

赖黎明, 美丽, 杨 旸. 内蒙古河套灌区农业土壤特征与发展分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(2): 213–218.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.02.035

# 内蒙古河套灌区农业土壤特征与发展分析

赖黎明<sup>1,2</sup>, 美丽<sup>2</sup>, 杨 旸<sup>1,2</sup>

(1. 河套学院院士专家工作站, 内蒙古巴彦淖尔 015000; 2. 河套学院农学系, 内蒙古巴彦淖尔 015000)

**摘要:**河套灌区位于寒旱区的内蒙古河套平原, 具有独特的农业土壤。尽管有关河套灌区农业土壤性质的研究已有报道, 但是缺乏对其整体特征的研究。通过文献综述与调查, 探索河套灌区农业土壤的整体特征与发展规律及其原因, 旨在为增效土壤利用及制定土壤可持续发展策略提供一定的理论支持。结果表明, 河套灌区农业土壤起源于黄河改道产生的沉积层及其人工熟化, 具有周期性的次生盐渍化特征, 其 pH 值呈增加趋势, 土壤有机质含量较低但变化趋势稳定, 氮磷含量较低、钾硫含量较高, 养分分布不均衡, 生产性能多样性, 生态性能较弱但趋势稳定, 土壤质量具有异质性但变化趋势稳定。这些发现预示着耐不同盐碱的、需不同养分的、多样化的作物能够在此土壤中生产; 此农业土壤具有可持续性, 但也面临一定程度的碱化增加、养分流失、污染等问题。

**关键词:**农业土壤; 次生盐渍化; 有机质; 土壤养分; 异质性; 生态性; 河套灌区

**中图分类号:** S159    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2022)02-0213-06

河套灌区位于内蒙古自治区西部, 属于巴彦淖尔市, 地处黄河内蒙古段中上游区域(106°10′~109°30′E、40°12′~41°20′N), 海拔 1 007~1 015 m, 南临黄河, 北抵阴山, 西与乌兰布和沙漠相接, 东至包头市, 地形平坦<sup>[1-2]</sup>, 总土地面积约 1.12 万 km<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。自全新世(约 11 700 年前)以来, 河套灌区就属于典型的寒旱地区, 平均年降水量 159.8 mm, 平均日气温 7.56 ℃, 年蒸发量约 2 200 mm<sup>[4]</sup>。该区一直是无灌溉就没有农业, 黄河是该区主要的灌溉水源, 平均过境水量达 280 亿 m<sup>3</sup>, 是全国灌溉面积最大的灌区, 同时也是亚洲最大的一首制自流灌区。该区引黄灌溉的农业始于公元前 2 年, 已有 2 000 年的历史, 目前灌溉面积约 68 万 hm<sup>2</sup><sup>[5-6]</sup>。

河套灌区农业土壤属灌淤土类型的亚类潮化灌淤土土属<sup>[7]</sup>。河套灌区土壤的灌淤层为 30~70 cm, 少数厚达 1 m 以上。土壤剖面为 A11-Ab-c 型, 上下较均质, 底部常见文化遗物, 石灰反应为

中等<sup>[7]</sup>。目前, 虽然有很多关于河套灌区土壤的调查与研究<sup>[8-9]</sup>, 但均是分散的或者是基于土壤某种性质的研究, 例如有关土壤养分<sup>[10-12]</sup>、土壤盐渍化<sup>[13-16]</sup>、水盐运移规律<sup>[17-20]</sup>、土壤污染情况<sup>[21-22]</sup>等的研究, 缺乏对河套灌区农业土壤整体特征的分析。基于此, 本研究把河套灌区农业土壤作为一个整体, 从农业与生态的角度, 探索河套灌区农业土壤的整体特征与发展规律及其原因, 为制定农业土壤可持续发展策略及增效土壤利用提供一定的理论支持。

