

宁夏引黄灌区农田排水沟渠水生植物物种多样性

罗良国¹, 赵天成², 刘汝亮², 王 艳³, 阿部薰⁴

(1.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2.宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002; 3.中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081; 4.日本国立农业环境技术研究所, 筑波 305-8604)

摘要:为探索宁夏引黄灌区农田排水沟水生植物物种组成和多样性,采用样方调查法在灌区农田选取典型支沟、斗沟和农沟,并在每条沟渠布设上、中、下游断面,断面上设置样方大小进行退水沟渠水生植物物种种类、数量、多度、盖度调查。结果表明:宁夏引黄灌区排水沟水生植物由 11 个科,13 个属,20 个种组成,其中,芦苇、蘆草、水莎草、香蒲、龙须眼子菜和浮叶眼子菜是分布较广的优势种。群落垂直分层明显,但以芦苇及其伴生种组成的挺水群落多见。灌区农田排水沟各层次植物种类分布和多样性指数差异较大,表现为农沟>斗沟>支沟。水位和流速是影响沟渠水生植物形态及分布的主要因素。农沟中水流速度较慢,生长环境稳定,有利于多种植物的繁殖,为科学合理布局优势物种富集农田排水中的养分,以达到控制农田非点源污染目的提供了可能。

关键词:水生植物;物种和群落多样性;农田排水沟;宁夏引黄灌区

中图分类号:Q948.8 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)12-2436-07 doi:10.11654/jaes.2013.12.017

Diversity of Aquatic Plants in Drainage Ditches in the Yellow River Irrigated Area of Ningxia

LUO Liang-guo¹, ZHAO Tian-cheng², LIU Rui-liang², WANG Yan³, ABE Kaoru⁴

(1.Institute of Agricultural Environment and Development, CAAS; Key Lab of Agricultural Environment, MOA, Beijing 100081, China; 2.Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan 750002, China; 3.Institute of Agricultural Economics and Sustainable Development, CAAS, Beijing 100081, China; 4.Japan National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3 Kannondai, Tsukuba 305-8604)

Abstract: Aquatic plants in agricultural drainage ditches have been considered to play important roles in purifying nitrogen and phosphorus in ditch water. Here we investigated composition and diversity of aquatic plants in agricultural drainage ditches in the Yellow River irrigated area of Ningxia. Representative branch ditches, sub-branch ditches and grooves around farmland were selected for quadrat surveying. An area of 1 m×1 m was set at the upper, middle, and lower reaches of each drainage ditch. In each quadrat, plant name, biomass, height, coverage and abundance of each species were recorded. In the investigated area, aquatic plants consisted of 20 species, representing 13 genera and 11 families. The widespread plant species were *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Scirpus triquetus* L., *Juncellus serotinus* (Rottb.) C. B. Clarke, *Juncellus serotinus* (Rottb.) C. B. Clarke, *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton natans* L. Plant communities had obvious vertical stratification in the drains. Plant species and community diversity were significantly different among drainage ditches, with groove>sub-branch ditch>branch ditch. The depth and flow rate of water in the drains were the main factors influencing aquatic plant morphology and distribution. Unlike branch and sub-branch ditches, grooves had slow water flow and stable environment, facilitating growth of various plants. Therefore, grooves could be used to control nonpoint pollution from farmlands.

Keywords: aquatic plant; species and community diversity; agricultural drainage ditches; Yellow River irrigated area; Ningxia

农田排水沟渠在传统农业生产中一直起着防洪泄洪移污、平衡农田生态系统水分的作用,有力地促

进了农业生产。如今,对农田排水沟渠的新认识被不断挖掘和发现,它在农业景观中扮演着越来越重要的角色,这种重要性不仅表现在维持农业生产方面,同样表现在维持植物物种多样性方面^[1]。而物种多样性在生态系统中起着非常积极的作用,生态系统的生产力、养分循环等无不与物种多样性相关^[2]。Ramser^[3]指出“沟渠植物的出现暗示土地所有者并不是唯一的利益获得者,沟渠生态系统除排水功能外,还兼具环境

收稿日期:2013-09-16

基金项目:国家自然基金面上项目(31170416);科研院所公益项目(BSRF 201209)

