

伊朗盐湖分布和研究现状

李雷明¹, 苏一帆², 李玉婷¹, 闵秀云¹, 李庆宽^{1,3}, 任静¹, 周馨¹, 温小虎⁴

- (1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;
2. 华侨大学化工学院, 福建 厦门 361021; 3. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008;
4. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 内陆河流域生态水文重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 伊朗盐湖广泛分布, 具有丰富的盐湖矿产资源和盐湖生物资源。综合文献资料, 重点分析了伊朗盐湖的分布、研究热点、研究机构和研究人员等现状。伊朗盐湖主要为乌尔米耶湖、Meyghan 湖、Fesendooz 湖、马哈尔卢盐沼和 Tashk 湖; 干盐滩为 Houze Sultan 干盐滩、巴赫泰甘干盐滩、Gaav Khooni 干盐滩、纳马克干盐滩、Khur 干盐滩和 Haj Aligholj 干盐滩; 伊朗南部沿海盐类资源集中分布; 盐沙漠为达什特坎维和达什特鲁。分析得出伊朗盐湖研究领域论文呈整体增长态势, 伊朗盐湖主要的研究内容为盐湖生态环境、盐湖地质、水资源以及盐湖生物, 涉及科研机构 and 科研人员最多的研究领域为盐湖微生物。

关键词: 伊朗; 盐湖分布; 研究热点; 研究机构

中图分类号: P619.211

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2021)04-0100-11

湖泊含盐量是衡量湖水类型的标准, 通常把矿化度或者含盐量达到或超过 50 g/L 的湖泊划分为盐湖^[1]。伊朗大部分地区位于伊朗高原, 全国降水量多年平均 243 mm, 远低于全球平均值 835 mm, 并且时空分布不均, 全国 85% 的土地分布在干旱、半干旱和极度干旱区^[2]。由于气候干燥, 伊朗广泛发育不同类型的盐湖, 鉴于盐湖富含丰富的资源, 本文旨在对伊朗盐湖相关资料搜集、整理和分析, 了解伊朗关于盐湖发展现状和趋势, 为今后国内相关领域研究机构与人员对外合作提供信息支持。通过分析伊朗盐湖相关文献资料, 概述伊朗盐湖的分布特点、研究热点、研究机构和人员现状。基于 web of science 数据库核心集, 通过检索式 TS = ((“Iran”) AND (“salt lake *” OR “saline lake *” OR “salina” OR “salt flat” OR “brine *” OR “bittern” OR “playa”)) 提炼有关伊朗盐湖 2000 年至 2019 年之间研究文献产出,

对检索结果进行精炼和筛选, 共检索出 405 篇文献, 进行全文搜索并对相关文献进行分析和总结, 从文献计量和研究内容的角度展示伊朗盐湖领域学科发展的脉络, 为今后进一步把握盐湖研究领域重点方向与发展趋势提供参考信息。

1 伊朗盐湖分布

伊朗盐湖分布广泛, 伊朗盐湖的类型主要为盐湖、干盐滩、盐盖和盐沙漠, 盐湖主要有乌尔米耶湖、Meyghan 盐湖、Fesendooz 湖、Maharloo 盐湖和 Tashk 湖; 干盐滩为 Houze Sultan 干盐滩、Bakhtegan 干盐滩、Gaav Khooni 干盐滩、Namak 干盐滩、Khur 干盐滩和 Haj Aligholj 干盐滩。伊朗南部沿海地区分布大量盐类资源; 盐沙漠分别为达什特坎维和达什特鲁。

收稿日期: 2020-11-10; 修回日期: 2020-12-15

基金项目: 中国盐湖科技产业智库及锂资源评价大数据平台 (2019-ZJ-T02); 中国科学院“西部青年学者”B 类项目 (E1010CS07); 青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”(培养拔尖人才)项目 (E140WX42 和 E040CS35)

作者简介: 李雷明 (1987-), 女, 博士, 主要研究方向地球化学学科情报分析。Email: lileiming@isl.ac.cn。

通信作者: 苏一帆 (1995-), 女, 硕士, 研究方向海洋生物资源综合利用。Email: 874145612@qq.com;