## 1 河套灌区农业土壤起源

河套灌区农业土壤起源于黄河多次改道形成的沉积层。在地质构造上, 河套平原是长期下沉的断陷盆地, 在漫长的地质时期, 河套灌区一直为湖水所占据, 后来形成以湖相为主、富含盐分的沉积层。黄河形成至河套灌区被阴山阻挡(图 1), 导致其多次改道, 在湖相沉积层上覆盖了黄河冲积层。在黄河古河道的波及区和引黄灌溉大量淡水补给作用下, 湖积层咸水区上覆盖了淡水层, 形成了河套平原复杂多变的咸淡水层<sup>[23]</sup>, 成为河套灌区的成土母质。此土壤是以地方因素为主形成的, 以灌淤土为主<sup>[12]</sup>。

由于长期灌溉将含有泥沙的黄河水引入土层, 加之人为施肥、耕种等旱耕熟化措施, 使此灌淤土发展为农业土壤(厚度约 50 cm)(图 2)。该区的黄河水灌溉将泥沙引入农田, 使土层加厚, 改变了原

收稿日期: 2021-04-11

基金项目: 内蒙古自治区科技厅项目-河套学院巴彦淖尔生态治理与绿色发展院士专家工作站建设项目; 河套学院人才引进启动项目(编号: HYRC2019006); 河套学院科学技术研究项目(编号: HYZX201952)。

作者简介: 赖黎明(1965—), 男, 河南汝南人, 博士, 教授, 主要从事土壤学、农业生产活动对土壤与环境的影响研究。E-mail: liming.lai@qq.com。

通信作者: 杨 旸, 硕士, 讲师, 主要从事土壤肥力方面的研究。E-mail: 380121735@qq.com。

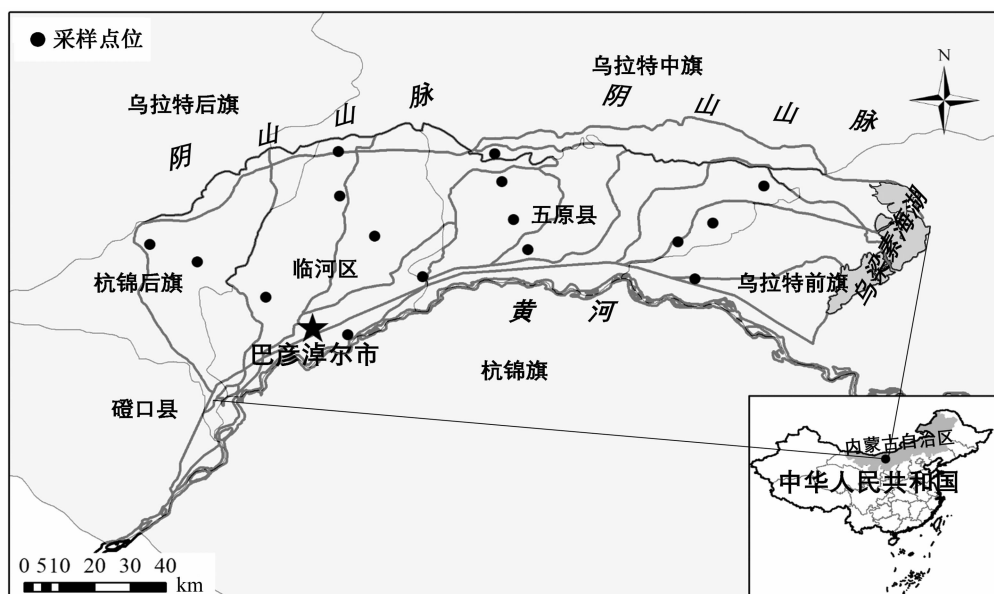


图1 内蒙古河套灌区地图及采集土壤样品的 16 个点位

本较沙的土壤质地。较高的地下水位导致剖面中下部氧化还原交替发生,影响农业土壤形成过程中物质的转化、迁移、土壤剖面的发育,控制着土壤元素的形态与有效性<sup>[24-25]</sup>。种植者的生产活动产物(牲畜粪便,炭屑、煤渣、砖瓦和陶瓷碎片)可以使土壤耕层加厚。另外,农家肥的施用、灌溉淤泥以及农作物的根茬和凋落物等提高了土壤有机质以及氮、磷、钾等养分含量<sup>[24]</sup>。耕翻、耙耱、中耕等农业措施将淤积物、肥料、根茬与耕作层均匀混合,打破淤积层次,创造了良好的耕层构造<sup>[24]</sup>。

