

# 吉林水稻灌溉水源水化学特征及其与产量的关系\*

宋进喜<sup>1,2</sup>, 许文良<sup>3</sup>, 王冬艳<sup>3</sup>

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 西北大学 环境科学系, 陕西 西安 710069;

3 吉林大学 地球科学院, 吉林 长春 130026)

**[摘要]** 分析了吉林省主要水稻种植区灌溉水源水质成分、水质成分与土壤成分相关性及其水质物化特征对水稻产量的影响, 得出吉林省水稻种植区灌溉水源水化学特征具有地带差异性, 地表水中 pH 值与水稻产量呈负相关, 而 Cu, Zn 等营养元素含量与水稻产量呈正相关; 地下水中 Ca, Mg, Na 及  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  等离子高含量对水稻产量具有抑制性。

**[关键词]** 吉林省; 水稻; 灌溉水源; 水化学特征; 水稻产量

**[中图分类号]** S511.071

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2003)02-0095-04

实现水稻的优质高产, 除应具有良好的自然地理条件外, 还应具有良好的土壤环境(包括土壤的物理环境、化学环境和养分环境等)和适宜的灌溉水质。在以往的研究中, 人们更多地注重对养分环境的研究, 尤其是对宏量营养元素 N, P, K 与水稻生长及产量间关系的研究, 而对土壤及灌溉水源的水化学属性与水稻产量关系的研究相对较少<sup>[1,2]</sup>。

水是水稻生长发育的主要自然条件之一。水稻最多的组成部分是水, 细胞原生质的 80% 是水, 稻株含水量占 75% ~ 90%。由此可见, 水在水稻生长与发育中的重要性。近些年来, 由于农业灌溉水源的不足, 劣质水的利用已成为国内外学者主要的研究内容, 并在这方面取得了许多成功的经验<sup>[3]</sup>。此外, 自 20 世纪 90 年代以来, 我国部分学者加强了有关土壤水分状况对水稻土某些性质的影响、水稻土发生层的吸附解吸特性与水分状况的关系以及灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响等方面的研究, 并取得了一批可喜的研究成果<sup>[4,5]</sup>。目前, 研究灌溉水质对土壤理化性质的影响及其与水稻产量间的关系等仍然是许多国家近期研究的重点<sup>[6]</sup>。本试验将重点研究吉林省主要水稻种植区水源的类型、灌溉水的水化学特征及其与水稻产量的关系, 旨在为吉林省水稻获得高产稳产提供科学的理论依据。

根据对吉林省主要水稻种植区的实地调查, 将

吉林省水稻灌溉水源划分为 3 类: 地表水自流灌溉, 这主要分布在省内的东南部、中部和西部地区, 占水稻栽培面积的 3/4 左右。井水灌溉, 这主要分布在地下水丰富地区, 如白城市、九台市和榆树市的部分地区, 井灌稻田约占全省水稻栽培面积的 1/5。

地表水自流与井灌相结合, 由于受自然条件的限制, 在地表水较少的季节或供应不足的时候, 采用井水灌溉, 平时以地表水灌溉为主。这种类型的稻田主要分布在梅河口市的牛心顶一带。

## 1 测试方法

本研究以吉林省白城、九台、延吉和梅河口 4 个水稻种植区为重点研究区, 分别对 4 个稻区的水源和土壤进行取样测试。其中水样中微量元素的测试采用等离子光谱法(Jarrel-A sh ICA P-9000)。阴离子的测试方法为:  $\text{NO}_3^-$  采用麝香草酚比色法,  $\text{F}^-$  采用离子选择性电极法,  $\text{SO}_4^{2-}$  采用乙二胺四乙酸二钠—钡容量法,  $\text{Cl}^-$  采用硝酸银滴定法,  $\text{HCO}_3^-$  采用酸标准溶液滴定法。土壤中主要元素(CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O)分析采用等离子光谱(ICP)法。测试工作由中国科学院地质科学研究所测试中心完成。

## 2 结果与分析

部分测试结果见表 1。

\* [收稿日期] 2001-03-11

[基金项目] 吉林省科技发展计划资助项目(963533)

