

华北平原滨海地区排水种稻改良 盐渍土的初步研究

尤文瑞 · 洪慶文

(中国科学院土壤研究所)

种稻改良盐渍土,是我国农民在长期与土壤盐渍化作斗争中创造的宝贵经验,我国宁夏银川地区利用种稻改良利用盐渍土已有两千多年的历史,华北平原滨海地区也广泛的采用种稻改良盐渍土的方法,天津郊区白塘口葛沽地区距今三百多年前农民就在盐土上开渠引水种稻。解放后河北滨海栢各庄、板桥、中捷友谊、山东滨海的五一等新建农场,在开垦盐渍土时都采用开沟洗盐种稻的方法,一般在开垦第一、二年即可得到200—300斤/亩的产量,开垦种稻较长的地区,例如芦台、小站、军粮城等地一般年份平均产量可达500—700斤/亩,因此,在华北平原滨海地区,种稻改良利用盐渍土,在增加粮食产量上起着极为重要的作用。为了科学的总结种稻改良盐渍土的宝贵经验,从1960年开始,中国科学院土壤研究所与河北省水利厅合作,在河北滨海的芦台农场及军粮城进行定点调查研究,并在滨海的栢各庄、黄骅、小站等地区进行了面上的调查;今以所获得的资料为基础,结合过去河北及山东滨海其他各地区的研究成果,首先对华北滨海地区种稻改良盐渍土的水盐动态及水旱轮作中土壤及地下水盐分动态等问题,提出如下初步报告。

一、华北平原滨海盐渍土地区的自然概况及 土壤改良条件

华北平原滨海盐渍土区,东北起自河北昌黎沿海,与燕山南麓冲积扇形地接壤,北起河北省宁河县芦台镇附近,天津市北部及唐山市以南与泛滥平原及泻湖型洼地相接,西至津浦铁路东侧,与南运河略平行,至滄县以东折向东南,过庆云、无棣、霑化截黄河止于现今黄河三角洲的南侧,全区面积约2万平方公里。本区年平均温度在11—14℃之间,最高月平均气温(7月份)25—27℃,最低月平均温为-3—-5℃,无霜期170—200天。年降雨量500—600毫米,多集中在7、8、9月份,约占全年的60%以上。年蒸发量一般在1,800—2,000毫米,为降雨量的3—4倍。在自然状态下的土

壤剖面中,盐分以累积过程为主,但在雨季亦发生短期向下淋溶的现象。

本区主要由黄河、海河、滦河三角洲所组成。地形平坦,向海湾微有倾斜,地面坡度在0.5/10,000—6/10,000,地面高程2—8米。由于河流密布,排水不畅,地下水来源多,又受海潮影响,因而地下水位高,平均埋藏深度为1.0—2.0米。其中以泻湖型滨海洼地地下水位最浅,约在1.0—1.5米,地下径流坡降小,潜流缓慢,有些地区几乎处于停滞状态。本区土壤及地下水中盐分主要来源于海水,盐分含量均较高,盐分组成以氯化物为主。土壤含盐量,依脱离海潮影响的久暂、离海远近及人为活动等因素的影响而有很大差异,近海重盐土地区1米土体平均含盐量最高可达2—3%,一般地区均在0.4—1%以上,已垦农田约在0.1—0.4%。在近海小型洼地,受海水影响,径流停滞,由于长期蒸发浓缩,地下水矿化度可达50/150克/升,离海较远不受海潮影响地区,受天然降雨的影响,矿化度在10—50克/升,河流密布有充足淡水补给地区在2—10克/升,常期种稻或经灌溉洗盐地区约在1—2克/升。本区土壤母质主要为河流冲积物,由于多次不同河流及水流的交互沉积,土壤剖面质地排列复杂,常为砂粘间层,各种质地土层厚度及结构有很大差异,对土壤的水盐动态有很大影响。

综上所述,华北平原滨海盐渍土区的特点是:地形平坦,地表及地下径流不畅,排水困难,地下水位高,土壤及地下水含盐量大,因而土壤不易脱盐,高矿化水不易淡化。由于土壤母质为河流冲积物,多砂粘间层,使土壤水盐动态复杂,亦使排水沟道易于滑塌,增加了土壤改良上的困难。因此,如何适应本区特点,找出切实可行的土壤改良措施,是土壤科学研究上的一个重要课题。

二、稻田的水盐动态

1. 种稻过程土壤剖面中盐分动态 水稻生育期

中,田面經常保持不同厚度水层的特点,是使盐渍土在种稻过程中可溶性盐分含量减小的主要原因之一。华北平原滨海地区,水稻总淡水量为1,000—1,500公方/亩,最高者可达2,000公方/亩,一般稻田滲漏量約占总淡水量的60—70%。由于大量滲水淋洗土壤中盐分,使土壤逐渐脱盐。另外,由于稻田保水期淡水层复盖田面,使深层土壤及地下水中盐分不会向上累积,因此虽然处于不同水文地质及人工排水条件下含盐量不同的盐渍土,在种稻前采用不同的水量进行冲洗,使30厘米以上土体中含盐量降低至0.2—0.3%以下,則在一年的种稻过程中均能使50厘米以上土体中平均含盐量逐渐淋洗至0.2—0.3%以下(表1),从而保証水稻的正常生长。土壤中含盐情况依种稻年限不同发生变化,在自然条件相同时,土壤含盐量随种稻年限的

表1 华北滨海各地新垦稻田土壤含盐量变化*

地 点	栢各庄农場		芦台农場		軍粮城灌区		团泊洼农場	
	种稻前	种稻后	种稻前	种稻后	种稻前	种稻后	种稻前	种稻后
0—10	1.20	0.09	0.87	0.19	3.85	0.19	0.53	0.20
10—20	1.36	0.16	0.47	0.19	1.42	0.20	0.30	0.20
20—50	1.36	0.37	0.46	0.24	1.70	0.31	0.58	0.18
50—100	1.51	—	0.49	0.25	2.52	0.76	0.58	0.21