李玉婷 (1987-), 女, 硕士, 主要研究方向知识产权。Email: liyuting@isl.ac.cn。

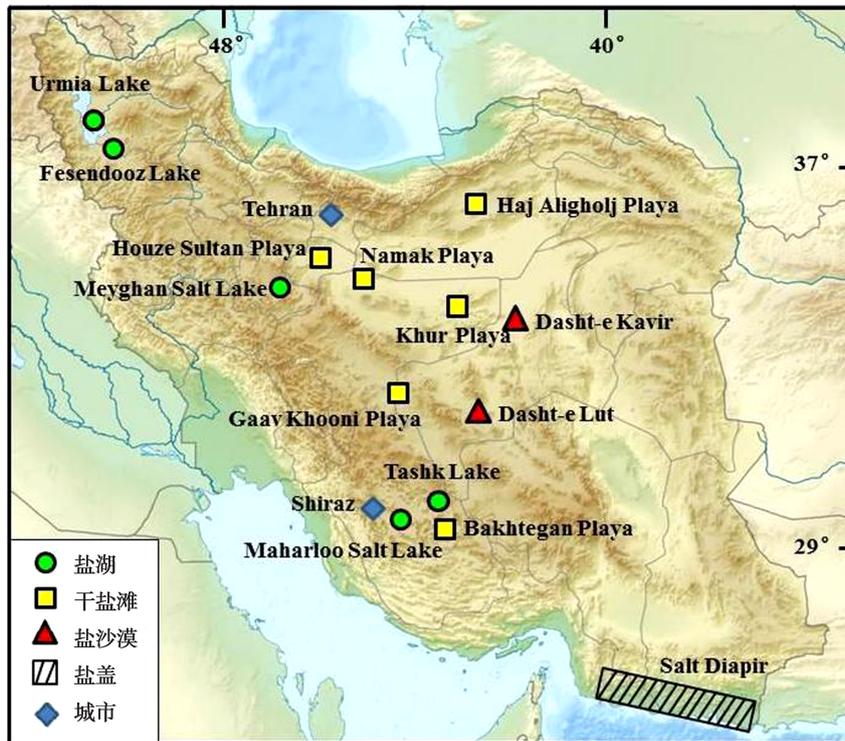


图1 伊朗主要盐湖分布图

Fig. 1 Distribution of salt lakes in Iran

1.1 盐湖

伊朗主要的盐湖见图1。其中乌尔米耶湖是伊朗的一个内陆盐湖,位于伊朗西北、西阿塞拜疆省和东阿塞拜疆省之间,在里海南部以西(37°28'N,45°26'E)。乌尔米耶湖是中东地区最大的盐湖,面积约为5 200 km²,长140 km,宽55 km,深度8~16 m,含盐量>200 g/L^[3]。Meyghan湖位于阿拉克市东北部12 km处(34°12'N,49°50'E),海拔1 670 m以上,其表面积约为112 km²,Meyghan湖是一个季节性湖泊,在雨季河流补给该湖,干旱时期成为干盐滩,雨季时湖水平均深度为0.8 m,最大深度为2 m^[4]。Fesendooz湖面积约20 km²(36°56'N,45°52'E),海拔1 278 m^[5];马哈尔卢盐沼(29°28'N,52°48'E)是伊朗设拉子地区高地的季节性盐湖,在设拉子东南27.0 km处,海拔1 455~2 990 m,湖水面积约216 km²,该盐湖富含钾和其它盐类^[6]。Tashk湖位于巴赫泰甘干盐滩旁(29°44'N,53°42'E),以海峡连接。Tashk湖原本是淡水湖,但由于其连接巴赫泰甘

湖,使得湖水矿化度增高^[7]。

1.2 干盐滩

Houze sultan干盐滩(34°50'N,50°56'E)位于库姆市和德黑兰之间(图1),海拔790 m,湖长30 km,宽15 km,该湖面积为106 km²^[8]。巴赫泰甘(Bakhtegan)干盐滩(29°20'N,53°55'E)是伊朗南部法尔斯省的一个盐湖,位于设拉子以东约160 km,距离内伊里兹镇以西15 km(图1)。巴赫泰甘湖的面积为3 500 km²,是伊朗第二大湖,科尔河补给该湖泊,由于当地在科尔河上建造了水坝,大大减少了进入湖泊的水量,巴赫泰甘湖现已完全干涸^[9]。Gaav Khooni干盐滩位于伊斯法罕东南140 km处(52°58'N,32°20'E),它是伊朗中部罕见的湿地之一,对鸟类迁徙起到至关重要的作用,是国际公认的自然保护区(图1);Gaav Khooni湖位于Gaav Khooni地区的中心,覆盖面积达2 800 km²,在这个区域的土壤为盐碱土。该湖是咸水湖,主要补给河流是Zarrineh Roud河,该地区年降水量是83 mm,旱季从三月持续到十

月中旬,温度变化为 6.6 °C 到 37.4 °C^[10]。纳马克(Namak)干盐滩(34°30'N,51°52'E)位于库姆市以东约 100 km,喀山 60 km 处,海拔 790 m(图 1),位于伊斯法罕省西北部伊朗中部地区,形状为方向朝北的三角形;纳马克湖的面积约为 1 800 km²,但大部分都是干盐沼,湖泊的深度仅为 45 cm 至 1m,库姆河是该湖泊最主要的补给水源,干盐滩盐层深度大约在 5 m 至 54 m 之间,卤水达到饱和状态,主要组分为 NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂和 MgSO₄^[11]。Khur 干盐滩位于塔巴斯沿线 40 km 处(33°28'N,54°16'E),该干盐滩的面积大约 2 000 km²,形状似三角形。Haj Aligholj 干盐滩(35°56'N,54°42'E)位于伊斯东北部。在伊朗南部沿海地区分布大量盐类资源(盐丘)^[12],具体资源种类和资源量未知。

1.3 盐沙漠

达什特坎维(Dasht-e Kavir)是位于伊朗高原中部的大型盐沙漠(34°44'N,54°49'E),长和宽分别为 800 km 和 320 km,总面积达 77 600 km²^[13],是世界上第 26 大沙漠(图 1),这一沙漠从西北部的阿尔伯兹山脉一直延伸到东南部的达什特鲁沙漠,主要分布在伊朗的科拉桑省、塞姆南省、德黑兰、伊斯法罕省和亚兹德省。达什特鲁(Dasht-e Lut)是位于伊朗科尔曼、锡斯坦和巴卢切斯特省的盐沙漠(30°36'N,54°48'E)^[14],是世界第 27 大沙漠(图 1)。

2 伊朗盐湖主要研究内容

伊朗盐湖研究涉及的内容主要为盐湖生态环境、盐湖地质、水资源以及盐湖生物等,文献资料显示目前伊朗盐湖的生态环境相对恶劣,需控制盐湖周边环境的污染^[15-17],伊朗大部分盐湖出现湖面积缩小和湖水位下降的问题。已有文献按盐湖相关生物指标对盐湖的古环境进行了判断和分析,对盐湖菌类和卤虫研究较为广泛和深入,发现了较多新的菌类和卤虫种属。

2.1 盐湖生态环境

伊朗盐湖生态环境主要研究对象为盐湖区域大气、水资源和沉积物^[18-20],文献资料显示伊朗

一些盐湖生态环境问题与人为因素有关。盐尘暴是伊朗大气污染研究的重点,例如对乌尔米耶湖地区气溶胶光学厚度进行研究发现,湖周边和外围区域盐排放量比湖区排放量更高,放牧等人为活动增加了盐类对大气的污染^[21]。2013 年 1~9 月在乌尔米耶湖南北的采样点采集大气颗粒物,粒径分别小于 10 μm、2.5 μm 和 1 μm,密度分别为 260 ± 106 μg/m³、180 ± 73 μg/m³、30 ± 8 μg/m³和 25 ± 7 μg/m³^[19]。盐尘暴与普通的沙尘暴不同,尤其是悬浮颗粒物(PM)来源、化学成分、粒度和循环过程。同年对乌尔米耶湖盐尘组成分析发现,该区域水溶性盐占 TSP 和 PM10 总质量的 3%~20%,由于乌尔米耶湖干枯,导致湖周围含盐和含有重金属的粉尘影响周边人群的健康。研究发现白杨可用于监测乌尔米耶湖盐尘,葡萄具有中等耐受力,可种植在湖周边控制湖周边空气污染^[20]。盐湖水资源研究是伊朗盐湖研究的重点内容之一,对乌尔米耶湖进行 2D 和伪 3D 建模研究湖水流动及盐度,发现过去 30 年人类活动对湖水的生态环境影响较大,生态环境恶化比较严重^[22]。位于乌尔米耶湖西面和乌尔米耶市北面的温泉硼污染比较严重,污染面积 250 km²,硼含量最高达到 451 mg/L^[23]。沉积物污染主要研究内容是沉积物中重金属的污染现状,例如对 Meyghan 湖沉积物痕量金属的环境影响进行分析,发现 Ni、Zn 和 Cr 三种金属对该湖的水生生物有不利的影响^[4]。巴赫泰甘湖沉积物中重金属污染较为严重,最重要的影响因素是在湖北缘开采铬铁矿和石料的矿区^[24]。马哈尔卢盐沼沉积物微量元素(As、Cr、Cu、Cd、Pb、Zn 和 Ni)含量较高,尤其是 Ni 和 Cd 元素,可交换组分比较高的元素仅有 Cr,说明人为因素对该盐沼的沉积物微量元素有一定的影响^[25]。