作者简介:罗良国(1966—),男,博士,研究员,研究方向为农田面源污染防治防控技术与农业清洁生产补偿机制政策。

E-mail:luolianguo@caas.cn

保护功能”。已有研究证实农田沟渠植物对沟渠水体中非点源污染物具有净化能力或氮、磷的截留效应^[4-8],但对农田沟渠中水生植物物种组成和多样性的关注与研究却很少,而水生植物是农田排水沟渠生态系统的重要组成部分,除特有的景观功能外,对沟渠水体还具有直接的净化作用,如能降解各种污染、改善溶氧状况和提高透明度等。因此,研究农田沟渠水生植物物种的组成及分布,分析植物物种及群落的多样性,探明可以高效利用的当地水生植物优势种或种群及植物养分含量特征,可为科学合理布局农田排水沟渠水生植物栽培种植,改善沟渠水质提供可靠的数据支持和科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究地区概况

宁夏引黄灌区位于西北干旱半干旱地区(105°53'~106°49'E,37°47'~39°14'N),南起中卫县沙坡头,北至石嘴山,长 320 km,东西宽 40 km。灌区地势自南向北渐趋平缓,地貌类型为黄河冲积平原,土壤类型主要为灌淤土、盐渍土和淡灰钙土。灌区农田沟渠纵横交错,以引黄自流灌溉为主,灌溉面积 3493 km²。灌区年降水量小(200 mm 左右)且时空分布极不均匀,70%年降水多集中在 7—9 月份;年均水面蒸发量 1000~1400 mm,属典型的大陆性季风气候。年均气温 8~9℃,作物生长季节 4—9 月 ≥10℃的积温为 3200~3400℃,日照时数 3000 h 以上,主要种植小麦、水稻、玉米、油菜和陆地瓜菜。稻田退水主要以明排、侧渗为主,旱地退水则以侧渗和垂直渗漏为主,所有退水最后经灌区 200 多条大大小小的沟渠排入黄河。调查期间排水沟基本水文情况见表 1。

1.2 排水沟选择与调查方法

调查于 2012 年 8 月进行,此时植物种类较丰富,且排水沟中有农田退水汇入。调查选择的排水沟主要针对环绕灌区农田的二、三、四级沟道,亦即典型的支沟(4 条)、斗沟(4 条)和农沟(12 条)。农田退水经农沟流入斗沟,然后流入支沟,再汇入相对应的干沟后直接流向黄河(图 1)。

表 1 排水沟基本水文情况

Table 1 Basic hydrological condition of drainage ditches

沟渠类型	水面宽/m	水深/m	流速/m·s ⁻¹
农沟	1.14±0.58	0.27±0.21	0.14±0.055
斗沟	4±1.27	0.74±0.27	0.18±0.045
支沟	8.33±2.89	1.43±0.60	0.425±0.171

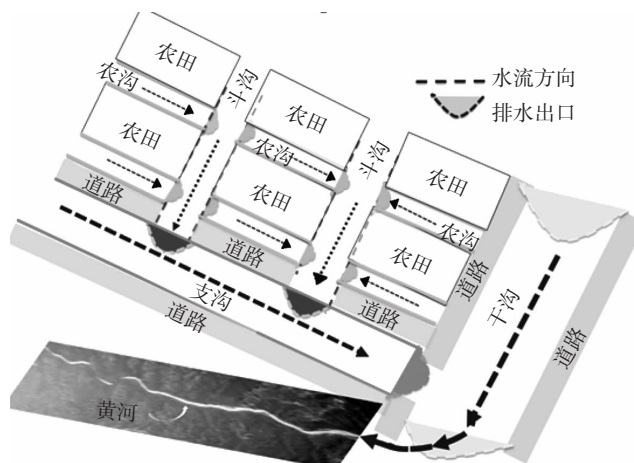


图 1 宁夏引黄灌区干、支、斗、农沟布局示意图

Figure 1 Different agricultural drainage ditches in the Yellow River irrigation area of Ningxia

所选沟渠空间分布尽量均匀分散,共选择 20 条排水沟渠。每条排水沟渠沿水流方向均等间距布设上游、中游、下游 3 个断面,每个断面都在沟底水面设置 1 m×1 m 的样方 1 个,共设 60 个断面,即 60 个样方。调查用特制的易断开和闭合的水生植物取样器(1 m×1 m)将样方内的所有水生植物圈起,目测样方内植被总盖度和各物种分盖度,记录物种种类名称和数量,同时,收割挺水植物测定株高度、多度和称量生物量;捞取浮水植物和沉水植物放置至不再有水滴滴时称量各物种鲜重。最后对各种植物按一定比例取鲜样装袋,带回实验室立刻在 105℃下杀青 1 h,再在 80℃下烘干至恒重后用精度为 0.01 g 的天平称量干质量。调查期间对不认识的物种在原生境下拍照,制作标本,带回实验室进行物种鉴定,鉴定依据《中国植物志》、《宁夏植物志》和《中国高等水生植物图说》。对优势植物种的全氮、全磷含量(以占植物干重计)进行测定,方法参照《土壤农业化学分析方法》^[9]。

