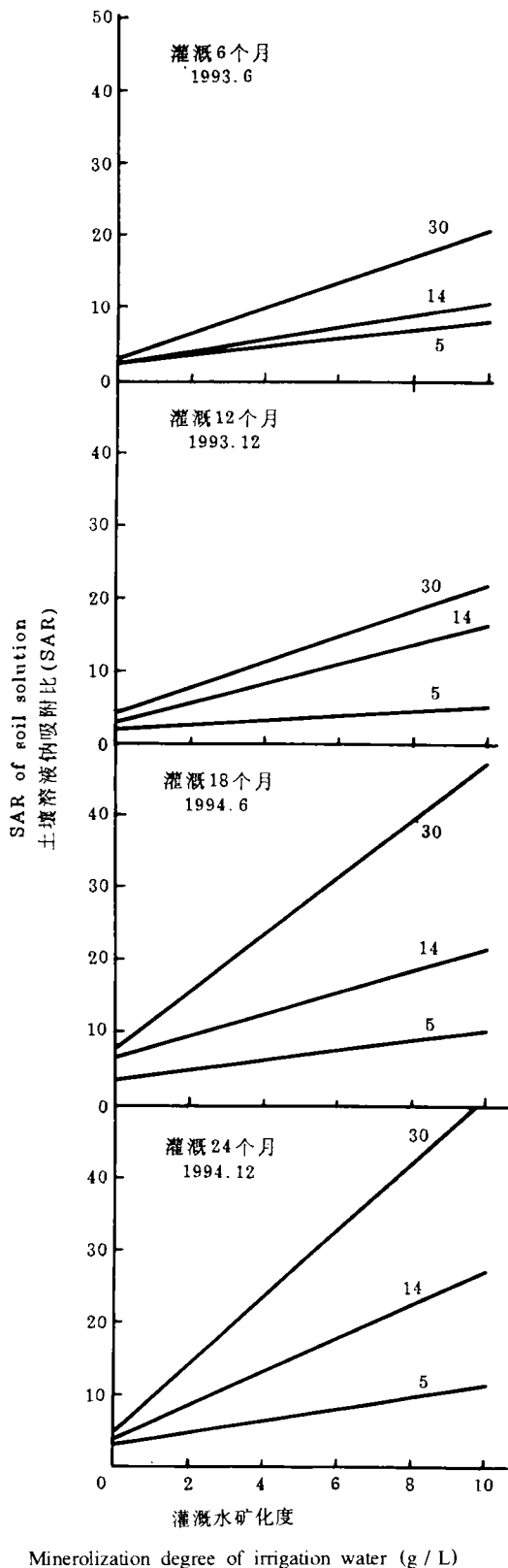
Table 3 Effect of irrigation water in different treatments on soil chemical properties (20cm weighted average)

处理 Treatment	灌溉水 Irrigation water		试验土壤 Experimental soil									
	矿化度 Mineralization degree (g/L)	钠吸 附比 SAR	土壤溶液可溶 性钠百分率 SSP(%)		土壤溶液钠离子 二价阳离子比 SDR		土壤溶液钠 吸附比 ²⁾ SAR		土壤溶液残余碳 酸钠 (mmol/L) RSC		土壤交换性 钠百分率 ESP(%)	
			1993.6	1994.12	1993.6	1994.12	1993.6	1994.12	1993.6	1994.12	1993.6	1994.12
1	0.45	5	35.5	46.0	0.55	0.85	2.70	3.91	0.13	0.08	1.71	3.51
2	0.98	5	39.3	48.3	0.65	0.93	3.24	4.55	0.13	0.03	2.41	5.32
3	2.80	5	43.6	40.8	0.77	0.69	3.87	4.86	0.17	0	/	/
4	4.33	5	29.4	28.1	0.42	0.39	4.71	6.27	0	0	/	/
5	5.90	5	44.6	32.0	0.80	0.47	6.01	5.18	0	0	/	/
6	9.05	5	53.7	31.1	1.16	0.45	3.51	5.88	0.15	0	3.24	6.67
7	1.03	14	41.9	55.7	0.72	1.26	3.39	6.29	0.15	0	3.40	7.97
8	2.50	14	53.2	74.2	1.14	2.87	4.84	9.60	0.28	0.70	5.89	9.90
9	5.34	14	62.3	70.7	1.67	2.41	7.01	16.02	0.38	0	/	/
10	2.58	22	52.6	73.1	1.11	2.72	5.29	13.67	0.08	0	5.79	8.65
11	3.78	22	72.5	83.3	2.64	4.97	8.88	18.37	0.60	1.16	6.83	21.28
12	5.13	22	72.5	88.8	2.64	7.94	8.95	34.01	0.56	0.27	/	/
13	1.01	30	49.8	66.0	0.99	1.94	4.39	7.17	0.09	0.53	5.02	6.00
14	2.95	30	63.8	80.0	1.76	4.01	6.92	16.79	0.36	0.16	7.23	13.37
15	5.02	30	81.6	88.5	4.42	7.72	4.59	34.58	0.97	0.35	/	/
16	7.71	30	81.9	88.8	4.54	7.90	14.80	35.91	0.75	0.18	9.90	24.45