* 含盐量为烘干残渣%。

增加而减小,脱盐深度随种稻年限的增加而增加(如表2,图1)。在一定水文地质及人工排水条件下,新垦稻田,1—3年中脱盐率最高,当土壤脱盐达一定程度,連續种稻,則土壤盐分不再有明显的变化,例如軍粮城地

表2 軍粮城灌区不同年限种稻后土壤及地下水含盐情况*

土壤深度 (厘米)	土壤含盐(烘干残渣%)					
	荒地	种稻1年	种稻3年	种稻7年	种稻19年	种稻40年
0—5	5.93	0.30	0.33	0.24	0.07	0.10
5—10	1.73	0.43	0.50	0.24	0.59	0.17
10—20	1.42	0.63	0.14	0.19	0.26	0.27
20—50	1.70	0.22	0.16	0.15	0.12	0.15
50—100	2.52	0.31	0.14	0.33	0.14	0.19
100—150	2.88	0.49	0.20	0.57	0.25	0.21
150—200	2.81	1.31	0.39	0.90	0.49	0.33
200—250	2.30	1.36	0.71	1.33	0.63	
250—300	2.25	1.09	0.90	1.33	0.83	
地下水埋藏深度 (厘米)	110	100	160	100	50	72
地下水矿化度 (克/升)	65.59	9.35	10.41	12.52	2.72	3.01

* 土样采集时间为5月中旬种稻前,故表土都有一定程度的返盐。

区,种稻19年与40年的土壤含盐量比较,无明显差异(表2),芦台农場土壤含盐量在0.2%左右的老稻田,种稻过程中土壤含盐量的变化也不大(图2)。

在种稻过程中,水文地质及人工排水条件,对矿化地下水的排出及地下水淡水层的建立有很大的影响,从而也影响稻田底土的脱盐。芦台农場地处运河边,地下径流較暢,一般經种稻1—3年,1.5—2米以上土体可脱盐至0.2%以下。軍粮城灌区,地势低洼,天然河道(袁家河)水位很高,不能排除地下水,因而潛流停滞,經种7年的稻田,1米深处土壤含盐量仍在0.3%

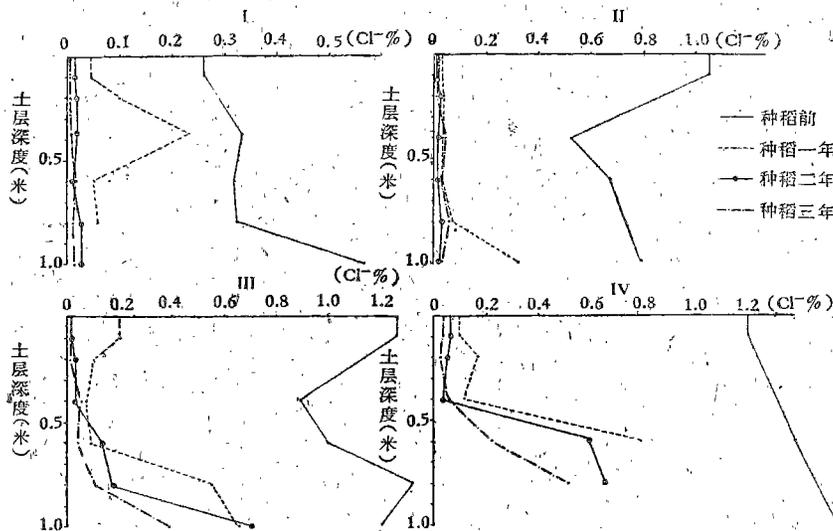


图1 不同盐渍土种稻过程中土壤含盐量变化
I. 沼澤化盐土, II. 浅色草甸輕盐土, III. 浅色草甸中盐土, IV. 重盐土。

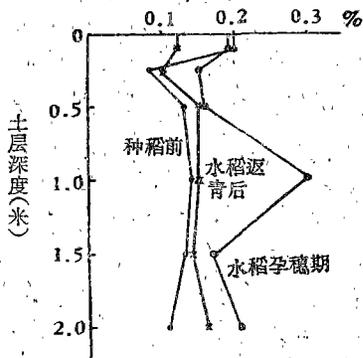


图2 芦台老稻田种稻过程中土壤含盐量变化

以上。稻田排水毛沟的布置，可影响稻田上层土体的脱盐，而底土脱盐状况，则决定于地区田间末级排水沟及主干排水沟的布置及排水情况。在滨海地区当前的排水条件下，稻田地下水位一般在水稻收割后到次年种稻前很难降低到临界深度以下，因而，土壤发生不同程度的盐分累积，其累积程度的大小，依地下水位及地下水淡水层形成情况不同而有很大差异。在种稻过程中，如已建立了足够厚度的淡水层，则土壤积盐速度极缓，反之如未形成一定厚度淡水层，则高矿化水中盐分随毛管向上蒸发迅速，并向上层土体累积(图3)。

随土壤含盐量的减少，其盐分的化学组成发生显著变化。本区盐渍土，当含盐量超过0.2%时，一般盐分化学组成中阴离子以 Cl^- 为主，阳离子以 $Na^+ + K^+$

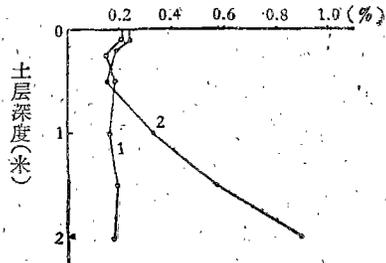


图3 不同水文地质条件下稻田土壤脱盐情况
1. 芦台农场四分场种稻1年
2. 军粮城灌区丁号村种稻7年

为主。在种稻过程中随土壤的脱盐， Cl^- 及 $Na^+ + K^+$ 减小最快， SO_4^{2-} 、 Mg^{++} 示显著减少，而 HCO_3^- 与 Ca^{++} 变化较小(图4)。当土壤含盐量小于0.2—0.4%时， HCO_3^- 含量可超过 Cl^- 及 SO_4^{2-} 的含量。关于 HCO_3^- 含量在脱盐过程中的增减现象，尚待进一步研究。