1.3 数据处理

(1)重要值和生物量计算。相对频度(Rf)=(某物种频度/总物种频度之和)×100%,某物种频度(f)=某物种出现样方数/总样方数;相对盖度(Rc)=(某物种盖度/总物种盖度之和)×100%;用下式计算某物种的重要值(I)^[10],重要值(I_i)=(物种 i 相对频度+物种 i 相对盖度)/2。根据物种重要值确定各群落中的优势种及其所处位置,并用优势种名称命名所在群落。样方内总生物量为各物种生物量之和,群落生物量为主要物种和伴生种生物量之和,生物量均以鲜重计算。

(2)生物多样性测定方法

以调查的水生植物原样地为基础,分析主要植

物群落的物种多样性。多样性的测度选用物种丰富度指数(R)、Simpson 辛普森指数/优势度指数(D)、香浓威纳指数(HP)和 Pielou 多样性指数/均匀度指数(SW)^[11-14]。原带样地群落分挺水植物、浮叶植物和沉水植物进行统计。

①Patrick 丰富度指数(R)= S

②Simpson 优势度指数 (D)= $1 - \sum [N_i(N_i-1)/N(N-1)] = 1 - \sum P_i^2$

③Shannon-wiener 多样性指数(HP)= $-\sum (P_i \times \ln P_i)$

④Pielou 均匀度多样性指数(SW)= $-\sum (P_i \times \ln P_i) / \ln S$

式中: S 代表出现在样方中的物种种数, N_i 为第 i 个物种相对多度, N 为样方中植物总数, P_i 为 N_i/N 。

(3)方差分析

对不同沟渠主要植物群落生物量及多样性进行一维方差分析。

2 结果与分析

2.1 水生植物的种类组成

宁夏引黄灌区农田排水沟水生植物由 11 个科, 13 个属, 20 个种组成(见表 2)。其中挺水植物 12 种, 漂浮植物 3 种, 沉水植物 5 种。依照不同沟渠样方中

物种频度和盖度综合估算获得优势物种重要值排序, 前十位的水生植物物种有芦苇、蘆草、剑苞蘆草、水莎草、小香蒲、水蓼、菹草、龙须眼子菜、长苞香蒲和浮叶眼子菜, 是样方中的多见种和优势种。

2.2 水生植物的群落类型

根据优势种原则和现场调查引黄灌区农沟、斗沟和支沟中水生植物外貌结构特征, 可将灌区农田排水沟渠水生植物群落划分为 10 种类型(表 3)。这 10 种水生植物群落的垂直分层明显, 分为挺水群落(芦苇、长苞香蒲、小香蒲、芦苇+长苞香蒲、芦苇+蘆草、芦苇+小香蒲、水蓼+芦苇、慈姑)和沉水群落(狐尾藻、穿叶眼子菜+龙须眼子菜)。对不同层次的排水沟中的群落相对盖度进行分析发现, 在农沟中主要以挺水植物群落为主, 而这些挺水植物群落中, 芦苇+长苞香蒲群落和芦苇+小香蒲群落对农沟的盖度影响最大, 分布面积也最大, 特别是芦苇对农沟植物群落的贡献最大, 参与组成的水生植物群落在农沟中占绝大多数; 斗沟是一种过渡类型, 主要分布挺水植物群落和沉水植物群落; 而支沟中则以沉水植物群落为主, 分布面积也较大, 但沉水植物群落物种组成相对单一, 主要有狐尾藻、穿叶眼子菜+龙须眼子菜群落。浮水植物多以伴生物种呈现在优势群落结构中。

表 2 宁夏引黄灌区农田排水沟水生植物种组成

Table 2 Composition of aquatic plant species of agricultural drainage ditches in the Yellow River irrigation area of Ningxia