[作者简介] 宋进喜(1972-), 男, 甘肃天水人, 讲师, 在读博士, 主要从事环境水文研究。

表 1 各灌溉水源水质中主要离子含量及水稻产量

Table 1 Content of some main ions in each irrigation water source and paddy yield

灌溉水源 Irrigation water		主要离子含量/(mg·L <sup>-1</sup> )													产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Paddy yield		
		Ca	Ba	Mg	Na	K	Si	Fe	P	Al	Mn	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
井灌水 Well irrigation water	BS-4	56.27	0.013	10.36	28.09	0.85	9.882	0.0050	0.0006	0.0007	0.0040	0.32	6.82	14.38	21.28	175.05	7.650
	BS-8	96.11	0.026	17.31	38.59	13.56	10.48	0.0050	0.0005	0.0053	0.0013	0.26	14.17	12.19	38.46	297.58	6.150
	JS-5	23.28	0.025	4.377	17.38	0.73	9.797	0.0578	0.0110	0.0044	0.0481	0.18	4.12	-	24.61	70.02	6.600
	BS-12	22.86	0.011	5.285	12.34	1.41	6.954	0.2246	0.0753	0.4367	0.0080	0.11	2.00	1.72	5.32	93.36	9.000
	JS-1	37.99	0.030	7.078	15.52	2.37	4.971	0.0332	0.0291	0.1817	0.0038	0.21	8.06	0.62	18.70	116.7	6.450
地表自流灌溉 Surface irrigation water	JS-x	22.79	0.013	4.225	8.824	2.19	1.486	0.0005	0.0006	0.0331	0.0038	-	4.29	3.13	16.92	58.35	9.000
	YS-7	32.77	0.010	4.501	17.31	2.51	7.529	0.0004	0.0005	0.0009	0.0008	0.06	2.76	1.01	21.62	105.03	8.250
	YS-9	13.51	0.007	2.677	4.648	1.92	6.429	0.0003	0.0306	0.0282	0.0004	-	0.88	1.64	6.08	40.85	6.600
	MS-4	34.87	0.018	10.73	12.64	2.14	25.97	0.0004	0.0333	0.0057	0.0021	-	6.35	2.5	13.85	128.37	9.150
	MS-12	31.3	0.026	7.401	19.91	2.10	4.875	0.0004	0.0005	0.0093	0.0021	0.18	8.82	0.89	13.73	105.03	8.625

## 2.1 灌溉水水质分析

2.1.1 地表自流灌溉水水质成分分析 分析对水稻生长具有重要作用的部分微量元素和部分阴离子,结果(表 1)表明,梅河口地区引自统河(M<sub>S-4</sub>)和柳河(M<sub>S-12</sub>)的自流灌溉水分别以Mg和Na的含量相对偏高;白城市嫩江流域地表自流灌溉水(B<sub>S-12</sub>)中的Al,Mn,P,Fe含量相对偏高,而K的含量最低;延吉海兰江水(Y<sub>S-9</sub>)中Mg,Ca,Na,Ba的含量相对偏低。九台市饮马河流域灌溉水(J<sub>S-1</sub>)微量元素含量较星星哨水库灌溉水(J<sub>S-x</sub>)明显偏高。在对阴离子的分析结果中(表 1)可以看出,九台和梅河口两个稻区地表水中的F<sup>-</sup>和Cl<sup>-</sup>含量相对较高,而白城和延吉两个稻区地表水中的这2种阴离子含量相对偏低。同样也可以看出九台市饮马河流域灌溉水(J<sub>S-1</sub>)阴离子含量较星星哨水库灌溉水(J<sub>S-x</sub>)显著偏高,从中反映出饮马河流域水质较星星哨水库水质良好。

2.1.2 井灌水水质成分分析 在4个水稻区,采用深井灌溉的稻田只有白城市的新艾力,面积较小,为此只讨论浅井灌溉水水质(以下同)。白城市的洮儿河以北(B<sub>S-4</sub>)和白城市东为浅井(B<sub>S-8</sub>)灌溉,井深一般为8~12m,九台市北饮马河桥以北的水稻区(J<sub>S-5</sub>)也为浅井灌溉,井深一般介于9~12m。为此,可以将两区的水质进行对比,以了解吉林省中部和西部地下水水质的差异及其对土壤地球化学的影响。从表 1 中可以看出,白城市井灌水质中K,Mg,Na,Ca,Si的含量普遍偏高,尤其是白城市东的井灌水中Ca,K的含量明显高于其他两个稻区灌溉水;而九台市北井灌水质中的Fe,Mn,P的含量相对偏高。就阴离子而言,除SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在九台灌溉水中较高外,其余4种阴离子均在白城市井灌水中含量普遍偏高。