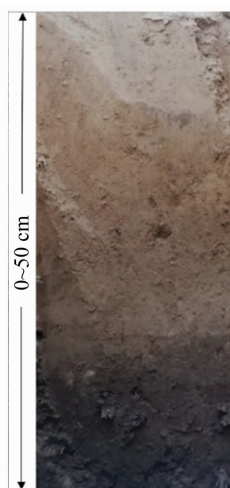


图2 内蒙古河套灌区巴彦淖尔市临河区向日葵田 0~50 cm 深度的土壤剖面(2019 年 7 月 30 日作者摄)

## 2 次生盐渍化特征与发展分析

次生盐渍化是河套灌区农业土壤最突出的特

征。在河套灌区,因渠系渗漏与大水漫灌致使地下水位升高,在干旱条件下,含盐的地下水通过毛细管作用上升至地表蒸发而将盐分积聚于土壤表层,形成次生盐化。伴随土壤积盐, $\text{Na}^+$ 与胶体复合体的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 等离子进行交换反应,致使土壤次生碱化(在一些局部洼地,因地下水位高,土体内含有有机质和硫酸钠,经生物作用转化为碳酸钠,也使土壤碱化)<sup>[16]</sup>。土壤次生盐渍化又称土壤次生盐碱化<sup>[26]</sup>。每年的土壤含盐量具有波动性<sup>[27]</sup>。本研究在 2019、2020 年秋收后对全灌区 16 个点位(图 1)的测试数据表明,0~20 cm 的平均土壤全盐含量分别是 1.49/2.18 g/kg。但是,总体来说,河套灌区土壤耕层全盐含量低于 10 g/kg<sup>[28]</sup>,向下显著减少,在 0~100 cm 土层平均含盐量为 2~3 g/kg<sup>[29]</sup>。其原因与每年气候和灌溉量相关,随气温的上升而增加<sup>[28]</sup>,随降水量与灌溉量的增加而减小<sup>[29]</sup>。

河套灌区的土壤次生盐渍化随时间变化发展有 3 个趋势:(1)河套灌区土壤次生盐渍化具有年际周期性的特点,具有不可消除性趋势。每年 4 月盐分含量最高,6 月次之,7 月最小(表 1)<sup>[30]</sup>。该特点决定了利用盐渍化土壤的重要性。比如,向日葵的种植使河套灌区约 1/3 的盐碱地产生了与好地相当的经济效益(图 3)。(2)河套灌区的土壤次生盐渍化面积有减少的趋势。1991—2005 年,盐碱地总面积由 1 019 km<sup>2</sup> 减少到 814 km<sup>2</sup>,年平均减少 14.6 km<sup>2</sup>,重盐碱地、中度盐碱地和轻度盐碱地分别减少了 55、34、116 km<sup>2</sup><sup>[31]</sup>。2006—2014,总体继续呈现缩

减趋势<sup>[32]</sup>。原因除了灌排系统的改进排出了部分盐分之外,河套灌区的平均地下水位的下降<sup>[32-34]</sup>也有利于减少盐渍化的面积。(3)河套灌区土壤 pH

值呈缓慢增加趋势(表 2)。究其原因,一方面是土壤次生碱化增加,另一方面是忽略了土壤碱化的防治。

表 1 河套灌区 0~20 cm 农业土壤电导率随时间的变化<sup>[31]</sup>

年份	统计描述	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
2017	平均值(dS/m)	1.28	1.03	1.23	1.07	1.13	1.10
	标准差(dS/m)	1.08	0.83	0.63	0.80	0.82	0.78
	变异系数(%)	44	81	51	75	73	71
2018	平均值(dS/m)	1.40	1.22	1.30	1.10	1.24	1.15
	标准差(dS/m)	1.32	0.63	0.85	0.54	1.04	0.67
	变异系数(%)	94	52	65	49	84	58