2.2 盐湖地质

盐湖地质相关研究主要涉及沉积学和地球化学等领域,例如岩芯样本分析乌尔米耶湖植被情况时发现,晚更新世花粉记录跨越了 20 万年,是近东大陆内部最长的孢粉记录^[26]。Riella 孢子可用于指示半干旱地区盐湖环境中湖水位的变化,乌尔米耶湖长花粉记录中 Riella 孢子的增加与间冰期高水位间隔记录一致^[27]。采用沉积物岩芯

分析乌尔米耶湖过去 2 550 年的气候、植被、水位及人类影响,研究发现扎格罗斯高地和阿塞拜疆区域森林覆盖率在最近几十年达到了最小值,而人类活动和气候干旱化成为乌尔米耶湖水位急剧下降最有可能的原因^[28]。孢粉记录表明,在全新世晚期马哈尔卢盐沼主要生长 *Quercus brantii* 树木和 *Pistacia Amygdalus* 灌木^[29]。地貌指数显示西南 Ghareh 山前具有较强的构造活动,与东北 Ahmadi 山前构造活动较少形成对比。与马哈尔卢盐沼的地震构造资料一致,对冲断层谷构造环境也解释了盐湖的地质演化过程^[6]。Meyghan 干盐滩沉积物由非常细的沉积物组成,包含蒸发岩和碎屑矿物,蒸发岩矿物包括方解石、石膏、石盐、钙芒硝和无水芒硝,而碎屑矿物为石英和粘土;方解石丰度从盆地边缘到中部逐渐减少,但石膏和石盐丰度从边缘到中心呈上升趋势,这一观察结果与其他地区的总体分区一致。方解石和石膏的浓度分布随深度变化有上升和下降的不同,这可能是由于气候因素造成的^[30]。伊朗盐湖资源储量是地球化学的研究重点,分析发现乌尔米耶湖水盐度 217 ~ 320 g/L,属 Na - Mg - Cl - SO₄ 型盐湖,春季含盐量 8% ~ 11%,秋季含盐量 26% ~ 28%,湖水中的主要阳离子包括 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Li⁺ 和 Mg²⁺,而 Cl⁻、SO₄²⁻ 和 HCO₃⁻ 为主要的阴离子。乌尔米耶湖资源含量丰富,由于流入乌尔米耶湖河流流量减少,从 2001 年开始湖水的盐度达到 300 g/L 以上。地球化学分析得出乌尔米耶湖 K 和 Mg 平均含量达到 1.48 g/L 和 6.5 g/L, Br、F、Li 和 B 最高含量均小于 50 × 10⁻⁶,未达到可开采的含量^[31]。另有研究表明,乌尔米耶湖中 Na⁺、Mg²⁺、K⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻ 和 HCO₃⁻ 的平均浓度分别为 125 g/L, 11.3 g/L, 2.63 g/L, 0.55 g/L, 216 g/L, 22.4 g/L 和 1.38 g/L^[32]。中国科学院青海盐湖研究所 1995 年对乌尔米耶湖卤水进行了研究,研究结果表明该湖的溴和钠资源具有重要的开发价值^[33]。马哈尔卢盐沼从早期(1970 年)的 Mg - SO₄ - Cl 型盐湖转变为 Na - Mg - Cl - (SO₄) 型盐湖, Mg²⁺、Cl⁻ 和 Na⁺ 含量逐年发生变化,1970 年分别为 56.506 g/L, 0.473 g/L 和 0.313 g/L, 2002 年分别为 1.313 g/L, 10.409 g/L 和 11.505 g/L, 2005 年分别为 0.396 g/L, 3.474 g/L 和 3.671 g/L^[34]。Khur 干盐滩含有

Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、Cl⁻ 和 SO₄²⁻, 六种成分的平均含量分别为 35.0 g/kg、5.5 g/kg、15.0 g/kg、75.8 g/kg、23.8 g/kg 和 0.1 g/kg, 对 Khur 干盐滩分成北面、中心和南面三部分进行 K⁺ 和 KCl 测定,在干盐滩北面 K 和 KCl 年平均含量分别为 3.283 g/L 和 6.259 g/L,在干盐滩中心 K 和 KCl 年平均含量分别为 3.982 g/L 和 7.593 g/L,在干盐滩南面 K⁺ 和 KCl 年平均含量分别为 4.017 g/L 和 7.659 g/L。Khur 干盐滩 K⁺ 和 KCl 年平均含量分别为 3.771 g/L 和 7.075 g/L, Khur 干盐滩表层卤水 K⁺ 和 KCl 含量高于深层卤水^[35]。