2.1.3 井灌与自流灌溉水水质成分分析 从表 1 可知,井灌与自流灌溉水水质成分有如下特点:

(1)白城水稻种植区:就微量元素而言,井灌水(B<sub>S-4</sub>,B<sub>S-8</sub>)中盐类阳离子(Ca,Mg,Na)及Si含量明显高于地表自流灌溉水(B<sub>S-12</sub>),说明井灌水中的含盐量高。而自流灌溉水中的Fe,P,Al含量明显高于井灌水,其他元素差异不大。在所分析的5种阴离子中,井灌水中的含量明显高于自流灌溉水,这种阴阳离子差异的特性,充分反映出井灌水中的矿化度和盐度明显高于自流灌溉水。

(2)九台水稻种植区:九台市北井灌水(J<sub>S-5</sub>)富含Na,Fe,Mn,Si,而自流灌溉水(J<sub>S-1</sub>)中富含K和Al。从阴离子角度来看,井灌溉水相对富含SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,而自流灌溉水相对富含NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。其他阴阳离子的含量差别不大,尤其是星星哨水库水与井灌溉水的成分更接近。

由表 1 还可以看出,就吉林省不同类型灌溉水源而言,水体中的主要盐类为碳酸氢钠盐,其次为硫酸盐类和氯盐类,硝酸盐和氟盐居更次要的地位。

## 2.2 水质成分与土壤成分相关性

从本研究所采集的水样来看,延吉和梅河口两个水稻种植区的水样均为地表水,且水质成分差别不大,故讨论水质成分对土壤化学性质的影响无意义。九台市水稻种植区虽然有不同类型水源,但水质成分(井灌与自流)差别不大,讨论水质成分对土壤化学性质的影响也不具备前提条件。因此,只有白城市水稻种植区水源类型多,水质成分差异大,具有讨论水质成分与土壤化学性质关系的前提。由于水质中的主要成分是Ca,Mg和Na,故只讨论水质中Ca,Mg,Na和土壤中CaO,MgO和Na<sub>2</sub>O的关系(图 1)。

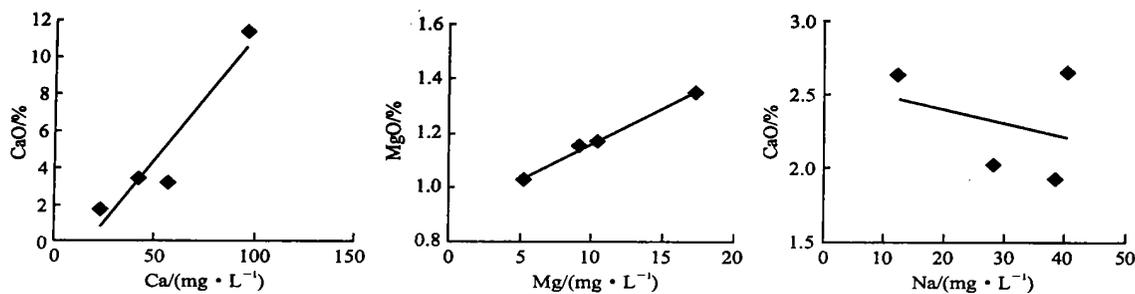


图 1 水质成分与土壤成分的关系

Fig 1 Correlation of component in irrigation water and component in soil

从图 1 中可以看出, 土壤中的 CaO, MgO 含量与灌溉水中的 Ca, Mg 含量表现出正的相关性, 而土壤中的 Na<sub>2</sub>O 与水质中的 Na 含量之间不具有明显的规律性。上述特征表明, 灌溉水中的含盐量对土壤中的 CaO, MgO 丰度具有明显的影响, 土壤中 CaO, MgO 的累积受灌溉水质的成分制约。