	科	属	种	拉丁名	相对频度	重要值排序
挺水植物	禾本科	芦苇属	芦苇	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	9.26	1
		稗草属	稗草	<i>Echinochloa crusgali</i> (L.) Beauv.	5.31	11
			无芒稗草	<i>Echinochloa crusgali</i> (L.) Beauv. var. <i>mitis</i> (Pursh) Peterm.Fl.	4.13	18
	莎草科	蘆草属	蘆草	<i>Scirpus triquetus</i> L.	4.39	2
			剑苞蘆草	<i>Scirpus ehrenbergii</i> Bocklr.	6.13	3
			水葱	<i>Scirpus validus</i> Vahl	1.47	20
		水莎草属	水莎草	<i>Juncellus serotinus</i> (Rottb.) C. B. Clarke	9.59	4
	香蒲科	香蒲属	长苞香蒲	<i>Juncellus serotinus</i> (Rottb.) C. B. Clarke	4.26	9
			小香蒲	<i>Typha minima</i> Funk	6.64	5
	泽泻科	慈菇属	慈菇	<i>Sagittaria trifolia</i> L. var. <i>sinensis</i> (Sims) Makino	6.9	12
	蓼科	蓼属	水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	7.08	6
	天南星科	菖蒲属	菖蒲	<i>Acorus calamus</i> L.	1.47	19
浮水植物	眼子菜科	眼子菜属	浮叶眼子菜	<i>Potamogeton natans</i> L.	5.21	10
	浮萍科	浮萍属	浮萍	<i>Lemna minor</i> L.	2.46	15
		紫萍属	紫萍	<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid.	2.35	16
沉水植物	眼子菜科	眼子菜属	菹草	<i>Potamogeton crispus</i> L.	5.9	7
			龙须眼子菜	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	7.01	8
			穿叶眼子菜	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L. L.	3.24	14
	小二仙草科	狐尾藻属	狐尾藻	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	4.42	13
	金鱼藻科	金鱼藻属	金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	3.21	17

表 3 引黄灌区农田排水沟渠水生植物群落类型

Table 3 Main aquatic plant communities of agricultural drainage ditches in the Yellow River irrigation area of Ningxia

群落类型	分布沟渠	主要物种	主要伴生种	相对盖度
芦苇+长苞香蒲	农沟	芦苇、长苞香蒲	浮萍、紫萍、浮叶眼子菜、蘆草	50%
芦苇+蘆草	农沟	芦苇、蘆草	浮萍、紫萍、浮叶眼子菜、	37.3%
芦苇+小香蒲	农沟	芦苇、小香蒲	蘆草、金鱼藻	50%
芦苇	农、斗沟	芦苇	蘆草、稗草	40%
长苞香蒲	农、斗沟	长苞香蒲	芦苇、蘆草	20%
小香蒲	农、斗沟	小香蒲	浮萍、浮叶眼子菜	22.5%
穿叶眼子菜+龙须眼子菜	斗、支沟	穿叶眼子菜、龙须眼子菜		45%
慈姑	斗、支沟	慈姑	浮叶眼子菜、稗草、	30%
狐尾藻	支沟	狐尾藻		30%
水蓼+芦苇	支沟	水蓼、芦苇	蘆草	37%

2.3 水生植物多样性分析

总体上说,不同层次排水沟渠间植物多样性变化显著。在农沟中,植物的盖度较大,物种多样性较丰富,主要包括 8 个科,10 个属,14 个种;斗沟的植物多样性仅次于农沟,包括 3 科 7 属 12 种,但是盖度远远小于农沟。支沟中,植物多样性进一步减少,大部分为沉水植物,只有少量的浮叶植物、挺水植物见于岸边。

(1) 丰富度指数和辛普森多样性指数

从图 2 可以看出,从农沟到支沟的过渡过程中,物种丰富度 Patrick 指数呈现逐渐减少的趋势,其中农沟的丰富度指数最高,支沟则相对最低。辛普森指数值则以斗沟为界,排水沟各层次的辛普森指数呈现先下降后升高的趋势,农沟和支沟的辛普森指数均高于斗沟,这可能与不同层次排水沟中分布水生植物种类的水文状态(如水的流速)有关,即农沟中主要分布挺水植物且水里的营养物质较高,有利于植物生长繁殖。因此,物种种类恒定,优势度较明显。