2.3 盐湖水资源

由于伊朗大部分区域分布在干旱、半干旱和极度干旱区,气候干燥,同时当地规划对区域水资源的分布产生了一定的影响,盐湖面积缩减比较严重。例如盐湖面积和湖水位的变化方面,科尔河是伊朗巴赫泰甘湖主要的补给河,但由于现在农业灌溉的过度用水,该湖目前已接近干涸;分析表明巴赫泰甘湖需水量最小值保持在 6.8 亿 m³,理想水平为 18.7 亿 m³^[9]。分析伊朗南部 1973 年至 2013 年巴赫泰甘湖卫星图像,通过 CA 模型模拟发现巴赫泰甘湖在最近缩减 42% 的基础上,未来将再缩减 45%^[36]。同时,采用遥感数据分析发现乌尔米耶湖面积呈现不断缩小的趋势,该湖泊从 2002 年起每年水位下降 34 ± 1 cm,水面损失平均速度为 220 ± 6 km²/yr,表明该湖在过去 14 年中已经损失了约 70% 的表面积,该湖在 1990 ~ 2010 年期间,湖水体积从 25 km³ 缩减至 11 km³,海拔由 1 275 m 降低至 1 270 m^[37]。盐分饱和的地区急剧增加,最主要的原因是由于当地规划建设大坝导致水量减少以及农业用水量的增加^[38]。对比万湖和乌尔米耶湖在过去 20 年的水位时间序列的变化,发现万湖的水位时间序列的变化相对平稳,但乌尔米耶湖却不容乐观^[39]。另有研究发现,在过去的几十年里塞万湖和凡湖湖面积有所增加,而乌尔米耶湖在 2010 ~ 2015 年间湖岸线则一直在后退,该湖的湖面积下降了约 65.23%,远远超过了之前的研究结果(从 25% 到 50%)^[40]。研究发现,为拯救乌尔米耶湖,应保证 17% 至 35% 河流的年平均流入量才能够维持乌尔米耶湖最低生态需求量,因此布坎大坝应将环

境水流量从目前的 9% 提高到 35%^[41], 并通过多种分析制定了战略可持续规划框架, 以缓解乌尔米耶湖缩小所引起的环境问题。

2.4 盐湖生物

在盐湖中能够生存的生物多为嗜盐细菌和卤虫。中国对盐湖的研究多为提取分离矿物资源, 对盐湖生物资源的研究相对较少^[42], 而伊朗盐湖有大量的文献是研究盐湖环境中的菌类和卤虫^[43-44]。例如从巴赫泰甘湖提取一种新的中度嗜盐革兰氏阴性弯曲杆状细菌, 命名为 AF-2004^T^[45]。从乌尔米耶湖分离出的极端嗜盐古细菌能够产生胡萝卜素, 这种细菌可以作为未来生产胡萝卜素的研究方法之一; 同时研究盐度对 *Dunaliella tertiolecta* DCCBC26 生产胡萝卜素的影响, 结果表明在 0.5 M NaCl 的盐度下, 在固定生长阶段检测到的类胡萝卜素含量最高 (11.73 mg/L)^[46]; 从乌尔米耶湖提取出来的嗜盐古生物 *Haloarcula* sp. IRU1 在不同的条件下降解石化废水制备聚 3-羟基丁^[47]。从马哈尔卢盐沼提取的内生芽胞杆菌能够产生聚羟基烷酸酯^[48]。从纳马克干盐滩中分离出多种新的革兰氏染色阳性的中度嗜盐菌, 分别命名为 A76^T、P4B^T、B6B^T、H9B^T、G8B^T、E33^T、X4B^T 和 X5B^T 等^[49-52]; 多种革兰氏染色阴性嗜盐细菌也被分离出来, 包括 IA16^T、CB7^T、DGO^T、A24^T、M9B^T 和 IC38^T 等^[53-55]。卤虫是伊朗盐湖生物的另一研究重点, 例如马哈尔卢盐沼卤虫去壳囊无节幼体 EPA 和 n-3HUFA 含量显著高于乌尔米耶湖和 Meyghan 湖的卤虫去壳囊无节幼体^[56]。基于 mtDNA 序列和 ISSR 基因组指纹图谱对乌尔米耶湖卤虫细粒群体遗传结构进行分析, 发现该卤虫表现出高水平单倍型以及核苷酸多样性低的特点^[57]。采用聚合酶链式反应方法分析乌尔米耶湖不同种类的卤虫生态种群的遗传分化, 区分了核苷酸差异和遗传结构模式, 表明该湖的卤虫可能存在遗传分化^[58]。对比乌尔米耶湖、马哈尔卢盐沼、Meyghan 湖和 Fesendooze 湖四个盐湖卤虫生物特征, 发现乌尔米耶湖卤虫泡囊的直径、无节幼体总长度显著大于其他卤虫^[15]。乌尔米耶湖、马哈尔卢盐沼和 Meyghan 湖的卤虫卵基本成分和

脂肪酸的成分差异明显, 乌尔米耶湖卤虫卵蛋白质和能量含量最高, 马哈尔卢盐沼卤虫卵脂质含量最高^[59]。

3 伊朗盐湖研究现状

3.1 研究概况

对 2000~2019 年伊朗盐湖相关文献进行统计后显示, 伊朗盐湖研究领域年度发文情况在 2005 年以前增长缓慢, 从 2006 年以后出现较快速增长趋势, 但 2007、2008、2010 和 2011 年发文量出现小幅度回落, 2012 年以后每年的发文量都超过了 30 篇 (见图 2), 反应了伊朗盐湖研究领域论文整体增长态势。

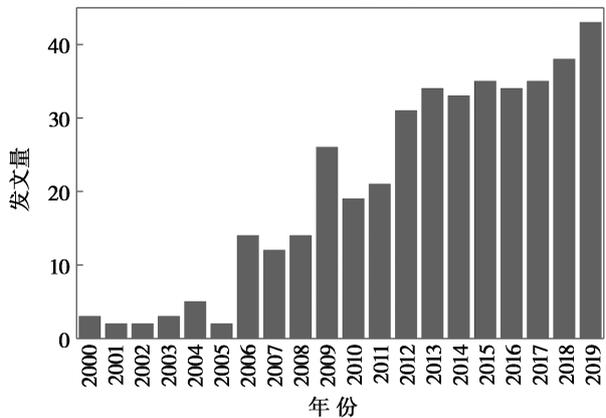


图 2 2000~2019 年伊朗盐湖发文量年度变化

Fig. 2 The annual papers distribution about salt lakes in Iran from 2000 to 2019

如表 1 所示, 2000~2019 年伊朗盐湖研究发文占绝对优势的学科为生态环境科学, 占总发文量 54.45%, 由此可见在伊朗盐湖相关研究中对生态环境的重视。发文量超过 20% 的学科分别为地质学、水资源、农业、海洋生物学、物理科学、生物化学和分子生物学; 其他学科也占一定的比例, 如地理学、科学技术、基因遗传学、微生物学、地球化学、地球物理、工程学、生命科学、生物医学、能源燃料、动物学、植物科学、生物多样性保护、气象学、大气科学和数学, 其发文量也占到了总发文量的 10% 以上。从学科分布上分析, 伊朗盐湖更重视生态环境和与生物相关学科的研究。