图3 内蒙古河套灌区五原县向日葵田(2019 年 8 月 18 日作者摄)

表 2 河套灌区 0~20 cm 农业土壤 pH 均值随时间的变化

采集样品时间	样品数量	pH 均值	数据来源
1986 年秋季	45	8.00	文献[28]
2010 年春季	50	8.06	文献[35]
2014 年春季	40	8.15	文献[36]
2019 年秋季	64	8.14	本研究

3 不均衡的养分分布与偏低的有机质含量及发展分析

河套灌区土壤养分空间分布不均衡。在 2005—2008 年期间,对河套灌区土壤养分的监测调查表明,土壤有机质含量的平均值为 13.9 g/kg,变异系数为 21.58%。全氮含量的平均值为 0.83 g/kg,变异系数为 20.48%,与有机质相当,具有较大的不均衡性。有效磷含量的平均值为 12.7 mg/kg,变异系数为 50.55%,比全氮具有更大的不均衡性。速效钾含量的平均值为 185 mg/kg,变异系数为 26.53%,高于全氮的变异系数,低于有效磷的变异系数<sup>[12]</sup>。本研究 2020 年在河套灌区 16 个点位的监测结果表明,0~20 cm 土壤有效硫含量均值为 159.92 mg/kg,变异系数为 112.5%,变异系数高于有机质、全氮、有效磷、速效钾,即具有更大的不均

衡性。其主要原因是灌区土壤母质为黄河冲积物,在成土过程中土壤母质的沉积环境不同,形成沙黏互层的土体构型,土体千变万化<sup>[23]</sup>。根据全国第二次土壤普查养分分级标准,总的来说,河套灌区农业土壤有机质偏低,氮磷较缺乏,钾硫比较丰富。

在过去 35 年中(1986—2019 年),河套灌区农业土壤 0~20 cm 土层平均有机质含量随时间变化稳定且略有增加趋势(10.9~13.9 g/kg)(表 3)。河套灌区农业土壤有机质损失的原因包括作物生长季土壤微生物的活动促进了有机质分解<sup>[37]</sup>,灌水洗盐可能导致部分有机质淋失<sup>[38]</sup>,种植者倾向于施用化肥而少施有机肥<sup>[39]</sup>。但是,黄河灌溉水引入的淤泥和沉积物<sup>[40]</sup>,农家肥的施用(冬季,河套灌区种植者普遍在农田里放羊,残留羊粪),农作物大量的残落物及根茬、秸秆还田(河套灌区秸秆还田已经是普遍现象)等均能增加土壤中的有机质。这个稳中有升的趋势为保持农业土壤可持续性提供了坚实的基础<sup>[41]</sup>。

4 土壤质量的异质性与发展分析

土壤质量是一个综合的概念,指土壤作为维持植物、动物和人类的重要生态系统的持续能力<sup>[43]</sup>。评估土壤质量对生物圈不仅在粮食和纤维生产方

表 3 河套灌区 0~20 cm 农业土壤有机质均值随时间的变化

样品采集时间	样品数量 (个)	均值 (g/kg)	数据来源
1986 年秋(收后)	45	10.9	文献[28]
2005—2008 春(播前)	34 926	13.9	文献[12]
2011 年秋(秋收后)	257	10.9	文献[42]
2019 年秋(秋收后)	64	11.7	本研究

面,而且在维护地方、区域和全球生态系统功能方面发挥的作用<sup>[44-45]</sup>。

河套灌区农业土壤属于灌淤土,其耕层的黏重

表 4 河套灌区土壤质量的异质性特征及已经种植的 30 余种作物

土壤质量的异质性特征	种植的 30 余种作物
土壤质地差异较大,可分为红泥土、两黄土、沫土、沙土、下黏上沙的沙盖土、上黏下沙的盖垆沙或漏沙土等; 不平衡的土壤养分分布(有机质、氮、磷、钾、硫); 不同程度的盐渍化土壤; 上述特征与河套灌区的气候与灌溉制度交叉互动,能够满足不同的作物生长。	三大作物:玉米、向日葵、春小麦; 特色作物:华莱士蜜瓜、灯笼红香瓜、黄柿子、高粱、糜黍、谷子、豆类、甜菜、大麦、啤酒花、油菜籽、水稻、王爷地甘草、番茄、青椒、苹果梨、红枣、胡麻、西瓜、枸杞、麻黄、大余太葫芦、黑柳子白梨脆、大有公小香瓜、红胡萝卜、黑瓜子、圆圃补隆烟叶、牧草等。