香浓威纳指数(HP)是基于物种数量反映群落种

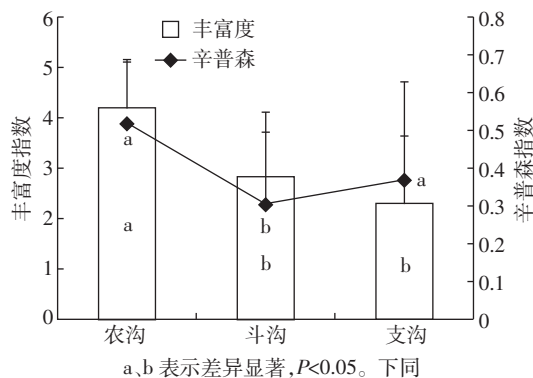


图 2 植被丰富度指数和辛普森多样性指数变化

Figure 2 Change of aquatic plant diversity on Patrick index and Simpson index

类多样性^[12],即群落中生物种类增多代表了群落的复杂程度增高,亦即 HP 值愈大,群落所含的信息量愈大。从图 3 可以看出,农沟的香浓维纳指数明显高于斗沟和支沟,而斗沟略高于支沟,这与农沟较高的物种数是密切相关的;但衡量样方内物种分布均匀度的 Pielou 多样性指数(SW)则表现出农沟和斗沟的水生物种均匀度高于支沟的特点。支沟水生物种均匀度最低,这可能与每年人为地对支沟挖掘以及各沟中水质有关。

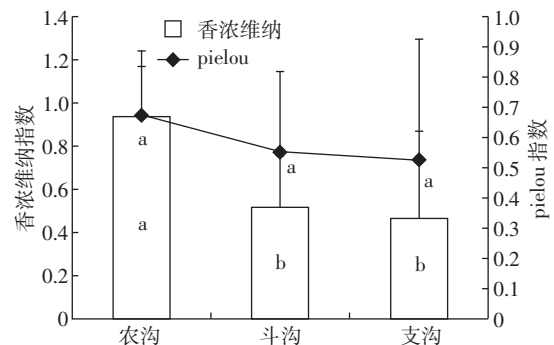


图 3 香浓威纳指数和 Pielou 多样性指数变化

Figure 3 Change of aquatic plant diversity on Shannon index and Pielou index

灌区农田退水的植被盖度范围为 50%~75%,农沟的植被盖度最大,在 70%以上。而支沟由于沉水植物较多,盖度仅次于农沟,斗沟的盖度则相对最低(图 4)。

2.4 群落生物量计算与 N、P 富集能力分析

生物量是反映植物养分吸收富集能力最直观的指标,一般地,生物量越大其养分的富集能力就越强。通过对各层次排水沟中的植物鲜重进行测量发现,三类不同级别的排水沟渠单位面积水生植物生物量(以植物鲜重计)从农沟到支沟呈现上升趋势,主要与植物群落的分布情况密切相关,沉水植物由于含水量较

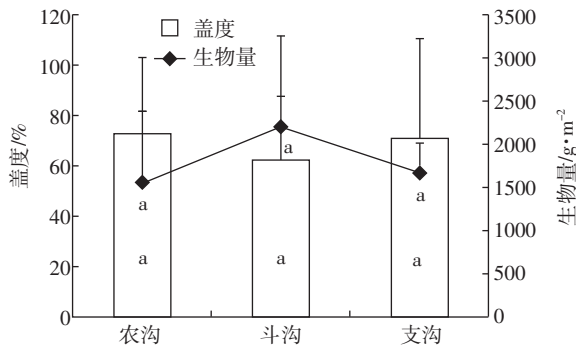


图 4 植被盖度与生物量变化

Figure 4 Change of main plant community biomass and coverity in agricultural drainage ditches

大而具有相对大的生物量。水生植物优势种 N、P 富集能力是基于物种重要值排序和调查样方中个体数量多、盖度大、生活力强、建群种优势性、生态作用以及潜在的高经济利用价值原则进行筛选,筛选出 4 种优势种即芦苇、长苞香蒲、小香蒲、水蓼和 1 种优势建群种茨菰进行其 N、P 组分分析。结果表明,不同物种的 N、P 富集能力有较大差异性(表 4)。因植物富集部分全部为植物有效态 N、P,不同水生植物的富集能力体现了水生植物本身对水体净化作用的强弱。充分利用所选水生植物对当地水环境的适应性和不同物种对沟渠水体氮磷污染物不同的富集能力,对改善灌区地表水体水质和美化环境具有一定的现实意义。

表 4 优势水生植物种组分含量

Table 4 The components of main aquatic plant species in agricultural drainage ditches

名称	全氮量/g·kg ⁻¹	全磷量/g·kg ⁻¹
慈菇	23.05±0.06	4.37±0.03
芦苇	15.78±0.00	1.27±0.05
长苞香蒲	13.98±0.04	2.40±0.02
小香蒲	13.27±0.01	2.11±0.05
水蓼	11.87±0.03	1.27±0.03

3 讨论

宁夏引黄灌区农田排水沟各层次水生植物种类分布差异较大,表现为农沟>斗沟>支沟,且农沟物种多样性较高,这可能与农沟的水质、水位、流速等密切相关。水位和流速是影响植物形态及分布的主要因素^[15-17]。农沟中水流速度较慢,生长环境稳定,有利于多种植物的繁殖,而且农沟中植物生长茂密,盖度大,沟中芦苇高度达到 3 m 左右,丛径 0.5 米左右,长苞香蒲平均高度约 2.5 m,丛径也在 0.5 m 左右,水深