表1 伊朗盐湖研究主要涉及的学科

Table 1 The related subjects of the salt lake research in Iran

序号	学科领域	文章篇数	所占比例/%	序号	学科领域	文章篇数	所占比例/%
1	生态环境科学	221	54.43	11	微生物学	63	15.52
2	地质学	122	30.05	12	地球化学、地球物理	59	14.53
3	水资源	105	25.86	13	工程学	58	14.29
4	农业	102	25.12	14	生命科学、生物医学	57	14.04
5	海洋生物学	98	24.14	15	能源燃料	53	13.05
6	物理科学	98	24.14	16	动物学	53	13.05
7	生物化学、分子生物学	92	22.66	17	植物科学	50	12.32
8	地理学	71	17.49	18	生物多样性保护	45	11.08
9	科学技术	70	17.24	19	气象学、大气科学	44	10.84
10	基因遗传学	63	15.52	20	数学	43	10.59

2000~2019年伊朗盐湖研究发文重点期刊分布见表2,其中Environmental Earth Sciences上刊载的论文最多,总数达到了23篇,占到了所有发文量的5.67%,2019年的影响因子为2.18。环境科学和生态学领域的期刊还有Water Resources Management,在该期刊上伊朗相关研究发表文章共计5篇。以上两本期刊在该领域影响力较强。International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology上的发文为总量的第2位,总量达到了22篇,说明伊朗盐湖相关研究中微生物学研究相对比较深入。药学期刊Iranian Journal

of Pharmaceutical Research占到发文量的4.92%;地学相关的期刊有Carbonates and Evaporites和Ore Geology Reviews,发文量分别为19篇和11篇,两种期刊影响力均较强,说明伊朗盐湖地学相关内容研究也相对广泛。重点期刊中涉及内容较多的还有农林科学和工程技术,排名前十的期刊中仅Journal of Animal and Veterinary Advances为非SCI/SCIE收录,其余期刊均为SCI/SCIE收录,从发文期刊的质量来看,伊朗盐湖研究领域整体研究水平较高。

表2 伊朗盐湖研究发文重点期刊分布

Table 2 The distribution of the key periodical related to the Iran's salt lakes paper publication

序号	重点期刊	文章篇数	所占比例/%	序号	重点期刊	文章篇数	所占比例/%
1	Environmental Earth Sciences	23	5.67	6	Iranian Journal of Fisheries Sciences	8	1.97
2	International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	22	5.42	7	Desalination	7	1.72
3	Iranian Journal of Pharmaceutical Research	20	4.92	8	Journal of Agricultural Science and Technology	6	1.48
4	Carbonates and Evaporites	19	4.68	9	Journal of Animal and Veterinary Advances	5	1.23
5	Ore Geology Reviews	11	2.71	10	Water Resources Management	5	1.23

3.2 主要研究机构

在伊朗盐湖研究领域,伊朗参与发文在国家排名中占绝对优势,405篇文献中有347篇均有参与,占总发文量的85.68%,其次是德国和西班牙,

牙,发文量分别为44和33篇,中国、美国、英国和加拿大参与研究的程度相当,均达到20篇以上。与伊朗盐湖研究有合作的国家还有土耳其、希腊、意大利、法国、瑞典、澳大利亚、荷兰和芬兰,但这些国家的发文量较少,均少于12篇以下(图3a)。

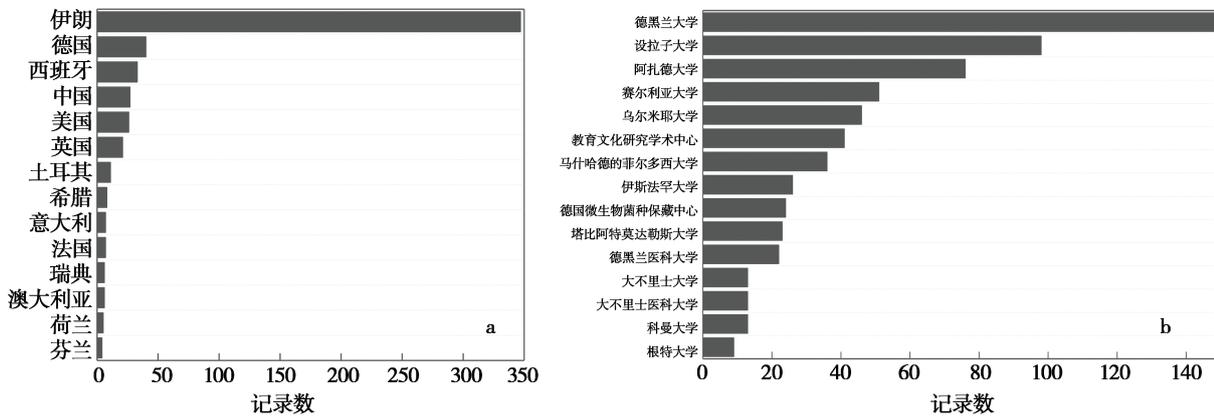


图 3 重点研究国家(a)及研究机构(b)

Fig. 3 The key research countries(a)and research institutions(b)

在伊朗盐湖研究领域参与发文的机构比较多,挑选发文量占前五的机构(图 3b),其中属于伊朗的机构占绝大部分。伊朗的德黑兰大学是发文量最多的机构,而且在该领域的整体科研实力也较强,研究内容多涉及盐湖微生物学科。紧随其后的是伊朗设拉子大学和阿扎德大学,发文量分别为 98 篇和 76 篇,其中设拉子大学涉及的领域有微生物和地球科学,阿扎德大学涉及的领域大部分为盐湖地质研究领域。塞维利亚大学是西班牙南部规模最大的大学,参与伊朗盐湖研究中涉及的领域为微生物学,该学校合作最多的机构为伊朗德黑兰大学。乌尔米耶大学、教育文化研究学术中心、马什哈德的菲尔多西大学和伊斯法罕大学等伊朗的研究机构,发文量均在 25 篇以上,涉及研究领域大部分为微生物。德国微生物菌种保藏中心是欧洲规模最大的生物资源中心,也开展了伊朗盐湖生物菌种的研究,多与伊朗机构进行合作。塔比阿特莫达勒斯大学、德黑兰医科大学、科曼大学、大不里士医科大学和大不里士大学发文量范围为 13~23 篇,均为伊朗机构。排名十五的根特大学是比利时学术排名第一的世界顶尖研究型大学,合作的单位中有中国海洋大学。