河套灌区农业土壤质量随时间变化发展具有稳定性趋势。河套灌区农业土壤已经有 2 000 年的历史(因战争曾经导致有几次耕种的中断)<sup>[51]</sup>,其根本原因是土壤建立在黄河灌溉的基础上。当代河套灌区农业灌溉全部是“格(畦)田淹灌”,避免了水土流失现象。地膜覆盖避免了该区农业土壤因风蚀而导致流失的现象。土壤有机质的稳定增加趋势(表 3)维持了土壤肥力的稳定性。盐碱地面积的递减趋势<sup>[31-32]</sup>保证了该区土壤盐碱化程度的稳定性。每年的“灌水洗盐”(秋浇与春灌的灌溉制度)保证了次生盐渍化程度的稳定性<sup>[52]</sup>。过量施肥、不适当施用农药、地膜残留对于土壤质量与环境的负面影响已经引起普遍关注<sup>[53-54]</sup>,目前正在实施“控水、控肥、控药、控膜”措施,已经把这些负面影响控制在一定的范围之内。但是,对于土壤 pH 值逐渐增加可能导致的后果目前还没有引起关注。

5 土壤生态性与发展分析

土壤质量的另一个主要功能是在维护地方、区域和全球生态系统功能方面发挥的作用<sup>[44-45,55]</sup>,本研究称之为农业土壤的生态性。河套灌区的农业土壤具有生态性,其随时间的发展变化具有稳定性。土壤生产性能、缓冲性能、净化性能是保持土壤生态性的稳定性的关键。受自然因素与人为活

程度差异较大,大致分为红泥土、两黄土、沫土、沙土、下黏上沙的沙盖土、上黏下沙的盖垆沙或漏沙土,具有多样的生产能力,说明土壤质量具有多样性,本研究称之为土壤异质性。河套灌区土壤异质性决定了作物的多样性。据调查,30 余种作物在河套灌区种植,其中玉米、向日葵、春小麦是灌区的三大主要作物,其他为特色作物(表 4)<sup>[15,23,46-47]</sup>。比如,华莱士蜜瓜于 20 世纪 40 年代由美国引种到甘肃试种<sup>[48]</sup>,却成为河套灌区的磴口县的特产<sup>[49]</sup>。其根本原因是磴口的土壤与气候最适宜该瓜的生长<sup>[50]</sup>。

动的影响,这 3 种性能呈动态变化特征。具体来说,农业生产中的灌溉、施化肥、农药、覆盖地膜、农业机械等活动影响了土壤生产性。灌水洗盐过程导致部分养分、离子随之淋失,微生物量减少<sup>[52,56-57]</sup>,从而影响了土壤缓冲性。土壤净化性一方面取决于土壤中微生物种类、数量及活性,另一方面取决于土壤结构、有机质含量、温湿度、通气状况等理化性质<sup>[42]</sup>,过量施用化肥与农药以及地膜残留会引起不同程度的土壤污染,导致土壤净化能力的降低。但是这些影响还不足以破坏河套灌区土壤的生态性。这是因为:(1)每年约 66.7 万 hm<sup>2</sup> 的农田正常生产,在多样性的作物生长季节(每年的 5—10 月)能够起到吸收空气中的二氧化碳、释放氧气、抵挡沙尘暴、阻隔沙漠、净化土壤减缓地下水水质污染等生态服务功能。农业有助于保护和可持续利用生物多样性,保持极其重要的生态系统服务<sup>[58]</sup>。(2)河套灌区的植树造林是稳定土壤生态性能的另一个重要因素。面积约 579.85 km<sup>2</sup> 的农田防护林沿斗、农、毛渠布设,主林带间距为 100 m,副林带间距为 1 000 m<sup>[59-60]</sup>(图 4),主要树种有杨、柳、沙枣和榆树等。