约 0.2 m;斗沟中芦苇高度在 1 m~2 m 之间,香蒲高度与农沟近似,但茨菰表现突出,高度 1 m~1.5 m,丛径达到 0.7 m;支沟中水流速度较快,水面开阔,不利于植物的固着,这在一定程度上影响了各层次排水沟中植物物种的分布和多样性特征,呈现出排水沟级别越高,水生植物物种数量越少,多样性越低的分布情况。程志^[14]研究认为沟渠中水生植物物种还可随水质的恶化逐渐变少,甚至最后消失,而灌区斗沟和支沟沿岸通常有居民居住,不合理的生活污水排放可能是造成水质恶化的原因之一。

排水沟植物群落在垂直结构上层次明显,组成受优势种影响较大。在挺水植物中,芦苇和长苞香蒲是优势种和建群种,由于这两种植物具有广泛的生存适应能力而极大地影响了群落组成。农沟中植物在水体垂直方向的不同层次上形成群落,且组成结构复杂多样。如以芦苇为建群优势种形成的群落有芦苇+长苞香蒲+稗草+蘆草+浮萍、芦苇+长苞香蒲+蘆草+浮叶眼子菜+浮萍、芦苇+稗草+浮叶眼子菜+龙须眼子菜+穿叶眼子菜、芦苇+小香蒲+浮叶眼子菜+穿叶眼子菜、芦苇+蘆草+剑苞蘆草、芦苇+水蓼+小香蒲、芦苇+水莎草以及芦苇+稗草+蘆草+水蓼+水莎草和菖蒲+水蓼+无芒稗草+稗草等;而斗沟中因漂浮植物种类少、分布分散且生物量小而难以构成群落,群落相对单一,有菹草+狐尾藻+龙须眼子菜、芦苇+浮叶眼子菜+龙须眼子菜+穿叶眼子菜、龙须眼子菜+穿叶眼子菜、芦苇+香蒲+茨菰+金鱼藻+穿叶眼子菜和芦苇+香蒲;支沟中则主要以沉水植物群落为主,如菹草+狐尾藻+金鱼藻、茨菰+菹草+狐尾藻、剑苞蘆草+浮叶眼子菜+浮萍,少部分的挺水群落如芦苇+冰草+蘆草+剑苞蘆草和茨菰+蘆草。斗沟和支沟分别汇集众多农沟和斗沟与农沟的排水,受季节影响比较大,在 5—9 月份水稻作物生长季,大水灌溉引起的大量农田退水,使得这一期间斗沟和支沟的水面和水量增大,流量也大,严重影响了沟渠水体植物的生长和覆盖,特别是支沟受此影响更为突出。吴攀等^[13]研究指出,支沟沿岸两边居民区生活污水排放影响了沟渠水体水质可能也是支沟中物种组成和群落相对简单的原因。

虽然不同层次排水沟渠群落生物量差异不显著,但物种组分含量各异,这种差异性不仅与水生植物的生物学特性和生态学特性密切相关^[18],还可能受水体污染物浓度和水流速影响^[19]。科学合理地利用当地不同水生优势物种富集水体 N、P 的能力,将对控制农业非点源污染起到十分重要的作用^[16]。水生植物既可

直接吸收氮、磷等营养成分,又可产生根区效应,促进含 N 物质的氧化分解^[6]。不过,沟渠中所能种植的植物生物量是有限的,所以其去除 N、P 的总量有限,且随着进入沟渠中污染物浓度的变化和污染负荷的增加,进入沟渠的 N、P 总量增加,植物对 N、P 的去除率可能会相应地下降,但可以通过延长生态沟渠的长度得到解决^[21]。而一些研究表明,重建水生植物群落,在湿地生态恢复中具有不可替代的重要作用^[22-23]。虽然有文献表明湿地去除氮主要通过植物根部微生物的硝化和反硝化作用,植物直接吸收的氮只占总去除的 10% 左右^[20],但杨林章等^[7]利用植物组合模式“沟壁狗牙根+沟底空心菜”(夏季)和“沟壁黑麦草+沟底水芹”(冬季)研究得出沟渠植物组合所累积的氮达到 $200.75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,磷为 $35.93 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,沟渠植物对农田排水中氮磷的平均去除率达到 48.36% 和 40.53%,且植物还具有一定的经济价值和良好的景观效果。显而易见,基于本研究筛选出的优势种即芦苇、长苞香蒲、小香蒲、水蓼和一种优势建群种茨菰对农田退水中 N、P 组分具有不同的消纳富集能力,通过优化组合重建当地沟渠水生植物群落结构,并科学延长该生态沟渠,以当地原生态水生植物组合种植方式来改善农田退水水质不仅可能,也具有可行性。开放式的农田排水沟渠是一种不定入流湿地^[5],不定入流可能导致湿地植物包括水生植物对污染物去除力的变化^[25]。因此,在不同季节和不同入流条件下,即便是当地优势水生生物种其 N、P 富集能力也可能发生变化,但并不妨碍优化的水生植物组合发挥高效的水质净化功能,这有待以后进一步探讨。

