



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

제주도 연안 환경에서의
용존유기물질의 계절적 특성 변화

제주대학교 대학원

지구해양학과

송진욱

2020년 2월



제주도 연안 환경에서의 용존유기물질의 계절적 특성 변화

지도교수 김 태 훈

송 진 욱

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

2019년 12월

송진욱의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 윤석훈 (인)

위 원 문재홍 (인)

위 원 김태훈 (인)

제주대학교 대학원

2019년 12월

Seasonal characteristics of Dissolved Organic Matter
(DOM) in coastal water of Jeju Island

Jin-Wook Song
(Supervised by professor Tea-Hoon Kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Master of Science

2020. 2.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Seok-Hoon Yoon, Prof. of Earth Marine Sciences

Jae-Hong Moon, Prof. of Earth Marine Sciences

Tea-Hoon Kim, Prof. of Earth Marine Sciences

Date 2019. 12

Department of Earth and Marine Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
List of Figures and Tables	iii
Abstract	vii
1. 서 론	1
2. 재료 및 방법	7
3. 결과 및 고찰	10
3.1 염분, 수온 및 용존유기물질의 공간적 분포	10
3.1.1 제주도 연안해수 중 용존유기물질의 분포	11
3.1.2 제주도 남부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	12
3.1.3 제주도 서부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	12
3.1.4 제주도 북부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	13
3.1.5 제주도 동부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	14
3.2 수온, 염분 및 용존유기물질의 시간적 분포	28
3.2.1 제주도 연안해수 중 봄철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	28
3.2.2 제주도 연안해수 중 여름철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	28

3.2.3 제주도 연안해수 중 가을철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	29
3.2.4 제주도 연안해수 중 겨울철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포	30
3.3 염분, 수온 및 용존유기물질, Chl.a의 월별 수심 분포	35
3.3.1 월별 염분, 수온 수심 분포	35
3.3.2 월별 Chl.a 수심 분포	37
3.3.3 월별 용존유기물질 수심 분포	38
3.4 제주도 연안 지역별 용존유기물질의 기원	46
3.4.1 제주도 남부 연안해양	46
3.4.2 제주도 동부 연안해양	46
3.4.3 제주도 북부 연안해양	47
3.4.4 제주도 서부 연안해양	48
4. 요약 및 결론	61
5. 참고문헌	63

List of Figures and Tables

Fig. 1. Schematic diagram of carbon reservoirs and cycle in the coastal.	5
Fig. 2. Maps of schematics patterns of surface currents on the northwestern Pacific continental shelf during the (a) summer and (b) winter seasons.	6
Fig. 3. Maps showing sampling stations.	9
Fig. 4. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during spring.	31
Fig. 5. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during summer.	32
Fig. 6. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during fall.	33
Fig. 7. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during winter.	34
Fig. 8. Horizontal and vertical distributions of salinity during the sampling period.	41
Fig. 9. Horizontal and vertical distributions of temperature during the sampling period.	42
Fig. 10. Horizontal and vertical distributions of Chl.a during the sampling period.	43
Fig. 11. Horizontal and vertical distributions of DOC during the sampling period.	44
Fig. 12. Horizontal and vertical distributions of DON during the sampling period.	45

Fig. 13. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the southern area.	49
Fig. 14. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the southern area.	50
Fig. 15. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the southern area.	51
Fig. 16. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the eastern area.	52
Fig. 17. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the eastern area.	53
Fig. 18. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the eastern area.	54
Fig. 19. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the northern area.	55
Fig. 20. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the northern area.	56
Fig. 21. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the northern area.	57
Fig. 22. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the western area.	58
Fig. 23. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the western area.	59
Fig. 24. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the western area.	60

Table 1. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in January.	16
Table 2. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in February.	17
Table 3. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in March.	18
Table 4. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in April.	19
Table 5. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in May.	20
Table 6. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in June.	21
Table 7. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in July.	22
Table 8. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in August.	23
Table 9. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in September.	24

Table 10. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in October. 25

Table 11. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in November. 26

Table 12. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in December. 27

Abstract

In order to understand seasonal variation of dissolved organic matter (DOM) in coastal environment, dissolved organic carbon (DOC), dissolved organic nitrate (DON), chlorophyll-a (Chl.a), and fluorescent dissolved organic matter (FDOM) were analyzed in Jeju Island, Korea, from January to December 2017. The concentration of DOC, DON, and Chl.a ranged from 53.71 to 135.73 μM , 0.17 to 33.08 μM , and 0.04 to 4.16 mg/m^3 , respectively. Seasonally, high concentrations of DOM (DOC: 80 ± 12 μM , DON: 9 ± 2 μM) were observed in summer. Spatially, those (DOC: 72 ± 11 μM , DON: 6 ± 2 μM) were found in the northern area. The DOM concentrations were negatively correlated with salinity in summer. In addition, the correlation between DOM concentrations and Chl.a showed no significant correlation. In order to identify the DOM, FDOM was characterized by three components using excitation-emission matrix spectroscopy (EEMs). C1 indicates DOM of marine origin with characteristics of humic-acid and fulvic-acid during decomposition by microorganism, C2 indicates terrestrial origin and allochthonous origin, and C3 indicates protein-like by plankton. The correlation between FDOM and DOC showed no correlation in spring, but the positive correlation between C2 and DOC ($r^2 = 0.63$) showed in all area in summer. The DOM was mainly originated from terrestrial and allochthonous in all area during summer. However, the correlation between DOC and C1, C2, and C3 showed significant correlation in western area during summer. The DOM was originated from the microbial activity and terrestrial sources such as Changjiang Diluted Water (CDW) in western area. There was a correlation between DOC and C1 in the northern area during fall, and

there was no correlation between C1 and C2. The DOC in northern area seems to be originated from the marine microbial activity. In order to understand behavior of DOM, extensive studies are necessary in the future over greater time-scaling using various chemical tracers.

1. 서론

1970년대 산업혁명 이후 대기 중 이산화탄소의 농도가 증가 하고 있고(IPCC 2001), 해양은 대기와 기체교환이 이루어지며, 전 지구적으로 중요한 탄소의 저장고(38,000 Gt) 역할을 한다. 해양-대기 간의 기체 교환으로 인해 해양으로 유입된 이산화탄소는 광합성 작용에 의해 유기탄소의 형태로 생성되고, 용존유기물질(Dissolved Organic Matter: DOM)의 약 97%는 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon: DOC)의 형태로 이루어져 있으며, 그 양은 약 700 Gt으로 대기에 존재하는 이산화탄소의 양(750 Gt)과 비슷하다(Williams and Druffel 1987; Emerson and hedge 1988; Amon and Benner 1996). 해양에서의 탄소 순환의 핵심은 표층에서 유기물을 수직 운동(biological pump)을 통해 가라앉은 생물 입자는 해양에서 호흡을 유발하고 DIC의 수직 교환을 유지하는데 도움을 준다. 따라서, DOC는 이처럼 생물학적 펌프(biological pump)의 도움을 준다(Carlson et al. 1994; Hansell et al. 2002). 이와 같은 이유로 해양에서의 DOC 거동은 전 지구적 탄소순환에 큰 영향을 줄 수 있으며, 용존유기탄소의 생성과 거동에 대하여 많은 연구가 수행되어왔다(Fig. 1).

해양에서는 일반적으로 DOM은 식물플랑크톤과 같은 1차 생산자들에 의해서 해양 유기물이 생성이 되고(Michaelis et al. 1986; Wu et al. 2004), 식물플랑크톤의 생장에 의한 DOC는 총 유기탄소 생산량의 약 5-40% 정도이다(Fogg 1983). 그 외에 동물플랑크톤의 섭식(sloppy feeding)과 배설(excretion, egestion), 입자성 유기물의 용해 등에 의해 생성되고(Nagata and Kirchman 1992), 그 중 일부는 박테리아와 같은 미생물에 의해 분해 또는 흡수된다(Lessard et al. 1995; Amon and Benner 1996). 또한 광화학 분해(Mopper et al. 1991) 및 입자에 흡착으로 인한 침강(Keil and

Kirchman 1994)에 의해 제거된다.

DOM의 일부분은 자외선 및 가시광선 범위에서 빛을 흡수하고 이를 유색용존 유기물(Colored Dissolved Organic Matter: CDOM)이라 한다. 해양의 CDOM은 육상기원과 플랑크톤과 박테리아에 의해 생산이 된다. CDOM은 DOC의 약 20-70%를 구성하고 있고(Coble 2007), 형광의 형태로 흡수된 방사선을 방출을 할 수 있으며 이를 형광용존유기물(Fluorescent Dissolved Organic Matter: FDOM)이라 한다. 형광 여기-방출 매트릭스(Fluorescence excitation-emission matrix: EEM)를 사용하여 열대강에서 유기물의 특성을 파악하고, 중국 북서부에서는 계절에 따라 유기물의 특성과 기원을 파악(Yamashita et al. 2010; Zhou et al. 2019)하는 등 DOM의 기원을 추적하는데 많은 연구에서 사용되고 있다(Coble 1996; Coble 2007; Birdwell and Engel 2010; Stedmon et al. 2011; Yamashita et al. 2013; Zhao et al. 2016).