2.3 灌溉水的物化特征对水稻产量的影响

灌溉水质的物理和化学特征对作物的生长及产量具有一定的影响。当灌溉水质中某些成分含量超过一定限度时, 就会影响作物的生长和产量。据报道<sup>[7]</sup>, 当灌溉水钠吸附比大于 14, 矿化度大于 3 和 4 g/L 时, 大豆和小麦的生长和产量就会受到影响, 这进一步证明了灌溉水质对作物生长和产量有影响。

2.3.1 地表自流灌溉水水质成分与水稻产量的关系

分析各采样点地表自流灌溉水水质成分与水稻

产量间的关系(表 1)可以看出, 水质成分对水稻的产量影响不大。由于地表自流灌溉水的水温相差也不大, 所以, 制约地表自流灌溉区水稻产量的主导因素可能是土壤成分的差异或其他因素的影响<sup>[8]</sup>。

表 2(引自吉林省地下水调研课题组, 1988 年)列出了地表水中 Cu, Zn, pH 及各区水稻产量(均值)。从表 2 可以看出, 在地表水微量元素组成上, 位于梅河口的辉发河和位于九台市的饮马河流域水体中的 Zn, Cu 含量明显高于嫩江和洮儿河水, 作为水稻生长的必需营养微量元素可能对水稻的高产起一定作用。进一步分析表 2 还可以看出, 从延吉的海兰河—梅河口的辉发河—九台的饮马河至白城的洮儿河, 地表水的 pH 值有依次增高的特点, 而水稻产量依次降低, 这说明地表灌溉水中的 pH 与水稻产量具有一定的负相关性。

表 2 吉林省地表水中 Cu, Zn, pH 含量及水稻产量

Table 1 Content of Cu, Zn and pH in surface water and paddy yield in Jilin province

地区 District	河流 River	Cu/(mg · L <sup>-1</sup> )	Zn/(mg · L <sup>-1</sup> )	pH	水稻产量/(kg · hm <sup>-2</sup> ) Paddy yield
白城 Baicheng	嫩江 Nenjiang	2.0	1.88	7.36	6 750~ 7 650
	洮儿河 Taoer river	1.01	2.79	7.8	6 750~ 7 650
九台 Jiutai	饮马河 Yinma river	2.62	9.28	7.6	7 500~ 8 250
梅河口 Meihkou	辉发河 Huifa river	2.54	13.44	7.5	8 400~ 9 000
延吉 Yanji	海兰河 Hailan river	-	-	6.5~ 7.1	8 250~ 8 550

2.3.2 井灌水水质成分与水稻产量关系 井灌水与地表流水的最大区别是水温低, 这是井灌的最大不利因素, 也是影响井灌区水稻产量的最主要因素。根据本研究在 8 月初所测定的水温, 地表水与井灌水的水温相差 10~ 14。白城和九台井灌水的温度为 8~ 12, 而地表流水的水温则为 20~ 22。

井灌除水温低之外, 从前面分析中知井灌水水质组成与地表水之间也有一定的差异, 从白城稻田采样点井灌水水质成分与水稻产量间的关系(见表 1)来看, 水质成分中的 Ca, Mg, Na, K 含量与水稻产量呈负相关性。在阴离子中, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 等离子含量与水稻产量也呈负相关性。

上述研究只分析了白城市和九台市的采样点。

下面结合吉林省 4 个主要水稻种植区潜水的成分特点和 pH 值与各区水稻产量间关系, 分析浅层地下水水质中主要阴阳离子含量与水稻产量间的关系(表 3, 引自吉林省地下水调研课题组, 1988 年)。由表 3 可以看出, 从梅河口或延吉至九台到白城, 潜水中的 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup> 的含量依次增高, pH 值也表现出增高的特征, 而 Cl<sup>-</sup> 在白城市的潜水中最高。比较上述特征与 4 个地区水稻的平均产量(表 2)可以得出: 梅河口、九台和白城市井灌区水稻产量偏低或依次降低, 除土壤成分等其他因素外, 可能还与灌溉用水的成分有关, 较高的 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup> 含量及较高的 pH 值可能是影响水稻产量的又一因素, 这些离子