2. 种稻过程中地下水淡水层的形成

种稻过程中，大量的下渗淡水除对土壤产生淋盐作用外，还补给地下水，并影响稻田本身及稻田周围地区地下水盐动态。初垦盐土含盐量高，下渗淡水通过土壤溶解了土壤中的盐分而变成矿化度较高的水补给地下水，随着土壤脱盐，下渗水中溶解盐分亦逐渐减少，因而，下渗淡水于原来的高矿化水上形成淡水层，下渗淡水抬高了稻田的地下水位，形成稻田区地下水高水头，在水头压力作用下，压挤原高矿化水，使淡水层的厚度逐渐增加。芦台农场，用干5支渠控制地段，种稻前地下水埋藏深度85厘米，地下水2克/升的等矿化度最大深度在1.7米深处，而当稻田保水期，田面水矿化度为0.98克/升，排水沟中水位保持与田面有50厘米水头差，排水沟水矿化度为1.47克/升。地下水2克/升等矿化度仅下降至1.9米，地下水淡水层厚度增加20—70厘米(图5)。

华北平原滨海盐渍土地区，地下水矿化度高，埋藏深度浅，因受地形及水文地质条件限制，排水困难，地下水位很难降低至临界深度以下，土壤虽经冲洗或雨水的淋洗使上层土体脱盐，但在旱季，高矿化地下水中盐分仍会迅速向上累积，使土壤不能处于稳定的脱盐状态，而地下水淡水层的形成，则使原高矿化水与上层土壤隔绝，能大大减少地下水中盐分向上累积，因此，种稻过程中淡水层的形成是其能够改良盐渍土的主要因素之一。根据观测资料分析，影响种稻过程中地下水淡水层形成的主要

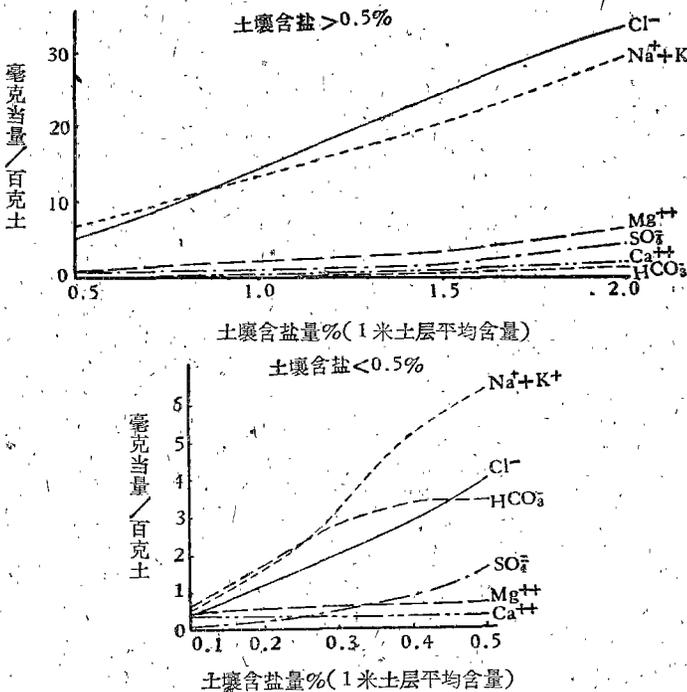


图4 种稻过程中土壤含盐与离子组成关系

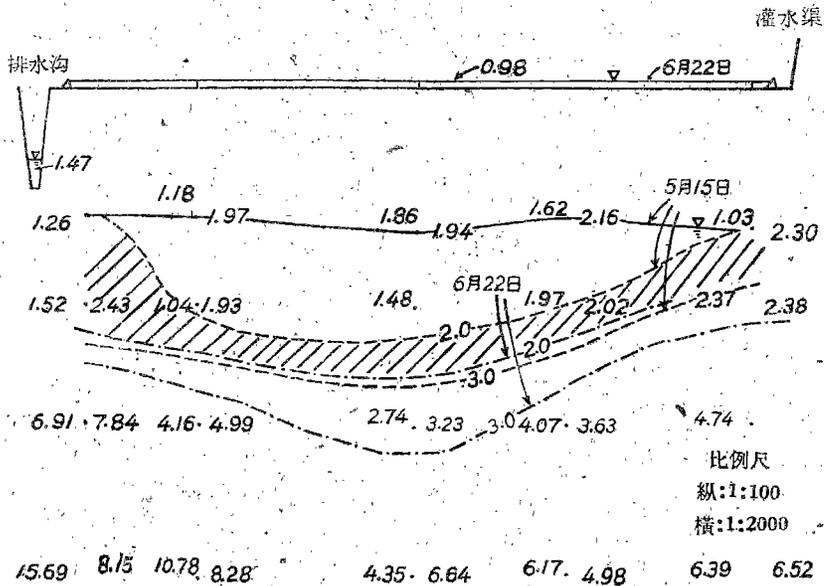


图5 芦台农场9用干5支渠地下水断面,地下水矿化度(克/升)5月15日返盐前,6月22日保水后(水稻返青期)图中各点数字为该处地下水矿化度(克/升),其他各图同。

因素是:(1)土壤及地下水的原始含盐状况;(2)种稻年限;(3)水文地质条件;(4)人工排水条件。

下渗淡水补给地下水,是地下水淡水层形成的首要条件。从山东打渔张冲洗过程中土壤含盐量与冲洗水的脱盐系数的关系可以看出(图6),当土壤含盐量为0.6%时,下渗水矿化度为14克/升,含盐量为0.3%;

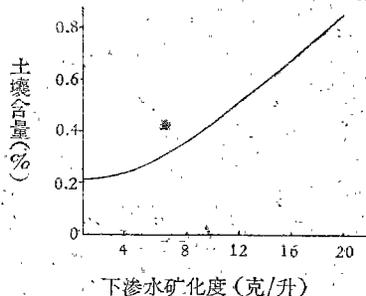


图6 土壤含盐量与冲洗下渗的矿化度关系(排沟间距150—200米)

则下渗水矿化度为6克/升。芦台农场原始含盐量在0.3%左右的土壤,种稻开始即有淡水下渗。因此土壤原始含盐量越小,地下水淡水层的形成也越快。在同一土壤上种稻年限愈长,土壤脱盐程度越高,淡水补给越多,所形成淡水层的厚度越大(图7)。