약 40억 명의 인구가 해안선에서 60 Km 이내에 거주하고 있고, 인구 밀도가 높기 때문에 하구역과 연안해양은 인위적 영향에 가장 취약하다(Kennish 2002). 또한, 강물, 지하수, 대기 등에 의해 탄소 및 질소가 유입이 되고, 최근 주목하고 있다(Howarth et al. 1996; Hung and Kuo 2002; Hung and Hung 2003; Meybeck 1982; Nixon 1995). 강물에 의해 해양으로 유출되는 연간 DOC는 전 해양 DOC Pool의 0.03%에 불과하지만 연안해양에서는 DOC의 유입은 무시할 수 없는 수준이고(Hedges et al. 1997), 426 Tg C/yr의 유기탄소가 연안으로 유입되고 그 중 58.7%는 DOC형태로 존재한다. 일반적으로, 하구역에서 염분과 관련되어 보전적인 형태를 보여, 난분해성으로 간주되어 생물학적 이용 가능성이 제한적이다. 하지만 Amazon River와 Gulf of Mexico에서는 DOC 유입량 중 약 70% 이상이 고분자량의 특성을 보이고, 이는 박테리아에 의해 쉽게 이용될 수 있다는 연구결과가 있다

(Arnon and Benner 1994; Santschi et al. 1995).

강물은 자연적, 인위적으로부터 영양염류를 공급하며, 주변 하구역 뿐만 아니라 연안해양에서 유기탄소의 생성을 가능하게 한다(Bierman et al. 1994; Hickey and Banas 2003; Carmack et al. 2004; Davies 2004; Wysocki et al. 2006). 또한, 지하수에 의한 유기물질의 유출은 연안환경에서 탄소 budget의 중요 공급원이 될 수 있다 (Slomp and Van Cappellen 2004; Cho et al. 2018). 인간 활동에 의해 전 세계 연안해양에서 탄소뿐만 아니라 질소 또한 큰 영향을 미치고 있다(Nixon 1995; Smith 2003). 질소는 하구역과 연안 해양의 1차 생산으로 가장 제한된 영양염류이고(Ryther and Dunstan 1971; Oviatt et al. 1995), 강하구역에서 질소가 부영양화를 기여하는 것으로 알려져 있다. 그 중 용존유기질소(Dissolved Organic Nitrogen: DON)는 플랑크톤에 의해 즉시 이용 가능성이 있고(Wheeler and Kirchman 1986; Fuhrman 1990; Antia et al. 1991; Glibert et al. 1991; Keil and Kirchman 1991; Cotner and Gardner 1993; Jorgensen et al. 1993; Tranvik 1993), Amino acids와 같은 낮은 분자량의 화합물은 박테리아 등에 의해 assimilate 된다. 이러한 저분자량 화합물은 일반적으로 강에서 하구역까지 수송되는 DON 전체의 약 20% 정도 구성이 되며, 대부분은 특성화되지 않은 복잡한 고분자량 화합물로 구성이 된다(Thurmann 1985). 이처럼 강과 지하수 등 외부적 요인에 의해서 연안해양으로 유기물 공급량이 증가하여 1차 생산량의 변화가 생기고 있다(Cloern 2001). 이와 같은 연구결과에 의해 육상으로 공급되는 DOM은 연안 해양생태계 및 탄소순환 등에 큰 영향을 줄 가능성이 있다(Li et al. 1999; Lee et al. 2010; Johnson et al. 2008; Waska and Kim 2010).

제주도 주변해양은 여러 특성과 성질이 지닌 해류와 수괴들이 시기적, 계절적으로 분포양상을 달리하고 있고, 그 양상이 매우 복잡하다. 특히 제주도 주변해

양에 나타나는 주요 해류는 고온·고염분의 쿠로시오해류(Kuroshio Current)로부터 분과된 해류와 동중국해와 황해로부터 유입된 해류가 만나 대한해협을 통해 동해로 유입되는 대만난류(Tsushima Warm Current: TWC)가 있고, 동중국해에서 대만난류(Taiwan Warm Current: TC)와 쿠로시오해류의 영향을 받아 생성이 되며, 겨울철 서쪽으로 강하게 나타나는 제주난류(Jeju Warm Current: JWC)가 있다(Fig. 2b). 특히 여름철에는 양자강에 의해 저염분수가 형성된 양자강유출수(Changjiang Discharge Water Flow: CDW)는 제주도과 제주해협을 지나 동해로 유입이 된다(국립해양조사원 2015) (Fig. 2a). 또한, CDW는 estuarine mixing zone의 생물학적 생산과 같은 생지화학 반응이 있고, 화학적 반응이 활발하기 때문에 빈영양성(oligotrophic)인 쿠로시오해류와 많이 다르다(Lee et al. 2014). 이처럼 여름철에는 양자강유출수가 제주도 연안해양으로 유입이 되고(Kwon et al. 2018), 제주도 주변해류의 특성이 서로 다른 해류의 영향을 받는 제주도 연안해양에서 DOM의 거동이 매우 복잡할 것으로 판단된다. 이처럼, 본 연구에서는 제주도 연안해양에서의 DOM 월별 농도 분포를 살펴보고, 계절적 분포 특성에 따른 DOM의 거동을 파악하고자 한다.

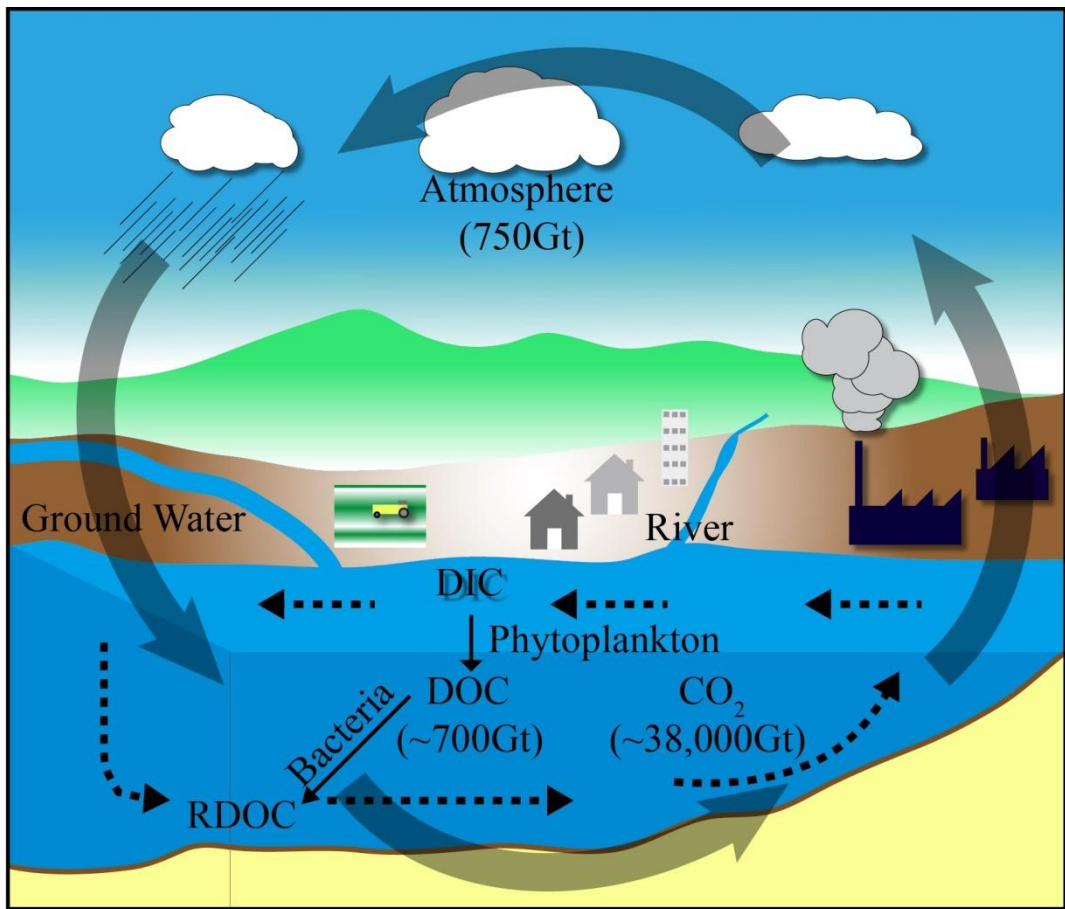


Fig. 1. Schematic diagram of carbon reservoirs and cycle in the coastal.