含量的高低与水稻产量呈负相关性,这一特征正好与前面井灌水水质相吻合,反映出矿化度的高低对水稻产量具有一定的影响作用。

表 3 吉林省潜水水质成分含量及 pH 值

Table 3 Content of water composition and pH of the phreatic water in Jilin province

地区 District	离子含量/(mg·L <sup>-1</sup> ) Content of main ions							pH
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
白城 Baicheng	60.28	29.49	68.58	494.38	10.44	0.93	20.89	7.43
九台 Jiutai	48.01	11.79	24.10	233.22	7.80	0.32	7.15	7.20
延吉 Yanji	30.94	7.81	13.12	140.92	6.55	0.22	11.56	6.73
梅河口 Meihokou	27.53	8.97	13.51	134.27	6.72	0.23	14.25	6.61

### 3 结 论

1) 就地表自流灌溉水而言,吉林省东南部(九台和梅河口)稻区地表水中的 F<sup>-</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 含量相对较高,中部(九台)稻区地表水中的 Mg, Ca, Na 含量相对偏低;就井灌水而言,吉林省西部(白城)稻区井灌水中 K, Mg, Na, Ca, Si 及阴离子(除 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)含量普遍偏高,而中部井灌水中 Fe, Mn, P 及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量相对偏高;井灌水与自流灌溉水相较而言,白城稻区井灌水矿化度和盐度明显高于自流灌溉水,而延吉稻区两种灌溉水水质相差不大。

2) 吉林省不同类型灌溉水源水质中的主要盐类

为碳酸氢钠盐,其次为硫酸盐类和氯盐类,硝酸盐和氟盐居更次要的地位。水质中 Ca, Mg 含量的高低直接影响到土壤中 CaO, MgO 的丰度。

3) 井灌区水稻低产的原因除水温低之外,井灌水的水质成分也是影响因素之一,水质成分中的 Ca, Mg, Na 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 等离子的高含量对水稻产量具有抑制性。

4) 灌溉水中微量营养元素(Cu, Zn)的高含量有利于水稻的高产。

5) 在吉林省范围内,灌溉水中 pH 值与水稻产量呈负相关性,地表自流灌溉和井灌水都具有这一特征。

### [参考文献]

- [1] 曹静明 吉林稻作[M]. 北京:中国农业出版社,1993
- [2] 胡芳林 水稻高产土壤营养诊断[J]. 耕作与栽培,1997,(3):41-44
- [3] 毛建华 碱性水和咸水灌溉对土壤的影响及其改造与利用的研究[J]. 土壤通报,1984,(1):20-24
- [4] 包梅芬,赵红挺 水分状况对水稻土某些性质的影响[J]. 土壤,1994,26(4):204-208
- [5] 赵红挺,包梅芬 水稻土发生层的吸附解吸特性及其与水分状况的关系[J]. 土壤,1995,27(4):173-177
- [6] 杨劲松 土壤盐渍化研究进展[J]. 土壤,1995,27(1):23-27
- [7] 肖振华 灌溉水质对土壤化学特征和作物生长的影响[J]. 土壤学报,1997,34(3):272-284
- [8] 尹秀英,许文良,冯君 吉林省稻田土壤营养元素与水稻产量的相互关系[J]. 长春科技大学学报,2001,31(1):74-77

## Chemical features of the irrigation water sources in paddy planting areas and its correlation with paddy yield in Jilin Province

SONG Jin-xi<sup>1,2</sup>, XU Wen-liang<sup>3</sup>, WANG Dong-yan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> School of Water Resources and Hydroelectric Power, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

<sup>2</sup> Department of Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

<sup>3</sup> College of Earth Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China

**Abstract:** Based on the comparative analysis of the water quality of irrigation, it is found that there is some regional diversity in the geochemistry features of the water resources in the main paddy planting districts in Jilin province. According to the analysis results of the correlation of the irrigation water quality with the paddy yield, it can be concluded that the content of pH in surface water is negatively related to paddy yield, but that of Cu, Zn are positively related to paddy yield. It further shows that the high content of Ca, Mg, Na, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and Cl<sup>-</sup> in groundwater restrain rice production.

**Key words:** Jilin province; paddy; irrigation water resource; water chemical features; paddy yield