5 结论

综上所述,河套灌区农业土壤属于潮灌淤土,起源于黄河多次改道导致的沉积层及其人工熟化,





图4 河套灌区五原县的农田防护林(2019 年 10 月 13 日作者摄)

具有年际周期性的次生盐渍化特点,其重盐渍化面积呈降低趋势,pH 值呈增加趋势,土壤有机质含量较低但变化趋势稳定,氮磷含量较低,钾硫含量较高,养分分布不均衡,生产性能多样性,生态性能较弱但趋势稳定、土壤质量具有异质性但变化趋势稳定。总体来看,河套灌区农业土壤是可持续的,但同时也面临一些问题需要进一步研究,如土壤缓冲能力偏低、碱化程度增加、净化能力偏低、生态系统的稳定性能较弱、土壤养分流失、土壤板结、化肥农药地膜残留的污染等。

#### 参考文献:

- [1] 王民哲. 内蒙古河套灌区盐碱化耕地改良措施及建议[J]. 中国水利,2019(15):40-41.
- [2] 寇薇. 内蒙古河套灌区土壤水盐空间变异性研究[D]. 兰州:西北师范大学,2008:18-19.
- [3] 张娜,张栋良,屈忠义,等. 内蒙古河套灌区区域土壤质地空间变异分析——以解放闸灌域为例[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(12):155-163.
- [4] 王丽萍,刘廷玺,丁艳宏,等. 河套灌区近 50 年气候变化特征及趋势分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(3):402-407.
- [5] 陈耳东. 河套灌区水利简史[M]. 北京:水利电力出版社,1988:32-37.
- [6] ORDOS. Inner Mongolia irrigation structure included in ICID register. Ordos New Media Center, China Daily[N/OL]. (2019-09-04)[2021-06-10]. [http://subsites.chinadaily.com.cn/ordosen/en/2019-09/04/c\\_405397.htm](http://subsites.chinadaily.com.cn/ordosen/en/2019-09/04/c_405397.htm).
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤数据库[EB/OL]. (2019-08-03)[2021-06-10]. [http://vdb3.soil.csdh.cn/front/detail-整合数据库\\$integ\\_cou\\_soiltype?id=40803](http://vdb3.soil.csdh.cn/front/detail-整合数据库$integ_cou_soiltype?id=40803).
- [8] 段忆涓. 内蒙古河套灌区 400 万亩耕地享受“营养套餐”[EB/OL]. (2008-04-07)[2021-06-10]. [http://www.moa.gov.cn/ztl/ctpsf/gzdt/200804/t20080407\\_1009907.htm](http://www.moa.gov.cn/ztl/ctpsf/gzdt/200804/t20080407_1009907.htm).
- [9] 内蒙古农牧业信息网. “河套灌区土壤质量调查与综合评价研究”2016—2017 年总结研讨会顺利召开[EB/OL]. (2018-04-02)[2021-06-10]. [http://www.agri.cn/V20/ZX/gqxxlb\\_1/nmg/201804/t20180402\\_6106605.htm](http://www.agri.cn/V20/ZX/gqxxlb_1/nmg/201804/t20180402_6106605.htm).
- [10] 李成. 灌水量和施肥量对河套灌区垄膜沟灌土壤水肥盐运移的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019:44-45.
- [11] 陈福兴,秦道珠,谢良商. 长期施用有机肥对土壤养分平衡及增产作用——肥料效应监测试验结果[J]. 土壤肥料,1990(5):13-16.
- [12] 李文彪. 内蒙古河套灌区小麦和玉米推荐施肥研究[D]. 北京:中国农业科学院,2011:80-81.
- [13] 马金慧,杨树青,史海滨,等. 盐渍化灌区水盐田间尺度时空分布及关联分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(8):165-173.
- [14] 刘瑞敏,杨树青,史海滨,等. 河套灌区中度盐渍化土壤改良产品筛选研究[J]. 土壤,2017,49(4):776-781.
- [15] Geng Q L, Wu P T, Zhao X N, et al. A framework of indicator system for zoning of agricultural water and land resources utilization: a case study of Bayan Nur, Inner Mongolia[J]. Ecological Indicators,2014,40:43-50.
- [16] 桑以琳. 内蒙古河套灌区碱化土壤的发生原因和特性[J]. 土壤学报,1996,33(4):398-404.
- [17] 李瑞平,史海滨,王长生,等. 秋灌定额对越冬期土壤水盐运移分布的影响[J]. 灌溉排水学报,2010,29(6):43-46.
- [18] 王建阳. 河套灌区不同灌溉与覆膜方式下土壤水盐离子动态变化研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019:29-31.
- [19] 郭姝妹. 基于遥感及 CLUE-S 模型的内蒙古河套灌区土壤盐渍化时空演变与调控研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2018:97-99.
- [20] 齐智娟. 河套灌区盐碱地玉米膜下滴灌土壤水盐热运移规律及模拟研究[D]. 北京:中国科学院大学,2016:97-98.
- [21] Zhu Y C, Wang L J, Zhao X Y, et al. Accumulation and potential sources of heavy metals in the soils of the Hetao Irrigation District, Inner Mongolia, China[J]. Pedosphere, 2020,30(2):244-252.
- [22] Zhang H. Heavy-metal pollution and arseniasis in Hetao region, China[J]. AMBIO: A Journal of the Human Environment,2004,33(3):138-140.
- [23] 王伦平,陈亚新,曾国芳,等. 内蒙古河套灌区灌溉排水与盐碱化防治[M]. 北京:水利电力出版社,1993:315.
- [24] 王吉智,马玉兰,金国柱. 中国灌淤土[M]. 北京:科学出版社,1996:16-38.
- [25] 朱鹤健,何宜庚. 土壤地理学[M]. 北京:高等教育出版社,