1) 1:5土水比浸提液测定的结果

2) 根据1:5浸提液换算成饱和和含水量的结果

壤溶液中钙、镁离子减少, 钠离子浓度相对增加, 从而使土壤溶液可溶性钠百分率(SSP)、钠、钙镁比(SDR)和钠吸附比(SAR)增加, 最后使土壤交换性钠百分率(ESP)增加。图3为土壤溶液钠吸附比与灌溉水矿化度和钠吸附比的关系。在灌溉水矿化度相同SAR不同时, 则灌溉水SAR愈大, 土壤溶液SAR也愈大。在灌溉水SAR相同、矿化度不同时, 土壤SAR则随灌溉水矿化度增加而增加, 两者之间密切相关($r = 0.86-0.99$)。当灌溉水SAR为5时, 随灌溉水矿化度增加, 土壤SAR增幅较小; 灌溉2年后, 土壤SAR值最大不超过10。但是, 当灌溉水SAR增大到14时, 土壤溶液SAR最高达到25。可以看出, 灌溉水矿化度愈高, 土壤溶液SAR愈大, 灌溉水SAR愈大, 土壤溶液SAR增加也愈快。当灌溉水SAR值为30时, 矿化度分别为2.95, 5.02和7.71g/L的处理, 其土壤溶液SAR值分别达到18, 27和39.8。这个结果说明, 灌溉水钠吸附比(SAR)大于14后, 土壤溶液SAR可能达到高钠甚至极高钠水平^[6-7]。使用这类灌溉水需要采取有效的改良措施, 防治盐害和碱害。



图中数字 5、14、30 为灌溉水 SAR 值

图3 土壤溶液钠吸附比与灌溉水矿化度和钠吸附比的关系

Fig.3 Relation of soil solution SAR to the mineralization degree and SAR of irrigation water

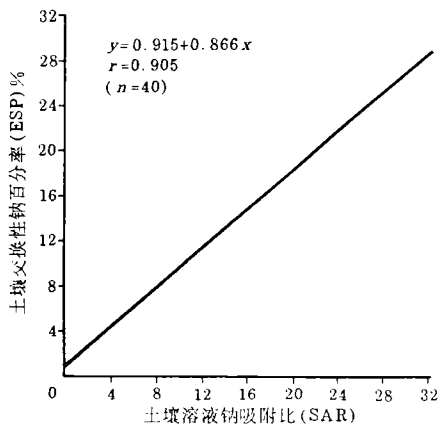


图4 土壤交换性钠百分率(ESP)与土壤溶液钠吸附比(SAR)的关系

Fig.4 Relation between soil exchangeable sodium percentage (ESP) and the sodium adsorption ratio (SAR) of soil solution

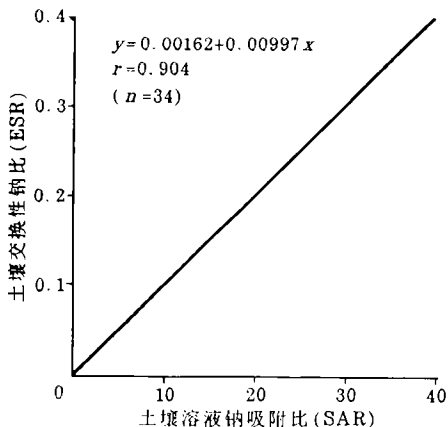


图5 土壤交换性钠比(ESR)与土壤溶液钠吸附比(SAR)的关系

Fig.5 Relation between soil exchangeable sodium ratio (ESR) and the sodium adsorption ratio (SAR) of soil solution