4 结论

(1) 宁夏引黄灌区的农田排水沟生态系统中,水生植物主要由 11 个科、13 个属和 20 个种组成;水生植物物种丰富,多样性较高,但农沟植物多样性高于斗沟和支沟。

(2) 灌区排水沟中农沟植物的盖度较大,物种多样性较丰富;斗沟的植物多样性仅次于农沟,盖度远远小于农沟;支沟中植物多样性进一步减少,大部分为沉水植物,仅有少量浮叶植物,而挺水植物仅见于岸边。

(3) 灌区排水沟植物群落呈现出垂直结构层次明显、组成受优势种影响较大的特点,且主要以挺水植物芦苇优势种建群多见,其次是沉水群落,而浮水植物多以伴生植物呈现。

(4) 不同层次排水沟渠群落生物量差异不显著,但

不同级别的排水沟渠单位面积水生植物生物量(以植物鲜重计)从农沟到支沟呈现上升趋势,主要是与植物群落的分布情况密切相关,沉水植物由于含水量较大而具有相对大的生物量。

(5) 根据物种重要值排序和调查样方中个体数量多、盖度大、生活力强、建群种优势性、生态作用以及潜在的高经济利用价值原则,筛选出的富集 N、P 能力强的沟渠原生水生植物优势种是芦苇、长苞香蒲、小香蒲、水蓼和一种优势建群种茨菰。

总之,基于 N、P 富集能力较高、适应盐碱并重水质、且具经济利用价值和生态功能的当地优势水生植物,在充分考虑沟渠的防洪泄洪功能的同时,合理布局设计进行沟渠种植,既可改善农业生态景观,又可有效地防控与治理宁夏引黄灌区农田沟渠水体污染,值得进一步在实践上深入探索和研究。

参考文献:

- [1] Hooper D U, Chapin III F S, Ewel J J, et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge[J]. *Ecological Monographs*, 2005, 75(1): 3-35.
- [2] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges[J]. *Science*, 2001, 294: 804-808.
- [3] Ramser, C E. Vegetation in drainage ditches causes flooding[G]. Washington D.C.: USDA Soil Conservation Service, SCS-TP-62, 1947.
- [4] Kröger R, Holland M M, Moore M T, et al. Hydrological variability and agricultural drainage ditch inorganic nitrogen reduction capacity[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, 36: 1646-1652.
- [5] Kröger R, Holland M M, Moore M T, et al. Agricultural drainage ditches mitigate phosphorus loads as a function of hydrological variability[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37: 107-113.
- [6] 姜翠玲, 范晓秋, 章亦兵. 农田沟渠挺水植物对 N、P 的吸收及二次污染防治[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(6): 702-706.
JIANG Cui-ling, FAN Xiao-qiu, ZHANG Yi-bing. Absorption and prevention of secondary pollution of N and P by emergent plants in farmland ditch[J]. *China Environmental Sciences*, 2004, 24(6): 702-706.
- [7] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源控制的生态拦截沟渠系统及其效果[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1371-1374.
YANG Lin-zhang, ZHOU Xiao-ping, WANG Jian-guo, et al. Ecological ditch system with interception function and its effects on controlling farmland non-point pollution[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1371-1374.
- [8] 周香香, 张利权, 袁连奇. 上海崇明岛前卫村沟渠生态修复示范工程评价[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(2): 394-400.
ZHOU Xiang-xiang, ZHANG Li-quan, YUAN Lian-qi. Evaluation on a demonstration project of ecological restoration of ditches at Qianwei Village of Chongming County, Shanghai[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(2): 394-400.