3.3 主要研究人员

分析在伊朗盐湖研究参与发文最多的 10 位科学家,从表 3 中发现伊朗德黑兰大学 Amooze-gar, Mohammad Ali 发文数量最多,占总发文量的 15.31%;其次是塞维利亚大学的 Ventosa, Antonio

和 Sanchez - Porro, Cristina, 研究领域均为微生物;Schumann, Peter 发文量为 26,来自德国微生物菌种保藏中心;Bagheri, Maryam 和 Fazeli, Seyed Abolhassan Shahzadeh 发文量相同,占总发文量 5.68%,分别来自德黑兰大学和伊朗生物资源中心。另外, Makhdoumi - Kakhki, Ali, Zarei, Mehdi, Raeisi, Ezzat 和 Sproeer, Cathrin 发文量也均超过 10 篇。发文量排名前十的作者研究领域大部分为微生物,其中仅有 Raeisi, Ezzat 的研究领域为地球科学,说明伊朗盐湖相关研究中研究热度最高的是微生物领域。

4 总结

通过对伊朗盐湖相关文献的分析,本文得出以下结论。

1) 伊朗盐湖主要分为四种类型盐湖。伊朗盐湖主要为乌尔米耶湖、Meyghan 盐湖、Fesendooz 湖、Maharloo 盐湖和 Tashk 湖;干盐滩为 Houze Sultan 干盐滩、Bakhtegan 干盐滩、Gaav Khooni 干盐滩、Namak 干盐滩、Khur 干盐滩和 Haj Aligholj 干盐滩;伊朗南部沿海地区分布大量盐类资源;盐沙漠分别为达什特坎维和达什特鲁。

2) 伊朗盐湖主要研究内容为盐湖生态环境、盐湖地质、水资源以及盐湖生物等。目前伊朗生态环境逐渐恶化,需控制盐湖区周边生态环境;伊朗盐湖出现水资源缺乏的问题;对盐湖卤虫和菌类研究相对广泛和深入,盐湖微生物是伊朗盐湖

表3 重点作者及研究领域
Table 3 The key authors and research field

序号	作者	记录数	百分比/%	所属机构	研究领域
1	Amoozegar, Mohammad Ali	62	15.31	德黑兰大学	微生物
2	Ventosa, Antonio	48	11.85	塞维利亚大学	微生物
3	Sanchez – Porro, Cristina	27	6.67	塞维利亚大学	微生物
4	Schumann, Peter	26	6.42	德国微生物菌种保藏中心	微生物
5	Bagheri, Maryam	23	5.68	德黑兰大学	微生物
6	Fazeli, Seyed Abolhassan Shahzadeh	23	5.68	伊朗生物资源中心	微生物
7	Makhdoumi – Kakhki, Ali	12	2.96	马什哈德的菲尔多西大学	微生物
8	Zarei, Mehdi	12	2.96	设拉子大学	微生物
9	Raeisi, Ezzat	11	2.72	设拉子大学	地球科学
10	Sproeer, Cathrin	11	2.72	德国微生物菌种保藏中心	微生物

的研究热点。

3) 精炼和筛选伊朗盐湖相关研究 2000 至 2019 年文献产出 405 篇, 伊朗盐湖研究领域论文整体呈增长态势, 伊朗盐湖研究发文占绝对优势的学科为生态环境科学, 表明伊朗盐湖相关研究中对生态环境的重视, 地质学、水资源、农业、海洋生物学、物理科学、生物化学和分子生物学也占一定比例。从发文期刊的质量来看, 伊朗盐湖研究领域整体研究水平较高。在伊朗盐湖研究领域, 伊朗参与发文在国家排名中占绝对优势, 德国、西班牙、中国、美国、英国和加拿大发文量均达到 20 篇以上; 在伊朗盐湖研究领域参与发文的机构比较多, 其中属于伊朗的机构占绝大部分。发文量排名前十的作者研究领域大部分为微生物, 说明伊朗盐湖相关研究中研究热度最高的是微生物领域。

参考文献:

- [1] 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等. 中国盐湖志 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 秦伟, 赵磊磊, 刘孝盈. 伊朗土壤侵蚀及河流泥沙研究 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 115 – 119.
- [3] Djamali M, De Beaulieu J, Shah – hosseini M, et al. A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, Nw Iran [J]. Quaternary Research, 2008, 69(3): 413 – 420.
- [4] Ghadimi F. Assessment of the sources of chemical elements in

sediment from Arak Mighan Lake [J]. International Journal of Sediment Research, 2014, 29: 159 – 170.

- [5] Peykaran M N, Vahabzadeh H, Hafezieh M, et al. Biometrical characters of Artemia from four Iranian regions [J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2011, 10(2): 294 – 303.
- [6] Faghieh A, Samani B, Kusky T, et al. Geomorphologic assessment of relative tectonic activity in the Maharlou Lake Basin, Zagros Mountains of Iran [J]. Geological Journal, 2012, 47: 30 – 40.
- [7] Haghghi A T, Kløve B. Design of environmental flow regimes to maintain lakes and wetlands in regions with high seasonal irrigation demand [J]. Ecological Engineering, 2017, 100: 120 – 129.
- [8] Tali M G, Sabokkhiz F, Alinoori K. Reconstruction of spatiotemporal change of Hoz – e – Sultan playa [J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2018, 12(3): 035009.
- [9] Sajedipour S, Zarei H, Oryan S. Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: A case study of Bakhtegan Lake, Iran [J]. Ecological Engineering, 2017, 100: 246 – 255.
- [10] Hadi M R, Shariati M, Afsharzadeh S. Microalgal biotechnology: Carotenoid and glycerol production by the green algae *Dunaliella* isolated from the Gave – Khooni salt marsh, Iran [J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2008, 13: 540.
- [11] Bayat B, Zahraie B, Taghavi F, et al. Evaluation of spatial and spatiotemporal estimation methods in simulation of precipitation variability patterns [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 113: 429 – 444.
- [12] Nekouei, E., Zarei, M. Karst hydrogeology of Karmustadj salt diapir, southern Iran [J]. Carbonates Evaporites, 2017, 32,