Mineralization degree of irrigation water (g/L)

(4) 灌溉水质对土壤交换性钠百分率^[6](ESP)的影响: 土壤交换性钠百分率(ESP)与土壤溶液钠吸附比(SAR)的关系如图4所示, 两者呈正相关关系($r = 0.963$)。而土壤溶液 SAR 与灌溉水 SAR 和矿化度同时有良好的相关关系, 所以, 土壤 ESP 同样与灌溉水 SAR 和矿化度两者有密切相关关系。ESP 随灌溉水 SAR 和矿化度增加而增加, 灌溉延续愈久, ESP 增加愈高。

图5表示34个土样土壤溶液钠吸附比(SAR)与交换性钠比(ESR)的关系。根据二者的回归方程, 可以将土壤交换性钠百分率(ESP)与钠吸附比(SAR)的关系以下式表示:

$$ESP = \frac{100(0.00162 + 0.00997SAR)}{1 + (0.00162 + 0.00997SAR)}$$

测得土壤溶液 SAR 之后, 就可以用上式算出相应的土壤 ESP。如果灌溉水的盐分组成稳定, 灌次数较多, 灌水量较大, 排水情况良好, 土壤溶液 SAR 与灌溉水 SAR 处于平衡状态, 并且比较接近, 也可以由灌溉水 SAR 通过上式估计土壤 ESP。当然这种情况不常见, 一般总是土壤溶液浓度比灌溉水浓度高。

美国盐土实验室把土壤饱和浸提液电导率小于 4ds / m, ESP 大于 15% 的土壤称作碱土^[8], 我国一直把 ESP 大于 20% 作为划分碱土的标准。近年来, 国内外一些学者认为这些标准偏严, 提出以碱化度大于 30%, 含盐量小于 0.5% 作为碱土划分标准^[10, 15], 可能比较符合实际情况。

从两年的试验结果可以看出, 灌溉水钠吸附比为 22 和 30, 矿化度大于 3g / L($EC_w > 4ds / m$)的几个处理, 土壤含盐量小于 0.3%, 碱化度都大于 15%。处理 11 和 16ESP 分别达到 21.3% 和 24.5%, 土壤发生中度和强度碱化。如果按照惯用标准, 将土壤碱化度控制在 15% 以下, 当灌溉水 SAR 低于 5 时, 不会出现碱害问题, 但是, 当灌溉水 SAR 分别达到 14, 22 和 30 时, 则应限制矿化度分别不超过 6.8g / L($EC_w = 8.6ds / m$), 4.3g / L($EC_w = 5.5ds / m$)和 3.1g / L($EC_w = 4ds / m$)。如果将土壤 ESP 大于 30% 作为划分碱土的标准, 则所有处理的土壤碱化度都还未达到这样高的水平。当然, 对灌溉水质的评价, 除碱害之外, 还要综合考虑盐害和其它因素的影响。灌溉水的高矿化度和高 SAR 值, 可能使土壤溶液浓度、SAR 和 ESP 升高。土壤溶液浓度高, 可能引起盐害, 但是, 灌溉水矿化度高可以增加土壤的絮凝作用而减少粘粒的膨胀和分散^[9], 从而减轻高 ESP 对土壤物理性质的不利影响。因此, 在高含盐量和高 ESP 情况下, 土壤并不明显出现高 ESP 的危害, 只有当土壤盐分被淋洗之后, 高 ESP 的危害才显现出来。另外, 灌溉水质对土壤性质的影响会随灌溉年限的增加而变化, 随灌入水量和盐量的增加, 在新的基础上达到新的化学平衡, 灌溉水质所引起的盐害和碱害的指标也会随之变化。