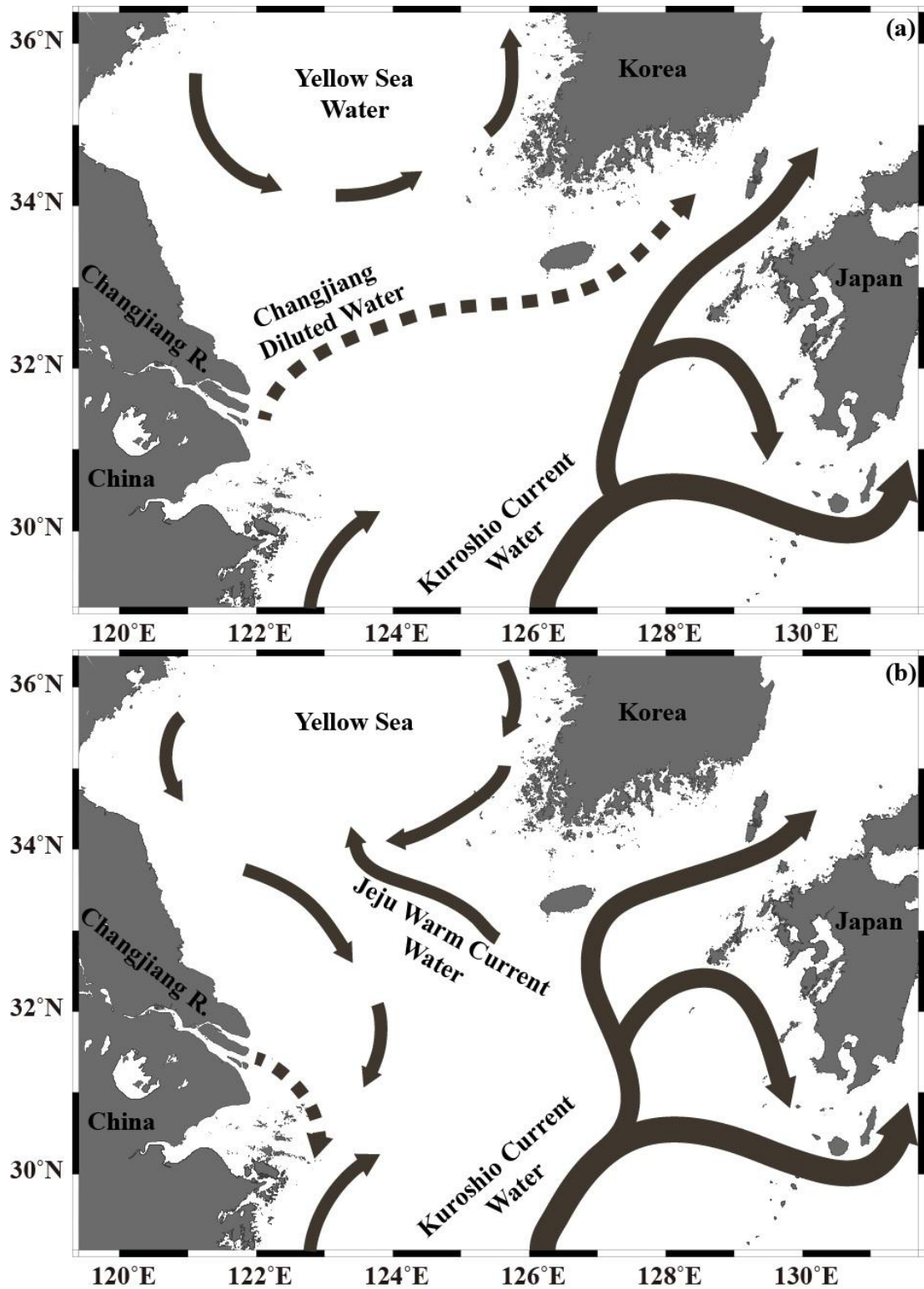


Fig. 2. Maps of schematics patterns of surface currents on the northwestern Pacific continental shelf during the (a) summer and (b) winter seasons.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2017년 1월부터 12월까지 열두 차례에 걸쳐 제주도 인근 해역에서의 12개의 정점을 조사를 하였다(Fig. 3). 1월과 3월에는 30개의 해수를 채수하였으며, 나머지 달에는 29개의 해수를 채수하였다. 표층은 CTD 설치된 채수기를 표층수에 완전히 잠긴 후 표층수를 채수하였으며, 심층수는 최대수심에서 약 5m 간격을 띄워 채수하였다.

염분, 수온, Chlorophyll a (Chl.a)는 CTD를 이용하여 현장에서 측정을 하였다. DOC와 영양염류를 분석하기 위해 precombusted (500°C) 5시간된 GF/F 여과지(Whatman 0.7 µm)를 이용하여 여과를 하였다. DOC 시료는 열처리한 유리 앰플에 여과한 해수를 약 20 mL 채수 후 미생물활동을 억제 하기 위해 6M 염산을 20 µL를 첨가하여 pH 2 이하로 낮춘 후 토치를 이용하여 입구를 마감하고 실온 보관하였다. 영양염류는 세척된 폴리프로필렌 용기에 채수 후 냉동 보관하여 측정하기 전 해동한 후 측정 하였다.

DOC와 TDN의 농도는 고온산화법을 적용한 Shimadzu사의 TOC=V_{CPH} 장비를 이용하였다. 해수 중 DOC의 정확한 측정을 위하여 시료에 포함된 무기탄소(약 10배 이상)를 제거해야 한다. 무기탄소의 제거는 염산을 첨가하여 pH가 2이하로 낮춘 시료에 초고순도 산소가스를 주입하여 시료에 포함되어 있는 무기탄소를 제거를 하여 총유기탄소분석기에 장착되어 있는 자동시료채취기에 시료를 나열하여 측정하였다. 아세트아닐리드(acetanilide) 용액의 농도를 이용하여 표준화하였고, DOC 인증 표준 물질(DSR: 44-46 µM, University of Miami)를 사용하여 5% 이

내의 오차 범위를 보여 측정한 값의 신뢰도를 나타냈다. TDN의 농도에서 DIN의 농도를 빼서 DON의 농도 값을 계산하였다.

FDOM은 분광형광계(FS-2, SCINCO)를 사용하여 측정을 하였고, 여기-방출 연속 파장법(excitation-emission matrix spectroscopy: EEMs)을 이용하여 EEM데이터에서 정확하게 추출하기 위해 PARAFAC 분석을 적용하여 분석을 하였다. 각각의 시료의 들뜸 파장에 따른 방출되는 형광 세기를 측정을 하고 측정된 파장의 범위는 Coble 2007 연구에 의해 제시된 파장을 이용하여 B peak (Ex/Em = 275/305, T peak (Ex/Em = 275/340, M peak (Ex/Em = 290-310/370-410), C peak (Ex/Em = 320-360/420-460), A peak (Ex/Em = 260/400-460)으로 peak별로 구분을 하였다.

영양염류는 채수 된 시료를 실험실로 옮긴 후 영양염류 자동 분석기(New QuAAtro39, SEAL Analytical)를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^- , SiO_2^- 의 농도를 측정하였다. DIN의 농도는 NO_2^- 와 NO_3^- 의 합으로 정의를 하였으며, NH_4^+ 의 경우 해수의 큰 영향을 미치지 못하여 제외하였다.

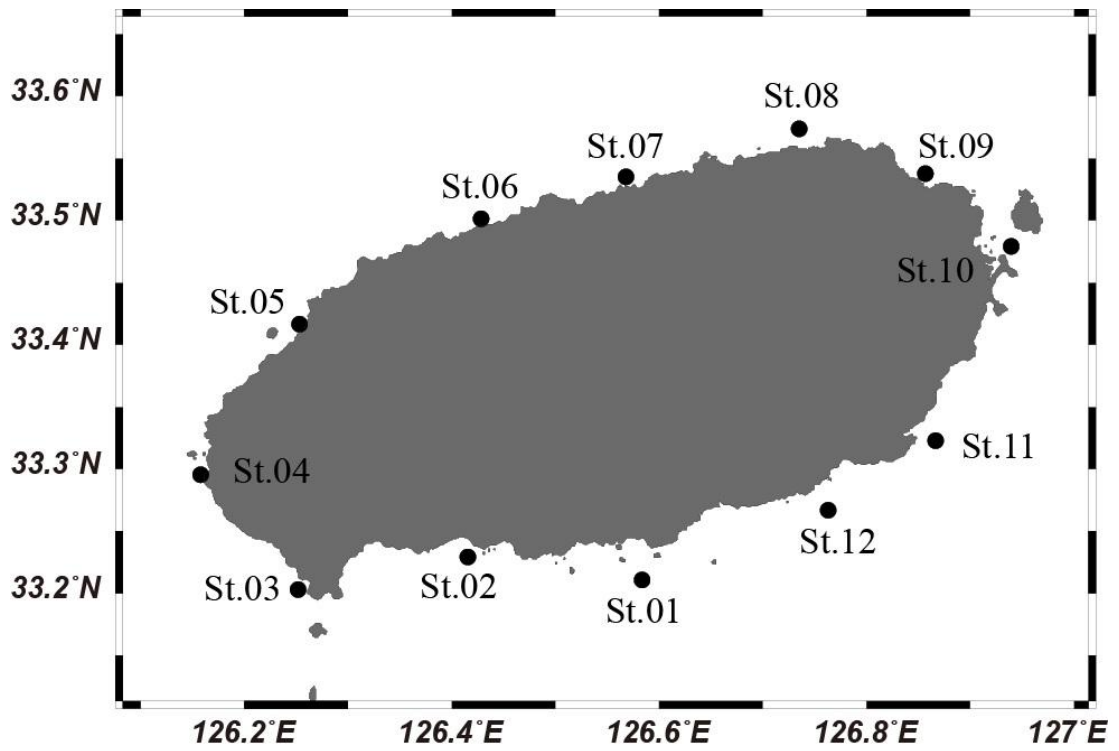


Fig. 3. Maps showing sampling stations.