形成淡水层的第二个条件是必须使一定数量的高矿化度地下水压挤到稻田范围以外,并由排水沟中排出,原始地下水矿化度越高,则越难排出,因而淡水层的形成也越困难。天津郊区小站附近,原始地下水矿化度在20克/升以上,排水条件又差,经过88年种稻的老

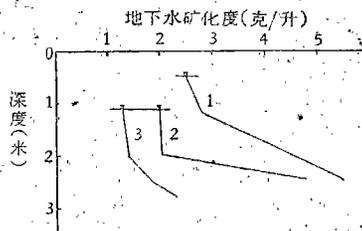


图7 相同水文地质及人工排水条件下不同种稻年限潜水层的比较

1. 芦台董庄子 连种10年稻田
2. 芦台薄庄 连种30年稻田
3. 芦台薄庄 连种60年稻田

稻田表层地下水矿化度仍在14克/升。高矿化度地下水的排出与水文地质条件有关,在径流较为通畅,地下水矿化度在5—10克/升的氯化物中矿化水域中(例如芦台农场),经过种稻10年左右的稻田,已建立矿化度小于3克/升的淡水层厚度在1.5米以上,而在径流滞缓或停滞,地下水矿化度10克/升以上的氯化物高矿化水域中(例如小站,军粮城等地区),经种稻10年以上,稻田小于3克/升的淡水层仍未形成。人工排水条件是滨海地区地下水淡水层形成的最重要的因素,当设置有一定深度的田间排水系统,在稻田保水期中,能保持田间地下水面与排水沟中水位有一定水位差,则原高矿化地下水能从排水沟中排出,淡水层形成较快,反之,如无田间排水系统,或虽有排水系统,但在稻田保水期中不能保证排水,则淡水层的形成速度极为缓慢。

例如芦台农场二干用6支渠东条,水稻保水期中,田间末级排水沟中水位一般低于田面10—50厘米,排干中水位低于田面1米以上,经种稻3年,已形成厚度为1.5米、矿化度小于3克/升的地下水淡水层。又如板

桥农场,在稻田保水期中,排水沟水位几乎与田面水相平,不能起排除高矿化地下水的作用,在种稻过程中各层地下水矿化度无大变化(图8)。

3. 加速地下水淡水层形成的稻田渠系布置

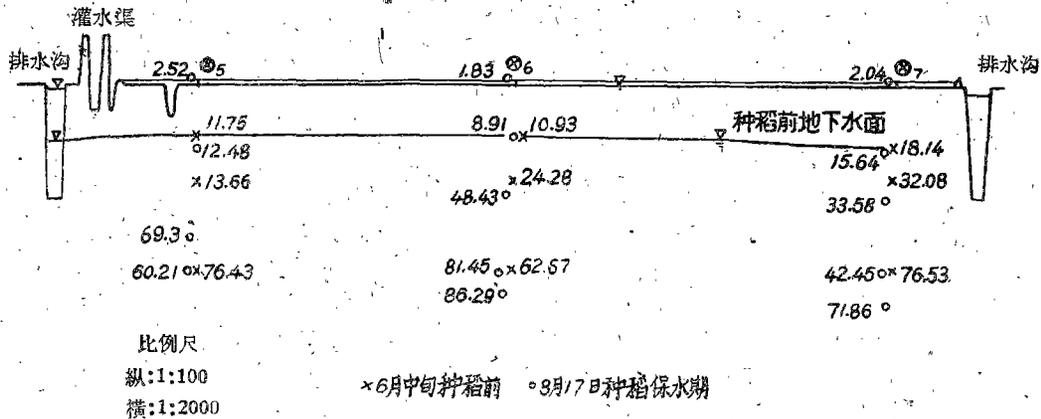


图8 板桥农场四干北二支种稻前及稻田保水期地下水矿化度变化

土壤中盐分含量减少至不危害作物正常生长的程度是盐渍土改良的首要任务,不论在任何水文地质条件下和不同类型的盐渍土上,只要能挖设深度0.5—1.0米间距10—50米的排水毛沟,保证冲洗及种稻过程中溶解了土壤盐分的下渗水的排出,则可使稻田50厘米以上土体脱盐至0.2—0.3%以下,保证水稻的正常生长。但在滨海地区,如上所述,浅排水沟只能使种稻过程中上层土体脱盐而不能稳定脱盐,更不能使底层土脱盐及建立一定厚度的地下水淡水层,因而必需设置能保证地下水淡水层形成的灌排渠系。对稻田地下水盐动态起直接调节作用的是田间末级灌排渠系,从有利于地下水淡水层的建立考虑,末级固定渠系适于采用灌排相间的布置形式,(图9)这种布置,可使淡水渠渗出淡水补给地下水,并在淡水渠附近形成地下水峯,在水头压力作用下可压排原高矿化水,使其向两侧排水沟中排出,因此加速了淡水层的形成。若采用灌排并列布置时(图9),灌水渠渗出淡水大部分排入邻近排水沟中,使排水沟中水位增高,对排水沟所控制地段中高矿化水起阻隔作用,另一方面,渠道渗水补给地下水位,促使高矿化水位升高,并形成淡水墙,使高矿化水不能向另一侧排水沟中排出,因而在稻田中间出现高矿化水峯阻碍淡水层的形成。末级固定渠系规格的确,在滨海盐渍土地区应首先考虑满足土壤改良的要求,稻田末级固定排水沟的深度及间距大小,从控制水盐动态考虑,应满足(1)利于地下水淡水层的形成;(2)水稻收割前及时排水,降低地下水位,满足机械收割的要求;(3)水旱轮作时控制地下水位,满足旱田排水定额的要求。

如前所述,稻田下渗水量越大,田面水与排水沟中水位高差越大,越能较快的形成厚度大的淡水层。浅而密的排水沟,只可增加稻田田面淡水的排出,不能形成较大的水头差,因而不利于地下水淡水层的形成。故从有利于淡水层的建立考虑,应布置深而稀的排水沟,但这种排水沟常常不能满足上述第(1)(2)两项的要求,因此建议采用深浅沟相结合的布置形式。在稻田保水期中,浅沟只需根据稻田灌溉的要求排水或蓄水,不需排空,以减少淡水的排出,而深沟中水位则使其与田间水位保持一定高差,以排除深层高矿化水,满足淡水层的建立。在水稻成熟期,为了及时降低地下水位,深浅沟同时排水。在旱作期,深浅沟同时排水,以控制地下水位,保证旱作物正常生长(图10)。