2.2 灌溉水质对作物的影响

2.2.1 灌溉水质对作物出苗的影响

不同作物的耐盐性能不同, 同种作物不同生育期的耐盐能力亦有一定差异, 萌芽和苗期是作物全生育期中对盐分最敏感的时期, 自试验开始至 94 年 6 月初大豆播种时止, 灌水 13 次, 总水量 104 升。表 4 为不同处理大豆的出苗情况。可以看出, 灌溉水钠吸附比为 5 时, 矿化度达到 4.33g / L, 大豆出苗率仍然达

到 100%，只是 5 天出苗率只有 17.4%；矿化度 5.9g / L，出苗明显受影响，5 天出苗率 13%，总出苗率只有 50.1%；矿化度 9.05g / L 时，播种后 5 天没有出苗，总出苗率仅 20%。显然，在灌溉水低 SAR 情况下，中等矿化度 (3—5g / L) 会使作物萌芽和出苗延缓，大于 5g / L 的高矿化度则是影响出苗率的主要原因。当灌溉水 SAR 超过 14 之后，高 SAR 和高矿化度两者成为影响出苗的主要因素。当灌溉水 SAR 为 30，矿化度 7.71g / L 时，5 天出苗率为 0，总出苗率只有 35.6%。除高矿化度引起的盐害影响之外，高 SAR 值使得土壤碱化度升高 (24.5%)，土壤出现碱化现象，表土物理性质恶化，粘粒分散，结壳，使大豆不易出苗。

表4 不同灌溉水质条件下大豆出苗情况(1994.6)

Table 4 Emergence of soybean under different irrigation water quality conditions

处理 Treatment	灌溉水矿化度 Mineralization degree of irrigation water (g/L)	钠吸附比 SAR	5天出苗率 Rate of emergence in 5 days (%)	8天出苗率 Rate of emergence in 8 days (%)	总出苗率 Total emergence (%)	相对盐害率 Suffered from salt (%)
1	0.45	5	54.3	78.3	100.0	0
2	0.98	5	45.7	87.0	100.0	0
3	2.80	5	47.8	84.8	100.0	0
4	4.33	5	17.4	65.2	100.0	0
5	5.90	5	13.0	32.6	50.1	49.9
6	9.05	5	0	7.0	20.0	80.0
7	1.03	14	43.0	88.0	100.0	0
8	2.50	14	42.0	90.0	100.0	0
9	5.34	14	13.0	33.5	47.9	52.1
10	2.58	22	26.0	82.6	100.0	0
11	3.78	22	23.9	58.7	84.8	15.2
12	5.13	22	15.2	37.0	45.7	54.3
13	1.01	30	38.0	83.0	90.0	10.0
14	2.95	30	18.0	56.2	71.7	28.3
15	5.02	30	10.9	39.1	50.1	49.9
16	7.71	30	0	15.6	35.6	64.4

同样的水质和土壤条件，冬小麦的出苗率较大豆高。灌溉水 SAR 为 5，矿化度大于 5g/L 的处理，一般迟出苗 3—5 天，总出苗率 85—90%，矿化度 9.05g / L 的处理，总出苗率也达到 80%。灌溉水 SAR 为 30，矿化度 7.71g / L 的处理，小麦总出苗率亦达到 78%。显然，除冬小麦耐盐性较大豆高之外，其萌芽穿透碱化土壤结壳层的能力较大豆强。

2.2.2 灌溉水质对作物生长的影响 试验观测表明，灌溉水矿化度 4.33g / L 使大豆生长受到抑制，大于 5g/L 的处理影响更明显。其表现是生长缓慢，植株矮小，枝叶呈暗绿色，落叶较多。出苗 40 天观测的大豆植株高度见表 5。灌溉水高 SAR 值对大豆生长亦

有一定抑制作用。处理 13—16 的灌溉水矿化度分别低于相应的处理 3—6, 但是, 由于其 SAR 值(30)高于处理 3—6 的 SAR(5), 所以其植株高度低于处理 3—6, 说明了灌溉水 SAR 值高对植株生长有一定的影响。

表5 不同灌溉处理大豆出苗40天的植株高度(1994.7)

Table 5 The plant heights of soybean 40 days after emergence in different treatments

处理号 Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8
植株高度 Plant height (cm)	43.0	44.0	39.0	35.0	30.0	17.5	38.5	39.0
处理号 Treatment	9	10	11	12	13	14	15	16
植株高度 Plant height (cm)	26.5	34.0	32.0	27.0	38.5	32.5	26.0	16.5