3. 결과 및 고찰

3.1 염분, 수온 및 용존유기물질의 공간적 분포

2017년 1월부터 12월까지의 제주도 연안해양에서 측정된 수온, 염분, DOC, DON, Chl.a의 농도는 Table 1-12에 나타내었다. 제주도 연안해수 중 1년간 Chl.a의 농도 범위는 0-4.16 mg/m³가 나타났다. 다른 지역과 비교해서 Hongfeng River (0.5-4.2 mg/m³)와 비슷한 농도가 나타났지만, Taihu Lake (0.1-1.3 mg/m³), 인도 Chilika 연안(0.3-3.2 mg/m³), Laptev Sea (0.4-2.03 mg/m³), Arctic Ocean (0.2-2.4 mg/m³)보다 높게 나타났다(Zheng et al. 2019; Mukherjee et al. 2019; Soppa et al. 2019; Miao et al. 2019; Rossel et al. 2016). 제주도 연안해수 중 1년간 DOC, DON의 각각의 농도 범위는 52-124 μM (평균: 70±10 μM), 2-18 μM (평균: 6±2 μM)가 나타났다. 제주도 연안해수 중 DOC, DON의 농도와 외양과 비교를 하였을 때, 제주도 연안해수 중 DOC 농도는 Weddell Sea (40-60 μM), Ross Sea (43-55 μM), Sargasso Sea (64-71 μM)보다 높게 나타났다 DON 농도는 Sargasso Sea (4-6 μM)보다 높게 나타났다. 연안해양으로 유입되는 강물과 비교를 하였을 때, 제주도 연안해수 중 DOC 농도는 Changjiang River (250-1000 μM), Yellow River (250-700 μM), Pearl River (100-250 μM), Amazon River (300-400 μM), Rio Negro (800 μM), Lena River (600 μM), Mississippi River (700 μM), Colorado River (200 μM)보다 낮게 나타났고, DON 농도는 Amazon River (140 μM), Colorado River (14 μM), Mississippi River (140 μM)보다 낮게 나타났다(Cauwet and Mackenzie 1993; Zhang et al. 1992; Chen et al. 2004; Hedges et al. 1994; Berman and Bronk 2003; Gao et al. 2002; Ludwig et al. 1996; Meybeck 1982; Cauwet and Sidorov, 1996; Lara et al. 1998). 지하수와 비교 하였을 때, 제주도 연안해수 중 DOC 농도 Masan

Bay (104-170 μM), Gulf of Lions (87-166 μM), Apalachicola Bay (137-1120 μM), Chesapeake Bay (100-161 μM)보다 낮게 나타났고, DON 농도는 Southern Moreton Bay (10-34 μM)보다 낮게 나타났다(Oh et al. 2017; Ferrari 2000; Joshi et al. 2017; Rochelle-Newall and Fisher 2002; Gleeson et al. 2013). 다른 지역의 연안해양과 비교를 하였을 때, 제주도 연안 해수 중 DOC 농도는 Eastern Caribbean Sea (64-276 μM), Mulica River-Great Bay (147-200 μM), Gulf of Bothnia (288-320 μM), Gulf of Finland (350-408 μM), Gulf of Riga (400-570 μM), Gotland Basin (330-380 μM), Bothnian Bay (273-351 μM), Arkona Sea (334 ± 22 μM), Southern Baltic (270-325 μM)보다 낮게 나타났고, DON 농도는 Mulica River-Great Bay (7-12 μM), Gulf of Finland (15-20 μM), Gulf of Riga (12-35 μM), Gotland Basin (12-24 μM), Arkona Sea (14.7 ± 0.4 μM), Southern Baltic (14-17 μM)보다 낮게 나타났다(Flynn 2008; van Dongen et al. 2008; Hoikkala et al. 2009; Zweifel 1999; Poder et al. 2003; Schneider et al. 2003; Deutsch et al. 2012; Aarnos et al. 2012; Nausch et al. 2008). 제주도는 강물에 대한 영향이 매우 작고, 지반이 현무암 기반으로 되어있어 지하수 유출량이 많아 지하수의 영향이 크다고 판단되지만, 제주도 지하수 연구 결과를 살펴보면, 일반적으로는 지하수유출에 대한 염분이 증가할수록 DOC 농도가 감소하지만(Santos et al. 2009; Stewart et al. 2015; Pain et al. 2019) 제주도 지역에서는 염분이 증가할수록 DOC 농도가 증가되는 연구결과를 볼 수 있었다(Kim et al. 2013; Song et al. 2018). 이는 제주도 연안환경에서는 지하수유출로 인한 DOC의 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

3.1.1 제주도 남부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 남부(St.01, St.02, St.12) 연안해수 중 수온의 범위는 봄철(3, 4, 5월)에는 14.9-20.4°C(평균: 15.8 ± 1.3 °C), 여름철(6, 7, 8월)에는 15.4-28.5°C(평균: 21.1 ± 4.5 °C), 가을철(9, 10, 11월)에는 16.7-26.5°C(평균: 22.0 ± 2.7 °C), 겨울철(1, 2, 12월)에는 16.0-

18.5°C(평균: 17.1±0.8°C)를 보였다. 염분의 범위는 봄철에는 33.5-34.6 (평균: 34.1±0.5), 여름철에는 29.5-33.9 (평균: 32.0±1.2), 가을철에는 32.5-34.4 (평균: 33.6±0.4), 겨울철에는 33.6-34.7 (평균: 34.3±0.5)를 보였다. 여름철에 염분이 낮게 나타났고, 겨울철에 염분이 높게 나타났다. Chl.a의 범위는 봄철에는 0.05-3.32 (평균: 0.58±0.65 mg/m³), 여름철에는 0.04-1.91 mg/m³ (평균: 0.55±0.50 mg/m³), 가을철에는 0.05-1.38 mg/m³ (평균: 0.69±0.36 mg/m³), 겨울철에는 0.22-0.68 mg/m³ (평균: 0.54±0.11 mg/m³) 농도범위를 보였다. 남부지역에서 Chl.a의 평균농도는 가을철에 가장 높게 나타나고, 겨울철에 가장 낮게 나타났다. Chl.a의 최대농도는 봄철에 spring bloom 때문에 가장 높게 나타났다. DOC와 DON 농도의 범위는 봄철에는 각각 57-87 μM (평균: 66±7 μM)과 3-13 μM (평균: 6±2 μM), 여름철에는 각각 60-124 μM (평균: 77±15 μM)과 3-14 μM (평균: 7±2 μM), 가을철에는 각각 58-79 μM (평균: 68±6 μM)과 4-8 μM (평균: 5±1 μM), 겨울철에는 각각 57-85 μM (평균: 62±6 μM)과 4-8 μM (평균: 6±1 μM)를 보였다. DOC, DON의 농도는 여름철에 농도가 높게 나타났고, 겨울철에 DOC의 농도가 낮았으며, 가을철에 DON의 농도가 낮게 나타났다.

3.1.2 제주도 서부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 서부(St.03, St.04, St.05) 연안해수 중 수온의 범위는 봄철에는 14.7-17.9°C(평균: 15.8±1.3°C), 여름철에는 17.4-26.7°C(평균: 22.7±3.0°C), 가을철에는 17.9-24.4°C(평균: 21.3±2.2°C), 겨울철에는 14.8-17.7°C(평균: 16.1±0.8°C)를 보였다. 염분의 범위는 봄철에는 33.4-34.7 (평균: 34.1±0.5), 여름철에는 30.4-33.5 (평균: 31.9±0.9), 가을철에는 32.8-34.1 (평균: 33.7±0.4), 겨울철에는 33.1-34.7 (평균: 34.3±0.5)를 보였다. 여름철에 염분이 낮게 나타났고, 겨울철에 염분이 높게 나타났

다. Chl.a의 범위는 봄철에는 0.23-1.88 mg/m³ (평균: 0.70±0.46 mg/m³), 여름철에는 0.30-1.47 mg/m³ (평균: 0.74±0.38 mg/m³), 가을철에는 0.26-1.18 mg/m³ (평균: 0.77±0.24 mg/m³), 겨울철에는 0.16-1.20 mg/m³ (평균: 0.40±0.21 mg/m³) 농도범위를 보였다. 서부지역에서 Chl.a의 평균농도는 남부지역과 비슷하게 가을철에 가장 높게 나타나고, 겨울철에 가장 낮게 나타났다. Chl.a의 최대농도는 봄철에 가장 높게 나타났다. DOC와 DON 농도의 범위는 봄철에는 각각 58-76 μM (평균: 64±6 μM)과 3-7 μM (평균: 5±1 μM), 여름철에는 각각 66-103 μM (평균: 83±10 μM)과 3-11 μM (평균: 7±2 μM), 가을철에는 각각 60-82 μM (평균: 68±5 μM)과 4-6 μM (평균: 5±1 μM), 겨울철에는 각각 56-72 μM (평균: 62±4 μM)과 4-9 μM (평균: 6±1 μM)을 보였다. DOC, DON의 농도는 여름철에 농도가 높게 나타났고, 겨울철에 DOC 농도가 낮게 나타났고, 봄철과 가을철에 DON의 농도가 낮게 나타났다.