- [9] 鲁如坤, 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Ru-kun. Analysis method of Soil Chemistry in Agriculture[M]. Beijing: Agricultural Sciencetech Press, 2000.
- [10] Barbour M G, Burk J H, Pitts W D. Terrestrial Plant Ecology[M]. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 2000.
- [11] Pielou E C. Ecological diversity[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1975.
- [12] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. *Taxon*, 1972, 21: 213-251.
- [13] 陈廷贵, 张金屯. 十五个物种多样性指数的比较研究[J]. 河南科学, 1999, 17(增刊): 55-57, 71.
- CHEN Ting-gui, ZHANG Jin-tun. A Comparison of fifteen species diversity indices[J]. *Henan Science*, 1999, 17(Suppl): 55-57, 71.
- [14] 陈小燕, 梁宗锁, 杜峰, 等. 施肥干扰对陕北黄土丘陵区三个典型群落结构组成的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(7): 3061-3071.
- CHEN Xiao-yan, LIANG Zong-suo, DU Feng, et al. The effect of disturbance on the structure and form of three typical communities in Loess hilly region of the northern of Shaanxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3061-3071.
- [15] Williams P, Whitfield M, Biggs J, et al. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England[J]. *Biological Conservation*, 2004, 115: 329-341.
- [16] Bouldin J L, Farris J L, Moore M T, et al. Vegetative and structural characteristics of agricultural drainages in the Mississippi Delta landscapes[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 132: 403-411.
- [17] 吴攀, 陈永乐, 赵洋, 等. 宁夏灵武地区农田排水沟植物物种多样性[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2790-2796.
- WU Pan, CHEN Yong-le, ZHAO Yang, et al. Plant species diversity in agricultural drainage ditches in Lingwu District of Ningxia, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2790-2796.
- [18] 程志, 何彤慧, 郭亮华, 等. 银川平原沟渠湿地高等植物群落结构初步研究[J]. 农业科学研究, 2010, 31(3): 40-43.
- CHEN Zhi, HE Tong-hui, GUO Liang-hua, et al. Study on the diversities of higher plant community and influencing factors in the wet land of ditches and canals on Yinchuan Plain[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 31(3): 40-43.
- [19] 王岩, 王建国, 李伟, 等. 三种类型农田排水沟渠氮磷拦截效果比较[J]. 土壤, 2009, 41(6): 902-906.
- WANG Yan, WANG Jian-guo, LI Wei, et al. Comparison on removal of nitrogen and phosphorus from hibernant farmland drainage by three kinds of ditches[J]. *Soils*, 2009, 41(6): 902-906.
- [20] 徐红灯, 席北斗, 王京刚, 等. 水生植物对农田排水沟渠中氮、磷的截留效应[J]. 环境科学研究, 2007, 20(2): 84-88.
- XU Hong-deng, XI Bei-dou, WANG Jing-gang, et al. Study on the Interception of nitrogen and phosphorus by Macrophyte in agriculture drainage ditch[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(2): 84-88.
- [21] 韩例娜, 李裕元, 石辉, 等. 水生植物对农田排水沟渠氮磷迁移生态阻控效果比较研究[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(1): 117-120.
- HAN Li-na, LI Yu-yuan, SHI Hui, et al. Study on comparison of different aquatic plant on nitrogen and phosphorus ecological control measures in drainage ditch of farmland in Southern China[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2012, 33(1): 117-120.
- [22] 黄文成. 沉水植物在治理滇池草海污染中的作用[J]. 植物资源与环境, 1994, 3(4): 29-33.
- HUANG Wen-cheng. The effect of using submerged vegetation for the pollution treatment of Dianchi Caohai Lake[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 1994, 3(4): 29-33.
- [23] 李文朝. 浅型营养湖泊的生态恢复: 五里湖水生植被重建实验[J]. 湖泊科学, 1996, 8(增刊): 1-10.
- LI Wen-Chao. Ecological restoration of shallow, eutrophica lakes-experimental studies on the recovery of aquatic vegetation in Wuli Lake[J]. *Journal of Lake Science*, 1996, 8(Suppl): 1-10.
- [24] 付融冰, 杨海真, 顾国维, 等. 潜流人工湿地对农村生活污水氮去除的研究[J]. 水处理技术, 2006, 32(1): 18-22.
- FU Rong-bing, YANG Hai-zhen, GU Guo-wei, et al. Nitrogen removal from rural sewage by subsurface horizontal-flow in artificial wetlands[J]. *Technology of Water Treatment*, 2006, 32(1): 18-22.
- [25] Jorden T E, Whigham D F, Hofmocket K S, et al. Nutrient and sediment removal by a restored wetland receiving agricultural runoff[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32: 1534-1547.