表6 冬小麦分蘖数与灌溉水可溶盐阳离子总量和钠吸附比的关系(1994.3)

Table 6 The relation of wheat tillers to the total cations and SAR of irrigation water

分蘖数与阳离子总量的关系 Relation between tillers and the total cations			分蘖数与钠吸附比的关系 Relation between tillers and SAR		
钠吸附比 (SAR)	相关系数 Coefficient of correlation (r)	回归方程 Regression equation	阳离子总量 Total cations (mmol/ L)	相关系数 Coefficient of correlation (r)	回归方程 Regression equation
5	-0.915	$y=458.930-1.060x$	12	-0.966	$y=427.700-1.247x$
14	-0.851	$y=407.816-0.612x$	30	-0.925	$y=428.500-2.744x$
22	-0.817	$y=384.830-0.300x$	45	-0.955	$y=427.030-1.966x$
30	-0.866	$y=381.000-0.200x$	60	-0.902	$y=399.870-1.330x$

灌溉水质对冬小麦生长的影响, 可以由小麦分蘖情况来说明。表 6 为冬小麦分蘖数与灌溉水可溶盐阳离子总量和钠吸附比(SAR)的关系。在钠吸附比相同情况下, 灌溉水阳离子总量大于 30mmol/L 时, 阳离子总量愈高, 小麦分蘖愈少, 同样在灌溉水阳离子总量相同情况下, 钠吸附比大于 14 时, 钠吸附比愈高, 小麦分蘖愈少, 二者之间呈负相关关系。这个结果说明, 灌溉水中过高的含盐量和过高的钠吸附比值都会抑制冬小麦的正常分蘖和生长。

2.2.3 作物产量与灌溉水质的关系 灌溉水质对冬小麦和大豆产量的影响见图 6。试验结果显示, 当灌溉水钠吸附比为 5 时, 矿化度大于 4.33g/L, 小麦产量受影响, 矿化度大于 2.8g/L, 大豆产量就会降低。图 6 表明, 随着灌溉水矿化度和钠吸附比增加, 作物产量降低, 成负相关关系。同样的灌溉水质, 对大豆产量的影响较小麦明显, 回归方程的斜率大, 减产幅度大。用不同钠吸附比(5, 22 和 30)相同矿化度(5g/L)的三种水灌

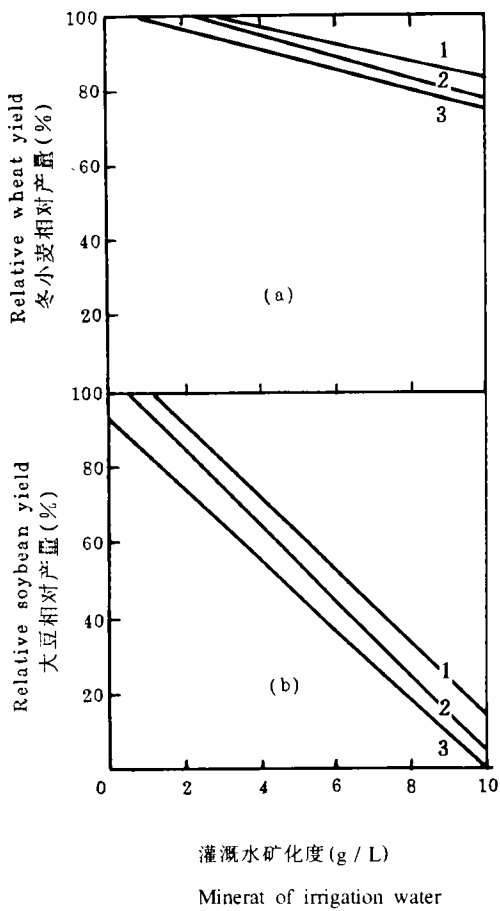


图 6 作物产量与灌溉水含盐量和钠吸附比的关系

Fig.6 Relation of crop yield to the salt content and SAR of irrigation water

钠吸附比

1 SAR=5 $y=106.08 - 2.161x$

($r = -0.96$)