3.1.3 제주도 북부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 북부(St.06, St.07, St.08) 연안해수 중 수온의 범위는 봄철에는 14.4-17.4°C(평균: 15.4±1.1°C), 여름철에는 19.4-27.9°C(평균: 23.2±3.1°C), 가을철에는 16.5-24.9°C(평균: 20.6±3.1°C), 겨울철에는 13.9-17.0°C(평균: 15.5±1.0°C) 보였다. 염분의 범위는 봄철에는 33.3-34.7 (평균: 34.1±0.5), 여름철에는 29.9-32.9 (평균: 31.8±1.0), 가을철에는 32.5-34.0 (평균: 33.3±0.5), 겨울철에는 33.6-34.6 (평균: 34.3±0.5)를 보였다. 여름철에 염분이 낮게 나타났고, 겨울철에 염분이 높게 나타났다. Chl.a의 범위는 봄철에는 0.26-4.16 mg/m³ (평균: 1.12±0.91 mg/m³), 여름철에는 0.28-2.78 mg/m³ (평균: 1.38±0.82 mg/m³), 가을철에는 0.25-1.24 mg/m³ (평균: 0.69±0.32 mg/m³), 겨울철에는 0.16-0.52 mg/m³ (평균: 0.35±0.09 mg/m³) 농도범위를 보였다. 북부지역에서 Chl.a의 평균농도는 여름철에 가장 높게 나타나고, 겨울철에 가

장 낮게 나타났다. Chl.a의 최대농도는 여름철에 가장 높게 나타났고, 다른 지역에 비해 상대적으로 봄과 여름철에 높은 농도가 나타났다. DOC와 DON 농도의 범위는 봄철에는 각각 58-92 μM (평균: $68\pm 9 \mu\text{M}$)과 4-13 μM (평균: $6\pm 2 \mu\text{M}$), 여름철에는 각각 72-111 μM (평균: $83\pm 11 \mu\text{M}$)과 4-14 μM (평균: $8\pm 2 \mu\text{M}$), 가을철에는 각각 60-110 μM (평균: $73\pm 10 \mu\text{M}$)과 2-8 μM (평균: $5\pm 1 \mu\text{M}$), 겨울철에는 각각 56-82 μM (평균: $66\pm 7 \mu\text{M}$)과 5-10 μM (평균: $6\pm 1 \mu\text{M}$)를 보였다. DOC, DON의 농도는 여름철에 농도가 높게 나타났고, 겨울철에 DOC 농도가 낮게 나타났고, 가을철 DON 농도가 낮게 나타났다.

3.1.4 제주도 동부 연안해수 중 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 동부(St.09, St.10, St.11) 연안해수 중 수온의 범위는 봄철에는 14.2-16.3 $^{\circ}\text{C}$ (평균: $15.1\pm 0.7^{\circ}\text{C}$), 여름철에는 18.9-26.9 $^{\circ}\text{C}$ (평균: $23.0\pm 2.7^{\circ}\text{C}$), 가을철에는 18.5-25.3 $^{\circ}\text{C}$ (평균: $21.4\pm 2.2^{\circ}\text{C}$), 겨울철에는 14.2-18.4 $^{\circ}\text{C}$ (평균: $16.5\pm 1.3^{\circ}\text{C}$)를 보였다. 염분의 범위는 봄철에는 33.6-34.6 (평균: 34.3 ± 0.4), 여름철에는 30.4-34.1 (평균: 31.9 ± 0.9), 가을철에는 33.1-33.9 (평균: 33.5 ± 0.2), 겨울철에는 33.6-34.6 (평균: 34.3 ± 0.5)를 보였다. 여름철에 염분이 낮게 나타났고, 봄과 겨울철에 염분이 높게 나타났다. Chl.a의 범위는 봄철에는 0.12-0.69 mg/m^3 (평균: $0.39\pm 0.17 \text{mg}/\text{m}^3$), 여름철에는 0.64-2.59 mg/m^3 (평균: $1.41\pm 0.62 \text{mg}/\text{m}^3$), 가을철에는 0.39-1.45 mg/m^3 (평균: $0.77\pm 0.30 \text{mg}/\text{m}^3$), 겨울철에는 0.13-0.62 mg/m^3 (평균: $0.39\pm 0.14 \text{mg}/\text{m}^3$) 농도범위를 보였다. 동부지역에서 Chl.a의 평균농도는 여름철에 가장 높게 나타나고, 겨울철에 가장 낮게 나타났다. Chl.a의 최대농도는 가을철에 가장 높게 나타났고, 다른 지역에 비해 상대적으로 여름철에 높은 농도가 나타났다. DOC와 DON 농도의 범위는 봄철에는 각각 57-75 μM (평균: $67\pm 6 \mu\text{M}$)과 4-7 μM (평균: $5\pm 1 \mu\text{M}$), 여름철

에는 각각 66-99 μM (평균: $80 \pm 11 \mu\text{M}$)과 4-9 μM (평균: $7 \pm 1 \mu\text{M}$), 가을철에는 각각 62-82 μM (평균: $70 \pm 6 \mu\text{M}$)과 4-8 μM (평균: $6 \pm 1 \mu\text{M}$), 겨울철에는 각각 52-77 μM (평균: 65 ± 6)과 4-8 μM (평균: $6 \pm 1 \mu\text{M}$)를 보였다. DOC와 DON의 농도는 여름철에 높게 나타났고, 겨울철에 DOC 농도가 낮게 나타났고, 봄철에 DON 농도가 낮게 나타났다.

Table 1. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in January.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	16.9	34.6	0.44	58	5	0.38	0.08	0.43
	30	16.9	34.6	0.46	59	4	0.51	0.06	0.57
	60	16.9	34.6	0.55	59	4	0.42	0.09	0.37
	85	16.9	34.6	0.47	64	7	0.51	0.13	0.44
st.02	0	16.6	34.6	0.57	58	6	0.00	-	2.79
	30	16.7	34.6	0.68	58	5	0.40	0.08	0.41
st.03	0	16.2	34.6	0.35	61	5	0.51	0.08	0.39
	20	16.2	34.6	0.40	59	6	0.46	0.08	0.39
st.04	0	16.2	34.6	0.24	59	4	0.53	0.05	0.72
	20	16.1	34.6	0.30	63	6	0.46	0.05	0.52
	40	16.1	34.6	0.32	61	5	0.40	0.10	0.42
st.05	0	15.9	34.6	0.32	59	9	0.43	0.07	0.44
	20	15.8	34.6	0.41	59	5	0.36	0.06	0.43
st.06	0	15.8	34.6	0.41	82	10	0.44	0.05	0.43
	20	15.8	34.6	0.49	59	6	0.50	0.05	0.39
	35	15.7	34.6	0.42	60	5	0.44	0.07	0.50
st.07	0	15.6	34.5	0.37	69	7	0.68	0.07	0.63
	25	15.6	34.5	0.37	66	9	0.80	0.08	0.94
st.08	0	15.8	34.5	0.29	64	6	0.57	0.10	0.54
	20	15.8	34.5	0.34	60	5	0.63	0.12	0.54
	35	15.8	34.5	0.33	62	5	0.62	0.17	1.76
st.09	0	16.7	34.6	0.36	77	8	0.36	0.04	0.39
	13	16.5	34.6	0.53	75	8	0.39	0.08	0.34
st.10	0	16.9	34.6	0.34	68	6	0.34	0.06	0.30
	30	16.8	34.6	0.54	71	7	0.38	0.01	0.36
st.11	0	16.6	34.6	0.22	65	5	0.28	0.07	0.31
	5	16.5	34.6	0.38	60	4	0.31	0.09	0.31
st.12	0	16.8	34.5	0.30	62	5	0.33	0.03	0.30
	20	16.7	34.5	0.59	58	4	0.39	0.05	0.32
	40	16.6	34.5	0.58	62	7	0.35	0.08	0.36

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 2. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in February.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	16.6	34.66	0.35	58	5	1.89	0.23	2.83
	30	16.7	34.67	0.57	85	7	1.65	0.31	5.65
	60	16.6	34.66	0.58	58	-	-	-	-
	80	16.6	34.66	0.53	62	5	1.76	0.05	1.12
st.02	0	16.1	34.66	0.59	60	4	1.64	0.04	0.91
	25	16.1	34.66	0.61	69	8	1.30	0.09	1.26
st.03	0	15.5	34.60	0.29	72	7	1.42	0.00	0.82
	18	15.5	34.60	0.40	68	5	3.37	0.00	0.74
st.04	0	15.4	34.60	0.29	64	4	2.19	0.00	1.11
	20	15.4	34.66	0.45	71	7	2.08	0.00	1.31
	40	15.4	34.60	0.40	63	4	2.24	0.00	0.89
st.05	0	15.2	34.61	0.16	62	4	2.31	0.00	0.74
	20	14.8	34.62	0.51	62	5	2.25	0.00	1.03
st.06	0	14.4	34.41	0.20	63	6	1.59	0.00	1.11
	20	14.8	34.63	0.52	74	6	2.22	0.17	1.62
st.07	0	14.5	34.64	0.22	70	-	-	-	-
	20	14.5	34.64	0.36	78	-	-	-	-
st.08	0	14.0	34.46	0.16	69	8	3.03	0.29	2.78
	20	13.9	34.63	0.29	-	-	-	-	-
	30	13.9	34.63	0.30	71	8	2.81	0.35	3.53
st.09	0	14.2	34.60	0.13	61	5	3.02	0.20	3.83
	15	14.2	34.60	0.38	65	7	4.43	0.31	3.00
st.10	0	15.0	34.62	0.24	64	6	5.89	0.27	2.65
	30	15.0	34.62	0.49	59	5	3.00	0.00	1.80
st.11	0	16.2	34.60	0.23	68	7	3.85	0.08	2.17
	15	16.3	34.61	0.42	66	-	2.95	0.60	4.31
st.12	0	16.0	34.55	0.22	59	4	2.32	0.17	2.07
	20	16.5	34.63	0.66	63	6	-	-	-
	40	16.6	34.65	0.62	62	4	3.13	0.02	1.67