- 315 – 323.
- [13] Nasab H V , Clark G A , Torkamandi S . Late Pleistocene dispersal corridors across the Iranian Plateau; A case study from Mirak, a Middle Paleolithic site on the northern edge of the Iranian Central desert (Dasht - e Kavir) [J]. *Quaternary International*, 2013, 300; 267 – 281.
- [14] Kamali K , Anderson S C . A New Iranian Phrynocephalus (Reptilia; Squamata; Agamidae) from the hottest place on earth and a key to the genus Phrynocephalus in southwestern Asia and Arabia. [J]. *Zootaxa*, 2015, 3904(1); 249 – 260.
- [15] Sheida J, Sajad A H, Reza N G. Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations, northwestern Iran [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2016, 61(10); 1759 – 1769.
- [16] Abbaspour M, Javid A H, Mirbagheri S A, *et al.* Investigation of lake drying attributed to climate change [J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2012, 9; 257 – 266.
- [17] Hassanzadeh E, Zarghami M, Hassanzadeh Y. Determining the Main Factors in Declining the Urmia Lake Level by Using System Dynamics Modeling [J]. *Water Resour Manage*, 2012, 26; 129 – 145.
- [18] Alizadeh - Choobari O, Ahmadi - Givi F, Mirzaei N, *et al.* Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia [J]. *International Journal Climatology*, 2016, 36; 4276 – 4286.
- [19] Akbar G, Ramin N, Mohammad S H, *et al.* Elemental composition of particulate matters around Urmia Lake, Iran [J]. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 2017, 99(1); 17 – 31.
- [20] Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand M S, *et al.* Characterization of saline dust emission resulted from Urmia Lake drying. *Journal Environmental Health Science and Engineering*, 2015, 13; 82.
- [21] Mardi A, Khaghani H, *et al.* The Lake Urmia environmental disaster in Iran; A look at aerosol pollution. [J]. *The Science of the total environment*, 2018, 633; 42 – 49.
- [22] Zeinoddini M, Tofighi M A, Bakhtiari A. Assessment of 2DH and pseudo - 3D modelling platforms in a large saline aquatic system; Lake Urmia, Iran [J]. *Hydrological Process*, 2014, 28; 4953 – 4970.
- [23] Assadpour M, Heuss - Aßbichler S, Bari M J. Boron Contamination in the West of Lake Urmia, NW Iran, Caused by Hydrothermal Activities [J]. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2017, 17; 554 – 557.
- [24] Ardebili O , Didar P , Nia S S . Distribution and probable origin of heavy metals in sediments of Bakhtegan Lake, Fars province, Iran [J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2006, 70 (18 - supp - S); A22 – A22.
- [25] Forghani G, Moore F, Lee, S. *et al.* Geochemistry and speciation of metals in sediments of the Maharlou Saline Lake, Shiraz, SW Iran [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2009, 59; 173 – 184.
- [26] Djamali M, Beaulieu J L, Shah - hosseini M, *et al.* A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran [J]. *Quaternary Research*, 2008, 69; 413 – 420.
- [27] Djamali M, Kürschner H, Akhiani H, *et al.* Palaeoecological significance of the spores of the liverwort *Riella* (Riellaceae) in a late Pleistocene long pollen record from the hypersaline Lake Urmia, NW Iran [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2008, 152(1 - 2); 66 – 73.
- [28] Talebi T , Ramezani E , Djamali M , *et al.* The Late - Holocene climate change, vegetation dynamics, lake - level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran [J]. *Quaternary International*, 2016, 408; 40 – 51.
- [29] Djamali M , Beaulieu J L D , Miller N F , *et al.* Vegetation history of the SE section of the Zagros Mountains during the last five millennia; a pollen record from the Maharlou Lake, Fars Province, Iran [J]. *Vegetation History & Archaeobotany*, 2009, 18(2); 123 – 136.
- [30] Abdi L, Rahimpour - Bonab H, Mirmohammad - Makki, M, *et al.* Sedimentology, mineralogy, and geochemistry of the Late Quaternary Meyghan Playa sediments, NE Arak, Iran; palaeoclimate implications [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, 11, 589.
- [31] Alipour S. Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran [J]. *Saline System*, 2006, 2; 9.
- [32] Karbassi A, Bidhendi G N, Pejman A, *et al.* Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2010, 36; 419 – 424.
- [33] 马培华, 李海民, 张彭熹, 等. 乌尔米耶盐湖的综合利用 (英文) [J]. *盐湖研究*, 1999, 7(1); 11 – 20.
- [34] Fayazi F, Lak R, Nakhaei M, *et al.* Hydrogeochemistry and brine evolution of Maharlou Saline Lake, southwest of Iran [J]. *Carbonates and Evaporites*, 2007, 22(1); 33 – 42.
- [35] Aflaki E . Exploration of potassium chloride from Khur Playa [J]. *Acta Montanistica Slovaca*, 2008, 13(3); 318 – 327.
- [36] Arsanjani T J, Javidan R, Nazemosadat M J, *et al.* Spatiotemporal monitoring of Bakhtegan Lake's areal fluctuations and an exploration of its future status by applying a cellular automata model [J]. *Computers & Geosciences*, 2015, 78; 37 – 43.
- [37] Tourian M J, Elmi O, Chen Q, *et al.* A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 156; 349 – 360.
- [38] Hesami A, Amini A. Changes in irrigated land and agricultural water use in the Lake Urmia basin [J]. *Lake and Reservoir Management*, 2016, 32(3); 288 – 296.
- [39] Jalili S, Hamidi S A, Morid S, *et al.* Comparative analysis of Lake Urmia and Lake Van water level time series [J]. *Arab J Geosci*, 2016, 9; 644.
- [40] Alireza T, Masih R, Iraj E, *et al.* A Spaceborne Multisensory,