- 1992;78-93.
- [26]地质矿产部《地质辞典》办公室. 地质大辞典(四):矿床地质、应用地质分册[M]. 北京:地质出版社,2005:535.
- [27]李中昊,陈阜,文新亚,等. 气温上升对河套义长灌域土壤盐分含量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013,18(1):61-68.
- [28]巴彦淖尔盟土壤普查办公室. 内蒙古自治区巴彦淖尔土壤——内蒙古自治区第二次土壤普查报告[M]. 内蒙古巴彦淖尔:巴彦淖尔盟土壤普查办公室,1987.
- [29]逢焕成,李玉义. 西北沿黄灌区盐碱地改良与利用[M]. 北京:科学出版社,2014:53.
- [30]郭珈玮. 河套灌区耕地-盐碱荒地间水盐运移规律及农田盐分调控[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2020:68-69.
- [31]Yu R H,Liu T X,Xu Y P,et al. Analysis of salinization dynamics by remote sensing in Hetao Irrigation District of North China[J]. Agricultural Water Management,2010,97(12):1952-1960.
- [32]郭姝姝,阮本清,管孝艳,等. 内蒙古河套灌区近 30 年盐碱化时空演变及驱动因素分析[J]. 中国农村水利水电,2016(9):159-162,167.
- [33]彭翔. 基于遥感的河套灌区地下水埋深变化对生态环境的影响研究[D]. 武汉:武汉大学,2017:54-55.
- [34]张倩,全强,李健,等. 河套灌区节水条件下地下水动态变化分析[J]. 灌溉排水学报,2018,37(增刊2):97-101.
- [35]刘鑫,魏占氏,王长生,等. 基于 ArcGIS 的河套灌区土壤盐碱化空间分析[J]. 人民黄河,2011,33(12):88-91.
- [36]李新,焦燕,代钢,等. 内蒙古河套灌区不同盐碱程度的土壤细菌群落多样性[J]. 中国环境科学,2016,36(1):249-260.
- [37]Von Lützw M,Kögel-Knabner I. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition—What do we know? [J]. Biology and Fertility Soils,2009,46(1):1-15.
- [38]梁建财,李瑞平,史海滨,等. 河套灌区覆盖对盐渍土壤养分迁移与分布的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(2):113-121.
- [39]Zhang H M,Wang B R,Xu M G,et al. Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in southern China [J]. Pedosphere,2009,19(2):199-207.
- [40]中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1978:84-85.
- [41]陈怀满. 环境土壤学[M]. 3 版. 北京:科学出版社,2018.
- [42]张娜,张栋良,屈忠义,等. 不同尺度下内蒙古河套灌区有机质空间变异[J]. 生态学杂志,2016,35(3):630-640.
- [43]Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States Department of Agriculture. Soil health NRCS[EB/OL]. (2021-5-13)[2021-06-10]. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>.