2 SAR = 22 $y = 105.96 - 2.616x$

($r = -0.89$)

3 SAR = 30 $y = 101.99 - 2.381x$

($r = -0.95$)

1 SAR=5 $y=109.99 - 9.57x$

($r = -0.92$)

2 SAR = 22 $y = 107.40 - 10.24x$

($r = -0.95$)

3 SAR = 30 $y = 92.10 - 9.08x$

($r = -0.98$)

溉冬小麦和大豆，冬小麦分别减产 4%，7% 和 10%，而大豆则分别减产 38%，45% 和 54%，对作物其它生物量如秸秆重，千(百)粒重和穗(莢)数的测定结果，同样说明了灌溉水质对作物的影响。

由于灌溉水高矿化度和蒸发蒸腾的影响，使根层土壤盐分浓度增大到超过作物耐盐能力，使之吸收水分和营养的功能受到抑制，造成土壤水渗透势下降，特殊离子毒害和营养失调，从而抑制作物正常生长，最终导致产量降低^[16-19]。

2.2.4 灌溉水矿化度对植株含盐量的影响 不同作物对盐分的吸收和累积不同，不同生育期植株对盐分的吸收和累积亦有差异，但就整个生育期而言，植株盐分含量随土壤和灌溉水的盐分而变化。图 7 为大豆成熟时，植株所含盐分与灌溉水电导率(EC)的关系。植株含盐量随灌溉水电导率增加而增加。对植株盐分离子的测定表明，钠离子和植株总盐量一样随灌溉水矿化度而变化，而小麦和大豆植株中钙和钾却随灌溉水矿化度增加而减少。这一结果说明作物对钠的吸收和累积相对抑制了对钙和钾的吸收。灌溉水的

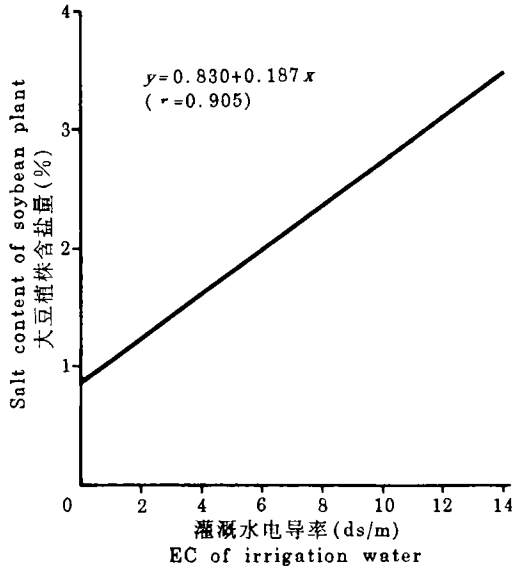


图 7 大豆植株含盐量与灌溉水电导率的关系

Fig.7 Relation between the salt content of soybean plant and the EC of irrigation water

高矿化度增加了植株对钠的吸收, 减少了对钙和钾的吸收, 影响大豆根瘤的形成和固氮能力^[20], 因而引起产量降低。

3 结 论

1. 在不同灌溉水质条件下, 可溶性盐在土壤中累积和淋洗交替进行。在一年周期中, 灌溉水矿化度小于 3g/L, 0—80cm 土壤盐分基本处于平衡状态, 大于 3g/L 则有不同程度积盐, 大于 5g/L 时土壤可能发生中度盐化。

2. 灌溉水钠吸附比(SAR)愈高, 土壤碱化度(ESP)也愈高。当灌溉水矿化度大于 3g/L, 钠吸附比达到 22 和 30 时, 土壤含盐量小于 0.4%, 碱化度大于 15% 和 20%, 土壤发生中度或强度碱化。

3. 灌溉水矿化度大于 3g/L, 钠吸附比大于 14, 大豆出苗、生长和产量受影响, 矿化度大于 4g/L, 将会影响小麦生长和产量。相同的灌溉水含盐水平, 对大豆的影响比对小麦的影响大。

4. 随着灌溉年限的增加, 劣质灌溉水引起的盐害和碱害会进一步加重, 相应引起盐害和碱害的灌溉水矿化度和钠吸附比的临界值将降低。因此, 使用高矿化和高钠吸附比的水应当慎重, 并且应采取适当的改良措施, 消除其不利影响。