芦台农场末级固定渠系,一般采用灌排相间布置,排沟间距为200米,长1,400米,深度一般为0.7—1.0米,稻田保水期末级排水沟中水位与田面水高差只在10—50厘米,而排干中水位一般低于田面1米以上,排水矿化度可达2克/升以上,经过种稻3—10年的地区,都已建立了小于3克/升的地下水淡水层,厚度在1—1.5米。由此可见,除田间末级排水沟外,干排亦起到直接排除高矿化地下水的作用,如能将部分末级排水沟加深,形成如上所述深浅沟结合的布置,则必能增加高矿化水的排出,从而增加淡水层的厚度。在华北平原滨海地区,建议浅排沟的深度在70—150厘米,深排沟为150—250厘米,浅排间距在200—400米,深排间距为浅排间距的3倍,即600—1,200米,但具体采用时,应根据当地土壤及水文地质条件经过试验确定。

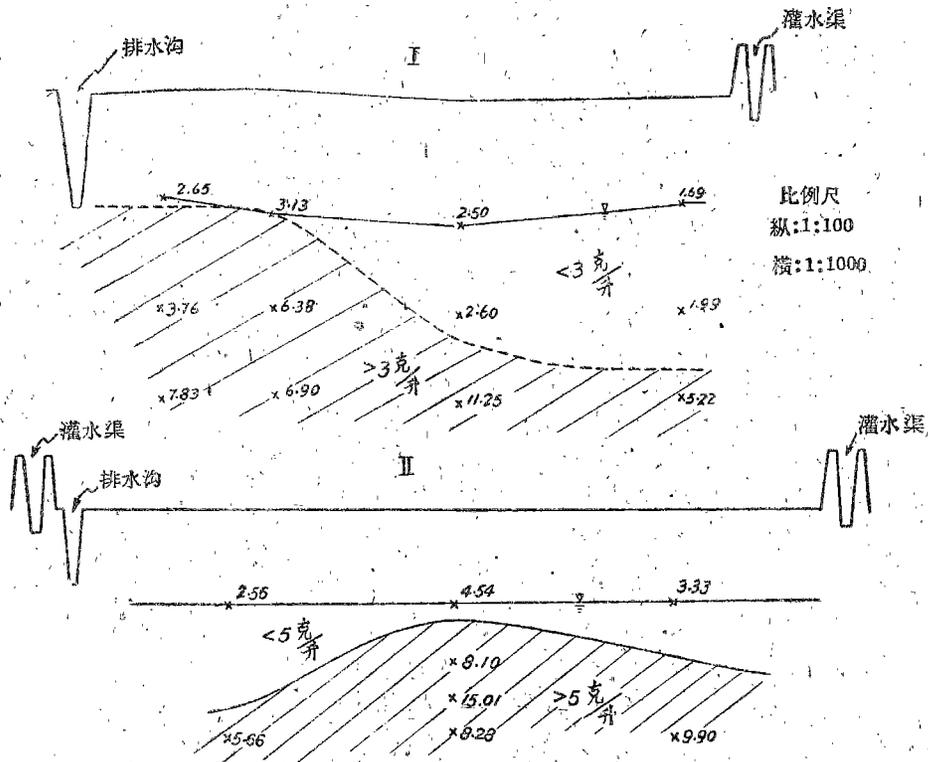


图9 芦台农场灌排并列与灌排相间布置,地下水矿化度比较

I. 2用于10支灌排相间布置

II. 8用于13支灌排并列布置

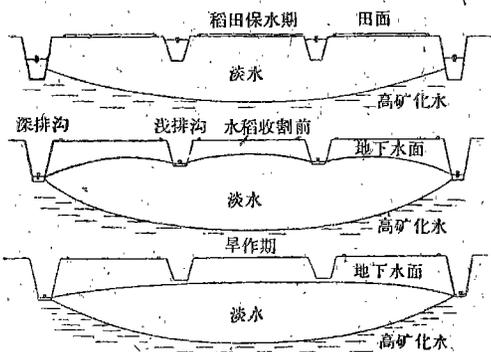


图10 末级固定排水沟的规格及其水位控制示意图

稻作区的渠系布置,还应根据地区的作物配置情况确定。长年稻作区水稻收割后到第二年种稻前,是地下水淡水层的消耗时期,因而地下水淡水层的厚度只要求稍大于这一时期因地下水蒸发作用而消耗的地下水厚度。故田间末级固定排水沟可全部采用浅沟,主要用以控制田间水层及满足水稻收割时期对降低地下水位的要求,而深层高矿化水可依靠排水支沟(或干沟)排除。水旱轮作地区,则应按上述要求进行布置,而在

种植水稻、待土壤脱盐后计划改为常年旱作的地区,要求建立较大厚度的淡水层,因而深沟的深度应采用较大数值。

三、稻田周围土壤及地下水的水盐动态

实践证明,稻田在配置不当、排水不良的情况下,对其周围的旱田往往会产生不良影响,使旱田的地下水位抬高,盐渍化加重,因而为害旱作物,使之发生不同程度的减产。所以,摸清稻田周围土壤及地下水的水盐变化规律,从而找出合理措施,防止稻田对周围旱田的不良影响,是非常重要的。

我们几年来的研究表明,滨海盐渍土地区种植水稻之后,排水条件(包括自然排水和人工排水)和土壤渗透性能是影响稻田周围水盐动态的主要因素。现在先谈谈在沒有良好排水条件下稻田周围的水盐动态。

当稻田灌水后,稻田水面与其周围旱地地下水位之间便存在着明显的水头差,形成了一定的水面坡降,于是,产生了水头压力和由稻田流向周围旱地的地下径流。因此,不可避免地抬高了旱地的地下水位。