- [44]Doran J W,Coleman D C,Bezdicsek D F,et al. Defining and assessing soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Madison WI, USA: Soil Science Society of America,1994:1-21.
- [45]Karlen D L,Ditzler C A,Andrews S S. Soil quality:why and how?[J]Geoderma,2003,114(3/4):145-56.
- [46]逢焕成,李玉义. 西北沿黄灌区盐碱地改良与利用[M]. 北京:科学出版社,2014:36.
- [47]博雅. 巴彦淖尔特产介绍[EB/OL]. (2020-05-27)[2021-04-11]. <http://shop.bytravel.cn/produce/index340.html>.
- [48]王鸣. 关于“华莱士”甜瓜来源的历史考证[J]. 中国瓜菜,2004(2):47.
- [49]陆占东,高培德. 磴口县华莱士蜜瓜气候适宜度分析[J]. 中国瓜菜,2019,32(8):129-133.
- [50]安路云农产品大数据信息查询系统. 河套蜜瓜[EB/OL]. (2020-03-21)[2021-04-11]. [https://baike.baidu.com/reference/3964287/c971\\_3-Dj5IoAwbWACVegbQ3oIcXvmfPdS9gErHhTsuwcH1FwvS8nPe-UEVa3iQ-PYNVUExb8wPkeh6-3QMeiQS81-OuaQ](https://baike.baidu.com/reference/3964287/c971_3-Dj5IoAwbWACVegbQ3oIcXvmfPdS9gErHhTsuwcH1FwvS8nPe-UEVa3iQ-PYNVUExb8wPkeh6-3QMeiQS81-OuaQ).
- [51]马波. 历史时期河套平原的农业开发与生态环境变迁[J]. 中国历史地理论丛,1992(4):121-136.
- [52]杨秀花,夏玉红,卫雄,等. 传统灌溉方式对河套灌区农田水环境的影响及防治对策[J]. 现代农业科技,2017,(1):171,177.
- [53]李哲,屈忠义,任中生,等. 河套灌区滴灌施肥对土壤氮挥发及玉米氮肥利用率的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(11):37-42,49.
- [54]刘鑫,郜翻身,高娃,等. 巴彦淖尔市主要农作物施肥情况调查及存在问题分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2018,39(3):15-24.
- [55]赵辛金,吴天生,钟晓宇,等. 广西典型岩溶区重金属高背景区农田土壤生态风险综合评价[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):252-261.
- [56]King G M,Henry K. Impacts of experimental flooding on microbial communities and methane fluxes in an urban meadow,Baton Rouge, Louisiana[J]. Frontiers in Ecology and Evolution,2019,7:288.
- [57]Unger I M,Kennedy A C,Muzika R M. Flooding effects on soil microbial communities[J]. Applied Soil Ecology,2009,42(1):1-8.
- [58]田雪. 粮农生物多样性保护及可持续利用的挑战与对策[J]. 湖北农业科学,2020,59(8):214-216.
- [59]孙旭,高岗,高永,等. 河套灌区典型农田防护林结构综合效益评价[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(7):126-130.
- [60]范玉洁. 河套灌区小美早杨农田防护林生态效益研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2004:32-33.