参 考 文 献

1. J. D. Rhoades, 1987: 咸水灌溉的研究。国外农学“灌溉排水”, 第1期, 14—17页。
2. 陈秀玲等, 1981: 利用咸水抗旱增产。水利水电技术, 第2期。
3. 毛建华, 1984: 碱性水和咸水灌溉对土壤的影响及其改造与利用的研究。土壤通报第1期, 20—24页。
4. 俞仁培, 杨道平, 石万普, 蔡阿兴, 1984: 土壤碱化及其防治。31—101页, 农业出版社。
5. 杨劲松, 1995: 土壤盐渍化研究展望。土壤, 第27卷第1期, 23—27页。
6. L. A. 理查兹主编(厉兵译), 1965: 盐碱土的鉴别与改良。119—138页, 科学出版社。
7. FAO 1988: 农业水质。灌排文集 29, 8—12页, 中国农业科技出版社。
8. Eaton, F. M., 1950, Significance of carbonates in irrigation water. *Soil Sci.*, 69: 123—133.
9. Xiao Zhenhua, B. Prendergast and P. Rengasamy, 1992, Effect of Irrigation Water Quality on Soil Hydraulic Conductivity. *Pedosphere*, Vol. 2, No. 3, 237—244.
10. 王遵亲等, 1993: 中国盐渍土。130—248页, 科学出版社。
11. 国家环境保护局, 1985: 农田灌溉水质标准。
12. Scofield, C. S., 1935: The salinity of irrigation water. *Smith, Inst, Ann, Rpt*, 275—287.
13. Magistad, D. C. and Christiansen, J. E., 1944: Saline soil, their nature and management. U. S. Dept., Agr, *cire*. No. 707.
14. Greene, R. A. 1948: Using salty land (FAO studies 3).
15. 祝寿泉, 王遵亲, 1989: 关于盐土和碱土分类问题。中国盐渍土分类分级文集, 1—11页, 江苏科学技术出版社。
16. FAO, 1988: Salt-affected soils and their management. Rome.
17. S. K. Sharma, I. C. Gupta, 1986: Saline environment and plant growth. *Agro. Botanical publishers*.
18. R. K. Rabie 等, 1988: 土壤盐分和含水量对小麦生长养分吸收和产量的影响, 土壤学进展, 第16卷4期, 43—44页。
19. I. Shainberg, J. D. Oster, 1978: Quality of Irrigation Water. Published by the International Irrigation Information Centre.
20. 义井俊行等, 1989: 钙素对大豆初期生长根瘤形成及固氮能力的影响。土壤学进展, 第17卷2期, 32—34页。

EFFECT OF IRRIGATION WATER QUALITY ON SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS AND CROP GROWTH

Xiao Zhenhua¹⁾ Wan Hongfu²⁾ and Zheng Lianfen³⁾

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica*^{1,3)}, 210008)

(*Institute of Soil Science, Guang Dong Province*²⁾, 510650)

Summary

Effect of irrigation water quality on soil chemical characteristics and on crop growth was studied in this work. The salt content and sodium adsorption ratio (SAR) of irrigation water were considered to be two main indexes which were combined in the 16 treatments of irrigation water quality in the experiment. Results showed that salts of irrigation water were accumulated and leached alternately in the soil. When salt content of irrigation water was below 3.0g / L, the salt was kept balanced in soil profile. When the salt content of irrigation water was more than 3.0g / L, the salt was accumulated in the soil, even resulting in the medium secondary salinization. High SAR and high Na_2CO_3 in irrigation water can cause Ca^{2+} and Mg^{2+} to form sediment of CaCO_3 and MgCO_3 to decrease Ca^{2+} and Mg^{2+} concentration and to increase Na^+ concentration in the soil solution. Thus SSP, SDR and SAR were risen. As a result ESP increased in the soil. When the SAR of irrigation water was more than 14, and the salt content was more than 3.0g / L or 4.0g / L, the growth and yield of soybean and wheat were influenced, a medium or strong soil secondary alkalization occurred.

Key words Irrigation water quality, Mineralization degree, Sodium adsorption ratio (SAR), Exchangeable sodium percentage (ESP)