根据我们在天津军粮城观测的结果表明,即使稻田与旱地之间有排水距离,但由于排水沟的深度不够

(深約 50 厘米), 沒有經常排水, 排水沟中的水位和稻田水面的高差很小(常小于 10 厘米); 因此, 稻田灌水后, 不但稻田水面和排水沟水面与其周围旱地地下水水面之間形成了明显水头差, 就是旱地本身也形成了地下水面的坡降。越靠近稻田, 地下水位越高(表 3)。

表 3 稻田、排水溝及其周圍旱地地下水位高程变化* (米)

日期	与稻田距离 (米)						
	稻田	排水沟	20	40	60	80	180
1月中旬(灌水前)	1.88	—	2.02	1.84	1.82	1.48	1.49
2月中旬(灌水后)	2.39	2.31	2.18	2.13	2.08	1.65	1.61
地面高程	2.33	1.84	2.42	2.39	2.37	2.38	2.39

* 水位高程为相对高程。

从表 3 可以看出, 灌水前, 稻田地下水位与其周围旱地地下水位高差不大, 灌水后, 距稻田 20 米以内地下水水面坡降增至 13/1,000, 排水沟中水位几乎与稻田水面水位相同, 并未起到截获地下水径流的作用, 因此大量地下径流向周围旱地, 使旱地地下水位不断上升, 随稻田下渗水的不断补给地下水, 稻田流向旱地的地下径流一直继续, 旱地地下水位不断抬高, 影响范围逐渐扩大。

稻田流向旱地的地下径流和旱地地下水位的抬高, 也必然会影响地下水的矿化度的变化。矿化度的增减与稻田侧渗水的矿化度以及土壤含盐状况关系很大。根据我们已有的资料, 在华北滨海地区, 特别是种

稻年限较长的稻田, 灌水后其周围旱地的地下水表层一般发生淡化。矿化度的增加不是发生在距稻田最近之处, 而是在与稻田有一定距离的地方。我们在军粮城的观测表明, 距稻田 60 米以内的地下水表层发生淡化, 60 米以外则发生浓缩, 矿化度增加(表 4)。

从表中可以看出稻田周围旱地不同深度的地下水矿化度变化的趋势是: 距稻田 20 米处, 距地面 2 米以上的地下水发生淡化, 2 米以下矿化度增加; 距稻田 20—60 米处, 1.5 米以上的地下水发生淡化(少数例外), 1.5 米以下矿化度增加; 距稻田 80 米以外, 矿化度都增加。根据表 4 的资料所绘断面图(图 11), 可以把这种变化规律更明显地表示出来。从图中三条等矿化度的变化可以看出, 灌水后和灌水前比较, 稻田内各层地下水发生明显的淡化, 在距稻田 60 米以内, 表层(2—1.5 米以上)地下水发生淡化, 10 克/升的等矿化线比灌水前降低, 深层地下水矿化度都增加, 图中 20 克/升和 30 克/升的等矿化线均升高。距稻田 80 米以外, 各层地下水矿化度都增加, 三条等矿化线都有不同程度的上升。稻田周围旱地地下水的这种变化规律也说明了由稻田流向旱地的地下径流的存在。由于稻田下渗水为淡水, 流向四周的地下径流也较淡, 所以, 离稻田越近径流越强, 地下水淡化的厚度就越大; 距稻田越远, 地下径流作用越弱, 淡化的厚度也越小, 至稻田径流所及不到的地方(80 米以外), 地下水就发生浓缩, 矿化度普遍增加。至于深层(埋藏深度在 2 米以

表 4 稻田周围旱地地下水矿化度(克/升)*

与稻田距离 (米)	20		40		60		80		180	
	采样日期		5月中旬	6月中旬	5月中旬	6月中旬	5月中旬	6月中旬	5月中旬	6月中旬
	5月中旬(灌水前)	6月中旬(灌水后)	5月中旬	6月中旬	5月中旬	6月中旬	5月中旬	6月中旬	5月中旬	6月中旬
1米以上	2.30	2.03	3.39	2.87	4.94	4.63	4.22	5.57	3.12	3.51
1.50	16.27	9.57	7.34	8.90	13.26	6.93	6.06	5.30	12.93	17.77
2.00	21.98	17.31	18.88	21.91	21.52	26.24	15.17	17.44	24.75	13.78
2.50	34.92	44.11	34.60	36.71	26.83	34.03	24.74	30.30	34.53	39.25
3.50	38.10	46.03	36.90	43.38	29.90	35.25	28.83	35.38	36.61	43.84

* 5月中旬地下水矿化度按阴阳离子总量折算而成, 6月中旬的矿化度为烘干残渣。

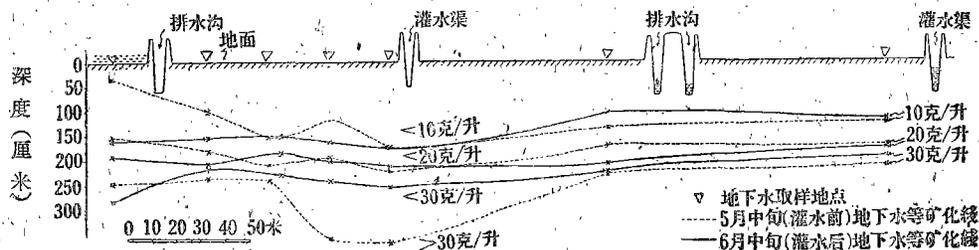


图 11 稻田周围旱地不同深度地下水矿化度变化

下) 地下水矿化度普遍增加的原因, 有待进一步的研究。

由于滨海地区地下水矿化度高, 所以尽管地下水有些淡化, 地下水位的抬高仍然加重了土壤的盐渍化。根据我们在军粮城的观测, 稻田灌水后不足一个月, 土壤盐分就有明显增加(表5)。

表5 稻田周围旱地土壤盐分变化(烘干残渣%)

日期	土壤深度 与稻田距离 (米)	20厘米平均含盐					100厘米平均含盐				
		20	40	60	80	180	20	40	60	80	180
5月中旬(灌水前)		0.233	0.493	0.455	0.348	0.240	0.212	0.268	0.299	0.215	0.179
6月中旬(灌水后)		0.681	0.503	0.519	0.433	0.299	0.337	0.320	0.375	0.277	0.239