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 3. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in March.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	15.6	34.60	0.29	60	4	0.95	0.14	1.45
	30	15.3	34.62	1.19	58	7	0.64	0.07	0.69
	60	15.2	34.64	0.58	62	4	0.67	0.11	0.67
	85	15.2	34.64	0.57	59	7	0.68	0.09	0.96
st.02	0	15.1	34.63	0.28	61	6	0.62	0.02	0.59
	30	15.1	34.64	0.51	57	5	0.62	0.07	0.65
st.03	0	15.0	34.64	0.27	59	6	0.49	0.14	0.61
	20	15.0	34.64	0.58	58	6	0.70	0.10	1.05
st.04	0	14.8	34.61	0.23	61	7	0.82	0.19	1.48
	20	14.8	34.61	0.50	59	6	0.57	0.10	0.54
	40	14.8	34.61	0.60	59	7	0.53	0.07	0.55
st.05	0	14.9	34.66	0.23	58	5	0.58	0.10	0.65
	20	14.7	34.65	0.53	58	6	0.63	0.15	0.56
st.06	0	14.5	34.63	0.32	59	6	0.61	0.14	0.77
	20	14.5	34.64	0.51	58	4	-	-	-
	35	14.5	34.64	0.47	69	10	0.69	0.45	1.60
st.07	0	14.5	34.62	0.33	60	4	2.07	0.31	1.23
	28	14.6	34.63	0.44	61	5	0.70	0.12	1.14
st.08	0	14.4	34.65	0.26	65	5	0.62	0.14	0.69
	20	14.4	34.65	0.60	58	5	0.61	0.16	0.58
	35	14.4	34.65	0.60	58	4	0.82	0.19	1.03
st.09	0	14.2	34.64	0.24	60	6	0.73	0.13	0.53
	10	14.2	34.64	0.31	58	5	0.65	0.15	0.91
st.10	0	14.3	34.64	0.21	66	4	0.62	0.22	0.96
	28	14.3	34.64	0.44	58	4	0.65	0.08	0.62
st.11	0	14.8	34.60	0.43	57	5	0.55	0.05	0.43
	17	14.8	34.61	0.65	59	5	0.67	0.15	0.61
st.12	0	15.1	34.59	0.42	61	5	0.57	0.12	0.50
	20	15.1	34.60	0.54	59	4	0.68	0.09	0.66
	40	15.2	34.60	0.56	58	6	0.57	0.08	0.41

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 4. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in April.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	15.3	33.6	0.28	87	11	1.00	0.12	1.27
	30	15.1	33.6	0.91	65	6	0.51	0.06	0.45
	60	14.9	33.5	0.23	72	6	0.63	0.04	0.59
	80	15.0	33.6	0.18	63	6	0.59	0.09	0.71
st.02	0	15.2	33.6	0.71	63	6	0.60	0.14	0.57
	30	15.2	33.6	0.49	68	6	0.56	0.09	0.62
st.03	0	15.3	33.5	0.67	62	4	0.43	0.04	0.40
	20	15.4	33.6	0.53	61	3	0.62	0.08	0.76
st.04	0	15.1	33.5	0.72	62	3	0.51	0.11	0.57
	20	15.1	33.5	0.77	61	4	0.58	0.11	0.65
	40	15.1	33.5	0.71	62	4	0.45	0.10	0.53
st.05	0	14.9	33.4	1.47	63	4	0.45	0.11	0.44
	20	14.9	33.4	1.21	62	4	0.61	0.25	1.20
st.06	0	15.0	33.3	1.45	63	4	0.44	0.11	0.46
	35	14.8	33.4	0.85	64	4	0.61	0.29	1.26
st.07	0	15.2	33.7	0.64	92	13	1.58	0.17	0.76
	20	14.9	33.4	1.07	73	5	0.58	0.13	0.80
st.08	0	15.2	33.5	0.49	72	5	0.50	0.10	0.44
	20	15.2	33.5	1.24	69	4	0.52	0.07	0.51
	35	15.2	33.5	1.16	70	4	0.61	0.16	0.62
st.09	0	15.3	34.3	0.33	70	5	0.51	0.06	0.42
	12	15.2	34.3	0.62	75	5	0.76	0.13	1.01
st.10	0	15.3	33.6	0.31	70	4	0.59	0.12	0.76
	30	15.2	33.7	0.69	67	5	0.58	0.07	0.57
st.11	0	15.6	34.3	0.12	71	4	0.53	0.09	0.43
	13	15.3	33.7	0.38	69	4	0.62	0.10	0.64
st.12	0	15.4	33.6	0.10	70	4	0.57	0.13	0.55
	20	15.2	33.7	0.30	72	4	0.65	0.06	0.67
	50	15.2	33.7	0.23	66	3	0.51	0.10	0.49

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 5. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in May.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	20.4	34.3	0.11	71	5	0.48	0.05	1.00
	30	16.3	34.1	1.51	72	6	0.70	0.12	0.89
	60	15.8	34.4	0.18	69	8	0.58	0.03	0.48
	85	15.7	34.5	0.05	64	6	0.58	0.08	0.62
st.02	0	18.3	34.1	0.30	71	6	0.73	0.12	0.98
	30	16.8	34.2	0.35	68	4	0.93	0.06	1.13
st.03	0	17.8	34.0	0.35	71	5	22.94	18.47	15.23
	15	17.7	34.1	0.37	71	7	0.69	0.17	0.91
st.04	0	17.7	34.2	0.40	69	6	23.06	18.57	15.31
	20	17.5	34.2	0.55	70	5	-	-	-
	40	17.4	34.2	0.48	68	5	0.67	0.08	0.86
st.05	0	17.9	34.2	1.56	76	5	0.74	0.16	0.86
	15	17.0	34.3	1.88	72	6	0.70	0.09	0.74
st.06	0	17.4	34.2	2.08	69	5	0.66	0.11	0.73
	20	17.1	34.2	1.89	71	6	0.77	0.19	1.07
st.07	0	17.4	34.9	0.55	80	8	0.83	0.03	2.95
	20	17.1	34.2	4.16	80	8	0.83	0.14	1.76
st.08	0	16.6	34.3	1.59	75	7	0.83	0.12	1.11
	20	16.5	34.3	2.23	68	6	0.76	0.08	1.41
	35	16.4	34.3	1.67	69	5	0.70	0.13	1.02
st.09	0	-	-	-	70	6	-	-	-
	10	-	-	-	69	7	0.88	0.18	1.12
st.10	0	16.3	34.0	0.31	68	5	0.78	0.07	1.00
	30	16.1	34.0	0.49	71	6	1.40	0.00	9.93
st.11	0	-	-	-	72	6	0.72	0.18	1.03
	5	-	-	-	72	6	0.75	0.17	1.11
st.12	0	18.3	33.7	1.03	77	-	0.75	0.15	0.92
	20	16.5	33.8	3.32	69	3	0.83	0.12	0.95
	40	15.8	34.0	0.39	70	7	0.92	0.16	1.19

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 6. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in June.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	-	30.8	-	86	6	0.62	0.06	0.89
	30	-	32.1	-	71	6	0.67	0.10	0.73
	60	-	33.0	-	64	5	0.60	0.08	0.41
	85	-	33.9	-	65	6	0.70	0.10	0.69
st.02	0	-	29.5	-	83	7	0.66	0.15	0.94
	30	-	31.3	-	70	7	0.77	0.06	0.61
st.03	0	-	33.5	-	75	6	0.72	0.09	0.70
	20	-	31.9	-	75	8	0.73	0.08	0.89
st.04	0	-	-	-	74	-	1.21	0.14	1.54
	20	-	33.0	-	72	5	0.66	0.11	0.60
	40	-	31.9	-	74	6	0.92	0.18	1.21
st.05	0	-	32.3	-	77	5	0.76	0.10	0.72
	18	-	30.9	-	83	7	0.62	0.10	0.82
st.06	0	-	31.5	-	83	7	0.86	0.15	1.13
	15	-	31.7	-	75	6	0.77	0.02	0.58
st.07	0	-	32.9	-	80	7	1.32	0.07	1.55
	25	-	32.7	-	77	9	1.82	0.00	2.31
st.08	0	-	32.0	-	83	7	1.34	0.08	2.31
	20	-	32.2	-	72	7	1.28	0.15	1.51
	35	-	32.5	-	73	7	1.25	0.15	1.37
st.09	0	-	32.3	-	73	6	1.34	0.11	1.80
	13	-	32.3	-	72	8	0.65	0.13	0.88
st.10	0	-	31.4	-	94	9	2.21	0.36	1.11
	28	-	32.2	-	72	7	0.63	0.12	0.55
st.11	0	-	31.7	-	78	5	0.81	0.04	0.93
	10	-	34.1	-	73	5	0.65	0.13	0.71
st.12	0	-	31.3	-	81	6	0.75	0.08	0.84
	20	-	32.2	-	69	7	1.23	0.15	1.35
	50	-	32.3	-	66	7	0.69	0.07	0.46

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 7. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in July.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	26.2	31.2	0.34	86	5	1.76	0.27	1.91
	30	19.4	32.8	0.61	71	4	1.57	0.21	1.47
	60	16.0	33.4	0.10	69	-	1.07	0.12	0.75
	85	15.4	33.5	0.06	64	4	1.02	0.07	0.89
st.02	0	24.9	31.4	0.55	90	4	1.32	0.15	1.59
	27	20.8	32.4	1.14	80	5	1.28	0.13	1.39
st.03	0	24.4	31.7	0.36	89	5	1.06	0.15	1.32
	20	21.7	32.2	0.56	79	4	1.17	0.16	1.09
st.04	0	24.9	31.2	0.88	96	5	1.26	0.30	1.57
	20	22.6	31.8	1.10	92	-	1.71	0.21	1.82
	40	17.4	33.1	0.47	70	5	1.14	0.06	0.98
st.05	0	22.1	32.0	1.23	86	4	1.23	0.10	1.35
	20	20.9	32.3	1.47	77	3	1.11	0.15	1.31
st.06	0	24.1	31.4	1.73	86	-	1.25	0.16	1.73
	30	19.7	32.7	1.00	78	5	1.24	0.07	1.29
st.07	0	27.9	29.9	1.25	111	7	1.93	0.27	2.31
	25	19.4	32.8	0.78	87	4	1.42	0.29	1.28
st.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
st.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
st.10	0	26.9	30.4	1.44	94	6	1.40	0.27	1.46
	13	24.5	31.1	1.50	99	5	1.39	0.25	1.62
st.11	0	26.8	30.5	1.57	98	4	1.48	0.23	1.63
	15	21.9	31.9	1.29	83	5	1.26	0.16	1.44
st.12	0	26.1	30.8	1.44	101	6	1.31	0.23	1.54
	20	23.4	31.5	1.91	94	-	1.33	0.14	1.28
	40	17.7	33.1	0.24	66	3	1.11	0.07	1.05