- Multitemporal Approach to Monitor Water Level and Storage Variations of Lakes[J]. *Water*,2016,8,478.
- [41] Yasi M, Ashori M. Environmental Flow Contributions from In – Basin Rivers and Dams for Saving Urmia Lake [J]. *Iranian Journal of Science & Technology Transactions of Civil Engineering*,2016,41:55 – 64
- [42] 张彭熹,张保珍,唐渊,等. 中国盐湖自然资源及其开发利用[M]. 北京:科学出版社,1999
- [43] Peykaran M N ,Vahabzadeh H ,Hafezieh M , *et al.* Biometrical characters of *Artemia* from four Iranian regions [J]. *Iranian Journal of Fisheries sciences*,2011,10(2):294 – 303.
- [44] Rahmani R ,Zarrini G ,Acin F , *et al.* Identification of extremely halophilic archaea associated with adult *Artemia urmiana*[J]. *Microbiology*,2016,85(3):386 – 388.
- [45] Amoozegar M A,Schumann P,Hajighasemi M, *et al.* *Salinivibrio proteolyticus* sp. nov. , a moderately halophilic and proteolytic species from a hypersaline lake in Iran [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2008, 58: 1159 – 1163.
- [46] Fazeli M R,Tofighi H,Samadi N, *et al.* Effects of salinity on β – carotene production by *Dunaliella tertiolecta* DCCBC26 isolated from the Urmia salt lake, north of Iran [J]. *Bioresource Technology*,2006,97:2453 – 2456.
- [47] Taran M. Utilization of petrochemical wastewater for the production of poly(3 – hydroxybutyrate) by *Haloarcula* sp. IRU1 [J]. *Journal of Hazardous Materials*,2011,188:26 – 28.
- [48] Negintaji N, Rasoul – Amini S, Ghasemi Y. Bioproduction of polyhydroxyalkanoates by *Bacillus endophyticus* isolated from the Maharlou salt lake in south of Iran. *Journal of Biotechnology*,2010,150S:S1 – S576.
- [49] Amoozegar M A,Bagheri M ,Makhdoumi – Kakhki A , *et al.* *Aliicoccus persicus* gen. nov. sp. nov. a halophilic member of the Firmicutes isolated from a hypersaline lake [J]. *International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology*,2014,64: 1964 – 1969.
- [50] Didari M, Amoozegar M A, Bagheri M, *et al.* *Alteribacillus bidgolensis* gen. nov. , sp. nov. , a moderately halophilic bacterium from a hypersaline lake, and reclassification of *Bacillus persepolensis* as *Alteribacillus persepolensis* comb. nov. [J]. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 2012,62:2691 – 2697.
- [51] Mehrshad M, Amoozegar M A, Didari M, *et al.* *Bacillus halosaccharovorans* sp. nov. , a moderately halophilic bacterium from a hypersaline lake [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*,2013,63:2776 – 2781.
- [52] Bagheri M, Didari M, Amoozegar M A, *et al.* *Bacillus iranensis* sp. nov. , a moderate halophile from a hypersaline lake [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*,2012,62:811 – 816.
- [53] Amoozegar M A, Makhdoumi – Kakhki A, Mehrshad M, *et al.* *Halovivax limisalsi* sp. nov. , an extremely halophilic archaeon from hypersaline mud [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*,2014,64:3422 – 3426.
- [54] Amoozegar M A, Makhdoumi – Kakhki A, Ramezani M, *et al.* *Limimonas halophila* gen. nov. , sp. nov. , an extremely halophilic bacterium in the family Rhodospirillaceae [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2013,63:1562 – 1567.
- [55] Bagheri M, Amoozegar M A, Didari M, *et al.* *Marinobacter persicus* sp. nov. , a moderately halophilic bacterium from a saline lake in Iran [J]. *Antonie van Leeuwenhoek*,2013,104:47 – 54.
- [56] Peykaran M N ,Vahabzadeh H ,Seidgar M, *et al.* Proximate composition and fatty acids profiles of *Artemia* cysts, and nauplii from different geographical regions of Iran [J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*,2014,13(3):761 – 775.
- [57] Eimanifar A, Wink M. Fine – scale population genetic structure in *Artemia urmiana* (Günther, 1890) based on mtDNA sequences and ISSR genomic fingerprinting [J]. *Organisms Diversity & Evolution*,2013,13:531 – 543.
- [58] Eimanifar A ,Rezvani S ,Carapetian J . Genetic differentiation of *Artemia urmiana* from various ecological populations of Urmia Lake assessed by PCR amplified RFLP analysis [J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*,2006,333(2):275 – 285.
- [59] Peykaran M N ,Vahabzadeh H ,Seidgar M, *et al.* Proximate composition and fatty acids profiles of *Artemia* cysts, and nauplii from different geographical regions of Iran [J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*,2014,13(3):761 – 775.

Distribution and Research Status of Salt Lakes in Iran

LI Lei-ming¹, SU Yi-fan², LI Yu-ting¹, MIN Xiu-yun¹, LI Qing-kuan^{1,3},
REN Jing¹, ZHOU Xin¹, WEN Xiao-hu⁴

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China; 2. College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen, 361021, China; 3. Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Xining, 810008, China; 4. Key Laboratory of Inland River Basin, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000, China)

Abstract: Salt lakes are widely distributed in Iran, which are rich in mineral resources and biological resources. This paper discusses the distribution, research topics, related institutions and researchers of salt lakes in Iran based on the existing data. Salt lakes include Urmia lake, Meyghan lake, Fesendooz lake, Maharloo Salt Lake and Tashk lake. The Salt playas are Houze Sultan playa, Bakhtegan playa, Gaav Khooni playa, Namak playa, Khur playa and Haj Aligholj playa. A great quantity of salt resources is distributed along the coast of southern Iran. Dasht-e Kavir and Dasht-e Lut are salt deserts. Now, salt lakes in Iran are faced with the deterioration of ecological environment and water shortage. 405 research or scientific papers related to salt lakes in Iran were refined and screened in this study. The analysis shows the overall growth trend of the research or scientific papers in the field of salt lake research in Iran. The main topics of research on salt lake in Iran are the ecological environment, geology, water resources and biology of salt lake. The main research objects of salt lakes in Iran are *Artemia* and *bacteria*. *Halophilic bacteria* from salt lake is the most important research field involving scientific research institutions and researchers. The scientific research institutions and researchers are mainly from Iran.

Key words: Iran; Salt Lake distribution; Hot research topics; Research institutions

《盐湖研究》2022 年征订启事

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版,1993 年创刊并在国内外公开发行。《盐湖研究》是国内唯一有关盐湖科技基础理论和资源利用的专业期刊,面向国内外报道、交流盐湖演化、卤水成矿、提取工艺、材料应用等领域的研究亮点、论文报告和技术成果。

《盐湖研究》为季刊,A4 开本,110 页,每季末月 5 日出版发行。单价:15.00 元/本,全年订价:60.00 元。中国标准刊号:ISSN1008-858X;CN63-1026/P。邮发代号:56-20。全国各地邮局均可订阅,也可直接与《盐湖研究》编辑部联系,联系电话:0971-6301683。