15.7%。

我们在军粮城高粱地的观测表明, 由于地下水位抬高, 盐渍化加重, 因而严重地危害旱作物, 使之不能正常生长, 甚至死亡。离稻田越近, 危害越大(表6)。

表6 稻田周围旱作物(高粱)死亡率

与稻田距离(米)	20	40	60	80	180
植株死亡率(%)	70.9	51.8	56.8	0	0

综上所述, 可以看出, 稻田对其周围旱地影响的方式有二: 一是沼泽化, 二是盐渍化。离稻田越近, 受两种方式同时影响越大。稻田落干后, 沼泽化作用逐渐减弱, 甚至消失, 而土壤中增加的盐分却仍然保存, 甚

至可能由于地下水位下降得慢, 盐分累积仍然继续进行。两种影响方式的起因是一个, 即稻田的水头压力和水分的侧渗作用。各地资料表明, 这种作用的影响范围多在50—200米之间。影响范围的大小、程度的强弱, 主要决定于排水条件和土壤渗透性能。我们目前所最能控制的是排水条件。

在有较完善的排水条件下, 不但能加速稻田的脱盐效果, 而且, 稻田的地下径流能够部分地或大部分地被低水位的排水沟截获排走, 从而减少对旱地的影响范围和程度。我们在芦台农场观测的结果表明, 在稻田与旱田之间有一条大路二条排水沟隔离的条件下, 对旱田的影响大大减小(表7)。

表7 有较好排水系统条件下稻田周围水盐动态

观测项目	与稻田距离 (米)	稻田排水沟	旱田排水沟	10	35	85	135	185
		地面高程	3.00	2.35	3.29	3.29	3.22	3.26
水位高程	5月18日 (灌水前)	2.86	2.55	2.19	2.09	2.27	2.26	2.17
	5月23日 (灌水后)	3.32	2.87	2.59	2.39	2.32	2.31	2.27
矿化度 (克/升)	5月18日			4.40	5.17	5.76	3.94	3.06
	6月23日			3.37	5.20	7.624	3.996	2.812
30厘米土层 含盐量(%)	5月18日			0.14	0.092	0.136	0.14	0.147
	6月20日			0.102	0.12	0.096	0.124	0.094

根据表7中水位高程的变化可以看出, 由于芦台农场的排水沟较深(约1米), 排水较畅, 稻田灌水后, 近稻田排水沟的水位虽有明显的升高, 但靠旱田排水沟的水位却升高不大, 经常比稻田排水沟水位低50厘

米左右, 因而大大减小了地下水面的坡降, 削弱了地下水侧流的强度。因此, 周围旱地地下水位虽有所提高, 但影响范围不大, 在距稻田85米处, 地下水位几乎没有变化。从土壤含盐变化可以看出, 到6月下旬,

土壤中仍然沒有明显的盐分累积过程发生。但必須指出,由于旱地排水沟水面仍高于旱地地下水面,影响仍然存在,因而必須注意研究由稻田流向旱地的地下径流的矿化度变化,如果它比旱地的地下水矿化度小,对旱地盐渍化的威胁就小,如果比旱地地下水矿化度大,那么,就可能增加旱田的盐分累积。

根据山东省水利科学研究所的試驗結果表明,稻田的影响范围和排水沟的深度以及土壤質地的关系是很密切的。粘土的比砂壤的影响范围小,深排水沟也比浅排水沟影响范围小(表8)。

表8 稻田影响范围与土壤质地和排水沟深度的关系

影响情况	砂土壤		中間夹粘土	
	无沟	有农排,深2米	有农排,深1.5米	有农排,深1.5米
水位影响距离(米)	200	100	200	—
引起返盐距离(米)	150	50	200	150

从理論上說,防止稻田对周围旱田的不良影响的根本办法是消除由稻田流向旱地的地下径流,主要手段是建立完整的排水系統,使稻田与旱地之間的排水沟水位与旱地原来的地下水位相平。这样,稻田的地下径流就会完全被排水沟截获排走,对旱地的影响也就因此消失。但在实际上,要完全做到这一点,無論从人力、物力和排水出路等考虑都很困难。同时,也必須考虑到,如果要做到并保持排水沟水位与旱地地下水位相平,排水沟就要有足够的深度和經常排出稻田的側渗水,这样必然会大大增加稻田的渗透量,因而也增加了用水量,特别是砂質土壤更是如此,所以防止稻田对旱田发生不良影响的正确做法,首先应该从合理配置稻田入手,并在这基础上建立合理的排灌系統。显然,如果稻田地势較低,将使旱地地下水位和稻田田面水的高差减小,如果稻田不是小块分散而是集中配置,稻田与旱田的交界綫也大大减少,如果稻田是配置于灌区下部,对灌区地下水位的影响也会大大削弱。所有这些,都将有效地减少稻田的影响范围,再加上有良好的排水系統,稻田与旱地之間有排水沟、道路、林带等相隔,将使稻田的不良影响减少至最小限度。

四、水旱輪作中土壤及地下水的水盐动态

在滨海地区,由于排水困难,土壤和地下水含盐量很高,土质粘重,脱盐不易,所以,通过种植水稻,使土壤脱盐,为旱作物打下良好的基础,然后轉入一定年限的旱作或水旱輪作已被証明是非常有效的措施。

实践証明,实行水旱輪作后,不但对于調配劳动力

和肥料、消灭杂草和病虫害以及节约用水等方面起着良好的作用,同时还能提高土壤肥力。在水源不足的地方,水旱輪作尤为重要。因此,了解水旱輪作过程中土壤及地下水的水盐动态,从而因地制宜地掌握轉入旱作的水盐条件,确定能够連續旱作的年限和延长旱作年限的措施等是很必要的。