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 8. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in August.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	27.9	30.2	0.48	94	9	1.78	0.28	2.03
	30	19.6	32.9	0.52	-	-	-	-	-
	60	16.0	33.3	0.08	-	-	-	-	-
	88	15.9	33.6	0.04	60	4	1.26	0.05	0.91
st.02	0	28.5	29.8	0.38	124	13	2.33	0.42	2.90
	32	19.8	32.7	0.46	70	8	1.96	0.40	3.42
st.03	0	26.7	30.4	0.50	93	11	2.03	0.32	2.07
	12	24.0	31.2	0.59	87	8	1.67	0.34	1.67
st.04	0	26.6	30.6	0.30	96	9	1.94	0.10	1.80
	20	22.9	31.5	1.01	80	8	1.54	0.21	1.33
	38	17.7	32.8	0.43	66	9	1.24	0.15	1.11
st.05	0	-	-	-	103	9	2.40	0.28	2.02
	10	-	-	-	93	8	2.59	0.50	4.59
st.06	0	26.8	29.9	0.28	-	-	-	-	-
	32	21.2	32.1	2.19	77	7	1.68	0.10	1.80
st.07	0	23.1	31.6	2.78	82	9	1.95	0.14	1.96
	22	21.5	32.1	2.42	75	8	1.39	0.09	1.32
st.08	0	27.4	30.0	0.38	110	12	1.75	0.16	1.93
	20	23.8	31.4	1.45	78	14	1.66	0.10	1.78
	30	20.6	32.1	0.98	77	9	1.86	0.12	1.83
st.09	0	24.0	31.4	2.59	81	8	2.37	0.45	5.09
	15	23.8	31.5	2.17	81	8	1.24	0.17	1.59
st.10	0	22.6	31.7	1.41	80	8	1.42	0.13	1.32
	30	18.9	32.7	0.64	66	8	1.21	0.13	1.41
st.11	0	20.4	32.2	0.78	72	7	1.40	0.14	1.35
	6	20.3	32.3	0.75	69	7	1.37	0.14	1.22
st.12	0	26.4	30.7	0.75	85	10	1.74	0.18	1.64
	20	20.2	32.4	0.62	63	7	1.26	0.08	1.17
	50	16.5	33.1	0.14	61	5	1.26	0.12	0.84

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 9. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in September.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	26.5	33.8	0.27	69	4	-	-	-
	30	25.9	33.9	1.38	58	8	-	-	-
	60	18.7	33.9	0.14	68	-	-	-	-
	89	17.3	34.4	0.05	65	4	-	-	-
st.02	0	26.0	33.9	0.65	67	4	-	-	-
	30	24.3	34.0	1.06	70	5	-	-	-
st.03	0	24.4	33.9	0.58	65	5	-	-	-
	17	24.4	34.0	1.18	65	5	-	-	-
st.04	0	23.4	33.9	0.53	67	5	-	-	-
	20	23.3	33.9	1.09	63	-	-	-	-
	40	21.6	34.1	0.73	60	6	-	-	-
st.05	0	23.9	33.6	0.26	66	6	-	-	-
	20	22.8	34.0	0.90	63	5	-	-	-
st.06	0	24.4	32.8	0.26	74	6	-	-	-
	30	20.7	33.9	0.36	65	6	-	-	-
st.07	0	24.9	33.3	0.61	76	5	-	-	-
	25	24.7	33.8	0.47	66	5	-	-	-
st.08	0	24.2	33.6	0.35	69	5	-	-	-
	20	24.7	33.8	0.97	69	-	-	-	-
	30	24.5	33.8	0.69	72	5	-	-	-
st.09	0	23.7	33.1	0.46	70	5	-	-	-
	13	23.6	33.2	0.52	73	5	-	-	-
st.10	0	23.3	33.3	0.55	71	6	-	-	-
	30	23.2	33.5	0.60	72	7	-	-	-
st.11	0	25.3	33.8	1.07	67	6	-	-	-
	10	25.1	33.8	1.45	66	4	-	-	-
st.12	0	26.0	33.8	0.64	67	5	-	-	-
	20	25.9	33.8	1.05	66	-	-	-	-
	50	23.0	33.8	0.57	65	4	-	-	-

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 10. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in October.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	23.4	34.1	0.64	78	5	0.74	0.13	1.88
	30	23.1	34.1	1.08	79	4	1.17	0.31	2.90
	60	22.6	34.0	0.56	77	5	0.49	0.10	0.60
	71	22.0	34.0	0.58	73	5	0.52	0.18	1.38
st.02	0	23.1	34.1	0.55	70	4	0.63	0.07	1.36
	30	23.1	34.1	0.72	69	4	0.43	0.01	0.71
st.03	0	22.8	34.1	0.62	67	4	0.95	0.07	1.47
	20	22.6	34.1	0.83	69	5	0.85	0.35	2.14
st.04	0	22.7	34.1	0.54	71	6	0.58	0.04	1.15
	20	22.2	34.0	0.72	70	6	1.18	0.15	2.04
	40	21.6	33.8	0.64	70	5	0.99	0.13	1.70
st.05	0	20.5	32.8	0.35	80	5	1.21	0.15	1.22
	15	20.5	33.0	0.69	77	5	1.38	0.24	2.99
st.06	0	20.6	32.8	0.42	78	6	1.84	0.33	3.06
	30	20.5	32.9	0.57	77	6	1.48	0.12	1.85
st.07	0	21.1	33.5	0.74	110	8	1.14	0.08	1.73
	20	21.1	33.5	1.04	71	5	1.31	0.16	2.96
st.08	0	20.8	33.4	0.48	73	5	1.11	0.18	1.53
	20	20.9	33.5	1.04	74	4	1.14	0.23	3.30
	35	18.7	34.0	0.25	60	2	1.08	0.14	2.36
st.09	0	21.5	33.6	0.47	71	5	1.06	0.10	1.17
	13	20.8	33.5	0.89	71	6	1.83	0.33	3.79
st.10	0	21.1	33.7	0.39	80	7	1.01	0.31	4.01
	30	20.8	33.7	0.60	63	5	0.87	0.02	1.13
st.11	0	21.6	33.9	0.89	70	6	1.10	0.25	3.87
	13	21.6	33.9	1.22	68	6	1.14	0.22	2.89
st.12	0	22.7	34.0	0.47	61	7	0.46	0.14	0.91
	20	22.6	34.0	1.03	61	5	0.92	0.21	3.08
	50	21.8	33.9	0.56	69	5	1.08	0.08	1.32

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 11. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in November.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	20.6	33.5	1.12	70	5	0.35	0.08	0.60
	30	20.2	33.6	1.12	73	6	0.47	0.10	0.68
	60	19.9	33.6	0.71	65	4	0.69	0.03	0.59
	75	16.7	33.8	0.10	60	6	0.73	0.07	0.61
st.02	0	20.2	33.6	0.88	76	6	0.37	0.02	0.68
	30	19.8	33.6	1.09	67	6	0.42	0.08	0.54
st.03	0	19.4	33.6	1.02	65	4	0.51	0.05	0.56
	20	19.4	33.6	1.02	64	5	0.43	0.12	0.65
st.04	0	18.9	33.6	1.10	67	4	0.46	0.09	0.66
	20	18.7	33.6	0.89	68	5	0.44	0.06	0.72
	40	18.7	33.6	0.77	82	6	0.49	0.09	0.71
st.05	0	17.9	33.3	0.94	67	4	0.76	0.03	0.80
	12	18.2	33.4	0.69	70	5	0.75	0.17	3.28
st.06	0	17.1	32.7	0.84	68	5	0.97	0.02	0.96
	38	18.7	33.5	0.27	61	5	0.61	0.05	1.08
st.07	0	16.5	32.5	1.21	76	6	1.43	0.11	1.72
	30	16.5	32.5	1.24	78	6	1.23	0.02	1.38
st.08	0	16.7	32.7	0.87	75	5	1.04	0.05	0.97
	20	17.0	32.8	1.12	71	5	1.18	0.07	1.30
	35	17.4	33.0	0.65	70	5	0.83	0.08	1.27
st.09	0	18.5	33.4	0.78	63	5	0.71	0.11	0.98
	15	18.5	33.4	0.72	65	4	0.53	0.05	1.25
st.10	0	18.8	33.5	0.63	82	6	0.52	0.12	0.75
	30	18.7	33.5	0.56	64	4	0.57	0.08	0.70
st.11	0	19.7	33.4	1.20	62	4	0.48	0.01	0.62
	18	19.6	33.5	0.83	81	8	0.46	0.06	0.53
st.12	0	20.0	33.4	1.00	68	6	0.66	0.08	0.95
	20	19.6	33.5	0.47	61	5	0.50	0.09	0.48
	53	19.0	33.5	0.22	62	5	0.49	0.05	0.82

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

Table 12. The temperature, salinity, and concentrations of DOC, DON, and FDOM in the Jeju Island in December.