开垦盐荒地时,需要种植多少年水稻才能轉入旱作,主要决定于各地土壤的盐渍状况和水文地质条件,即直接决定于土壤脱盐和地下水淡水层建立的速度和厚度。淡水层建立的速度越快,需要种植的时间越少。能够轉入旱作的水盐指标是可以变动的。种稻期間所建立起来的淡水层是否足够供旱作期間消耗,不同土壤差异很大,所以,需要种植水稻的年限常因地而异。根据各地資料,滄县水月寺灌区种稻1年即可轉入旱作,团泊洼农場一般种稻2—3年可轉入旱作,芦台农場一般种稻2—3年可使1米土体平均含盐量降低至0.2—0.3%以下,并形成50—100厘米厚小于3克/升的地下水淡水层,即可轉入旱作。軍粮城某些地势較高、排水条件較好的地区需經种稻3—5年才能轉入旱作,而地势低洼地区在当前排水条件下則很难实行水旱輪作。

在滨海地区的自然条件和目前的农业技术条件下,一般說来,由稻田轉入旱作后,盐分是逐渐积累的,种稻时所建立起来的淡水层也逐渐消耗和浓缩。我們在軍粮城的观测表明,即使在該区地形較高自然排水較好,又有浅排水沟,土质粘重的高梁地,盐分仍有明显的累积(表9)。

表9 軍粮城旱作期間水盐变化

观测项目	日期			
	5月中旬	6月中旬	8月下旬	10月下旬
地下水埋藏深度(米)	1.50	1.50	0.40	0.65
地下水矿化度(克/升)	6.95	11.08	3.27	5.00
20厘米土层含盐%	0.128	0.225	0.08	0.130
100厘米土层含盐%	0.203	0.180	0.152	0.169

从表9可以看出,旱作期間,春季土壤返盐和地下水矿化度增加是很明显的。此后,在雨季期間虽然发生脱盐过程,但雨季过后,盐分又行累积。至10月中旬含盐量又增加至与春季相近的水平。如果考虑到由10月下旬至次年春季仍是盐分累积,显然,至第二年的春季其含盐量必然超过第一年春季。

由此可见,在旱作期間,必須遵循的主要原则之一是力求做到所消耗的地下水淡水层小于种稻期間所建立起来的。土壤盐分的累积也必須小于种稻期間所排出的。影响土壤盐分累积和淡水层消耗速度的主要因素

是排水条件、农业技术和土壤性能。

排水措施是控制地下水位，防止盐分上升累积的主要关键。根据芦台、黄滩等地的调查，当地下水矿化度小于2克/升时，粘质土壤保持地下水位在1.2—1.3米以下，可以保证在春秋两季表土盐分不致累积至

0.2—0.3%以上。在芦台农场的调查结果表明，在连续旱作后，盐分的累积有随旱作年限而增加的趋势。在排水不良地区，盐分的累积比排水良好的地区要求得强烈（表10）。

从表10中可以看出，芦台农场，排水条件较好，在

表10 不同排水条件下不同旱作年限水盐变化比较

排水情况 連續旱作年限	排水不良				排水良好				
	2	3	4	6	1	3	4	5	6
地下水埋藏深度(米)	0.81	1.00	0.84	0.50	1.20	1.05	0.95	0.80	1.10
地下水矿化度(克/升)	1.73	2.83	4.66	2.04	1.68	1.65	2.27	1.38	1.88
30厘米土层含盐%	0.161	0.143	0.32	0.30	0.108	0.126	0.11	0.13	0.20

注：取样期间是5月中旬

连续旱作的情况下，盐分的累积并不显著，但仍有少量累积。在排水比较不良地区，盐分累积较多，所以旱作至第四年，作物生长较差，而排水良好地区，旱作至第六年，土壤含盐仍在0.2%以下，作物生长很正常。

我们曾在军粮城对菜园和高粱地同时进行观测。

菜园虽然地势较低，自然排水较差，但由于菜地经常中耕灌溉（前后共中耕7次，约10天灌溉一次），因此，大大削弱了盐分上升累积的强度。与高粱地比较，不论是春季或秋季，菜园地的盐分累积速度均较缓慢（表11）。

表11 不同栽培方式水盐动态比较

地点 月期	高粱地				菜园地			
	5月中旬	6月中旬	8月下旬	10月下旬	5月中旬	6月中旬	8月下旬	10月下旬
地下水埋藏深度(米)	1.50	1.50	0.40	0.65	0.80	0.80	0.45	0.65
地下水矿化度(克/升)	6.95	11.08	3.27	5.00	3.29	2.53	2.50	2.66
20厘米土层含盐%	0.128	0.225	0.08	0.130	0.235	0.257	0.115	0.185
100厘米土层含盐%	0.203	0.180	0.152	0.169	0.186	0.222	0.219	0.219

综上所述，可以看出，水旱轮作地区必需建立能够控制地下水位，减弱土壤的盐分累积和地下水淡水层的消耗速度的灌排系统，并进行秋耕、中耕、合理灌溉等措施，以减缓盐分的累积。

由于滨海地区各地的排水条件、土壤性状和农业措施不同，所以能够连续旱作的年限也不同。军粮城个别排水较好的地区，可以连续种植旱作2年，排水不良的如军粮城农场只能种1年旱作，滄县水月寺灌区和团泊洼农场可连种3—4年，在芦台农场排水良好地段连种植6年仍无盐害，在排水较差的地段则只能种3—4年。所以，各地必须因地制宜地根据当地旱作期间的水盐变化规律，确定能够连续旱作的年限。

最后必须指出，当考虑是否由稻田转入旱作时，必须同时考虑水分和盐分条件。对某些水源充足、地势

低洼易涝、排水困难、旱作物收成难保证的地区，就不一定硬要水旱轮作。相反，在旱作较为有利和水源缺乏地区，就必须掌握水盐变化规律，因地制宜地尽可能延长旱作年限。

参 考 文 献

- [1] С. Ф. Аверьянов: Горизонтальный дренаж при борьбе с заселением орошаемых земель Издательство Академии Наук СССР Москва, 1959.
- [2] В. А. 柯夫达: 中国之土壤与自然条件概论, 1959年, 科学出版社。
- [3] 中国科学院土壤及水土保持研究所及水利电力部北京勘测设计院土壤调查总队编著: 华北平原土壤, 1961年, 科学出版社。
- [4] 王遵亲: 河网化与排水种稻是改良我国平原地区盐渍土的主要方向。土壤, 1961年3期1—7页。