Station	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity	Chl.a (µg/L)	DOC (µM)	DON (µM)	C1 (ppb)	C2 (ppb)	C3 (ppb)
st.01	0	18.3	33.7	0.61	57	6	0.98	0.48	6.38
	30	18.2	33.7	0.55	63	6	0.48	0.04	0.76
	60	18.2	33.7	0.65	59	8	0.59	0.23	3.39
	70	18.2	33.7	0.63	67	5	0.44	0.08	0.77
st.02	0	18.5	33.7	0.45	59	6	0.73	0.00	1.11
	30	18.1	33.7	0.57	65	7	0.80	0.07	2.85
st.03	0	17.7	33.7	0.29	60	6	1.30	0.00	2.09
	20	17.6	33.7	0.48	66	8	0.48	0.07	0.70
st.04	0	16.7	33.7	0.29	58	6	0.85	0.29	4.75
	20	16.6	33.7	0.50	56	7	1.00	0.16	2.04
	40	16.7	33.7	0.50	57	6	1.30	0.11	2.17
st.05	0	16.8	33.1	0.20	56	5	1.24	0.10	4.24
	20	16.8	33.7	20	61	6	0.43	0.13	0.65
st.06	0	17.0	33.7	0.31	61	5	0.51	0.09	0.78
	30	16.8	33.7	0.40	56	5	0.64	0.41	4.29
st.07	0	16.7	33.7	0.40	67	6	0.67	0.05	1.22
	25	16.7	33.7	0.37	57	5	0.92	0.13	1.13
st.08	0	16.3	33.6	0.31	60	5	0.94	0.46	4.45
	20	16.2	33.6	0.40	92	12	1.12	0.22	3.00
	30	16.2	33.6	0.36	62	5	1.54	0.21	3.48
st.09	0	17.0	33.6	0.26	52	5	0.89	0.15	2.12
	10	16.8	33.6	0.33	65	5	0.84	0.13	1.43
st.10	0	18.3	33.7	0.44	72	8	0.67	0.21	1.40
	25	17.9	33.7	0.51	66	7	0.63	0.13	1.55
st.11	0	18.4	33.7	0.60	62	7	0.67	0.06	1.28
	25	18.3	33.7	0.62	63	6	0.55	0.02	0.75
st.12	0	18.2	33.7	0.56	62	8	0.40	0.02	0.67
	20	18.0	33.6	0.60	59	6	0.52	0.07	0.69
	50	17.4	33.6	0.53	58	7	0.62	0.00	0.99

* C1, C2, and C3 indicate M peak, A peak, and T peak respectively.

3.2 수온, 염분 및 용존유기물질의 시간적 분포

3.2.1 제주도 연안해수 중 봄철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 연안해수 중 봄철 수온의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $15.8\pm 1.3^{\circ}\text{C}$, 동부지역에서 $15.1\pm 0.7^{\circ}\text{C}$, 북부지역에서 $15.4\pm 1.1^{\circ}\text{C}$, 서부지역에서 $15.8\pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 의 수온이 나타났다. 상대적으로 평균 수온은 남부지역과 서부지역에서 높게 나타났고, 동부지역에서 낮게 나타났다. 염분의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 34.1 ± 0.5 , 동부지역에서 34.3 ± 0.4 , 북부지역에서 34.1 ± 0.5 , 서부지역에서 34.1 ± 0.5 의 염분 분포가 나타났다. 상대적으로 평균 염분은 동부지역에서 높게 나타났고, 다른 지역에서는 비슷한 염분 분포가 나타났다. DOC 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $66.4\pm 6.9\ \mu\text{M}$, 동부지역에서 $66.9\pm 5.7\ \mu\text{M}$, 북부지역에서 $68.3\pm 8.6\ \mu\text{M}$, 서부지역에서 $63.9\pm 5.5\ \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DOC 농도는 북부지역에서 높게 나타났고, 서부지역에서 낮게 나타났다. DON 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $6.0\pm 2.8\ \mu\text{M}$, 동부지역에서 $5.0\pm 1.0\ \mu\text{M}$, 북부지역에서 $5.4\pm 1.6\ \mu\text{M}$, 서부지역에서 $5.2\pm 1.3\ \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DON 농도는 남부지역에서 높게 나타났고, 동부지역에서 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 4).

3.2.2 제주도 연안해수 중 여름철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 연안해수 중 여름철 수온의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $21.1\pm 4.5^{\circ}\text{C}$, 동부지역에서 $23.0\pm 2.7^{\circ}\text{C}$, 북부지역에서 $23.2\pm 3.1^{\circ}\text{C}$, 서부지역에서 $22.7\pm 3.0^{\circ}\text{C}$ 의 수온이 나타났다. 상대적으로 평균 수온은 북부지역에서 높게 나타났고, 남부지역에서 낮게 나타났다. 염분의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 32.0 ± 1.2 , 동부지역에서 31.9 ± 0.9 , 북부지역에서 31.8 ± 1.0 , 서부지역에서 31.9 ± 0.9 의 염분 분포가 나타났

다. 상대적으로 평균 염분은 남부지역에서 높게 나타났고, 북부지역에서 낮게 나타났다. DOC 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $77.3 \pm 15.3 \mu\text{M}$, 동부지역에서 $80.2 \pm 10.8 \mu\text{M}$, 북부지역에서 $82.6 \pm 11.2 \mu\text{M}$, 서부지역에서 $82.7 \pm 10.1 \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DOC 농도는 서부지역에서 높게 나타났고, 남부지역에서 낮게 나타났다. DON 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $6.1 \pm 2.1 \mu\text{M}$, 동부지역에서 $6.6 \pm 1.4 \mu\text{M}$, 북부지역에서 $7.9 \pm 2.4 \mu\text{M}$, 서부지역에서 $6.5 \pm 2.1 \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DON 농도는 북부지역에서 높게 나타났고, 남부지역에서 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 5).

3.2.3 제주도 연안해수 중 가을철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 연안해수 중 가을철 수온의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $22.0 \pm 2.7^\circ\text{C}$, 동부지역에서 $21.4 \pm 2.2^\circ\text{C}$, 북부지역에서 $20.6 \pm 3.1^\circ\text{C}$, 서부지역에서 $21.3 \pm 2.2^\circ\text{C}$ 의 수온이 나타났다. 상대적으로 평균 수온은 남부지역에서 높게 나타났고, 동부지역에서 낮게 나타났다. 염분의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 33.8 ± 0.2 , 동부지역에서 33.5 ± 0.2 , 북부지역에서 33.3 ± 0.5 , 서부지역에서 33.7 ± 0.4 의 염분 분포가 나타났다. 상대적으로 평균 염분은 남부지역에서 높게 나타났고, 북부지역에서 낮게 나타났다. DOC 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $68.0 \pm 5.6 \mu\text{M}$, 동부지역에서 $70.0 \pm 5.9 \mu\text{M}$, 북부지역에서 $71.2 \pm 5.4 \mu\text{M}$, 서부지역에서 $68.4 \pm 5.5 \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DOC 농도는 북부지역에서 높게 나타났고, 남부지역에서 낮게 나타났다. DON 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $5.0 \pm 0.9 \mu\text{M}$, 동부지역에서 $5.6 \pm 1.1 \mu\text{M}$, 북부지역에서 $5.2 \pm 1.0 \mu\text{M}$, 서부지역에서 $5.1 \pm 0.6 \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DON 농도는 동부지역에서 높게 나타났고, 남부지역에서 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 6).

3.2.4 제주도 연안해수 중 겨울철 수온, 염분 및 용존유기물질의 분포

제주도 연안해수 중 겨울철 수온의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $17.1\pm 0.8^{\circ}\text{C}$, 동부지역에서 $16.5\pm 1.3^{\circ}\text{C}$, 북부지역에서 $15.5\pm 1.0^{\circ}\text{C}$, 서부지역에서 $16.1\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 의 수온이 나타났다. 상대적으로 평균 수온은 남부지역에서 높게 나타났고, 북부지역에서 낮게 나타났다. 염분의 분포를 살펴보면, 남부지역에서 34.3 ± 0.5 , 동부지역에서 34.3 ± 0.5 , 북부지역에서 34.3 ± 0.5 , 서부지역에서 34.3 ± 0.5 의 염분 분포가 나타났다. 상대적으로 평균 염분은 모든 지역에서 비슷하게 나타났다. DOC 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $61.6\pm 5.6\ \mu\text{M}$, 동부지역에서 $65.4\pm 6.0\ \mu\text{M}$, 북부지역에서 $66.8\pm 9.0\ \mu\text{M}$, 서부지역에서 $61.7\pm 4.5\ \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DOC 농도는 북부지역에서 높게 나타났고, 남부지역에서 낮게 나타났다. DON 농도 분포를 살펴보면, 남부지역에서 $5.7\pm 1.3\ \mu\text{M}$, 동부지역에서 $6.1\pm 1.2\ \mu\text{M}$, 북부지역에서 $6.5\pm 1.9\ \mu\text{M}$, 서부지역에서 $5.7\pm 1.3\ \mu\text{M}$ 의 농도가 나타났다. 상대적으로 평균 DON 농도는 북부지역에서 높게 나타났고, 남부지역과 서부지역에서 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 7).

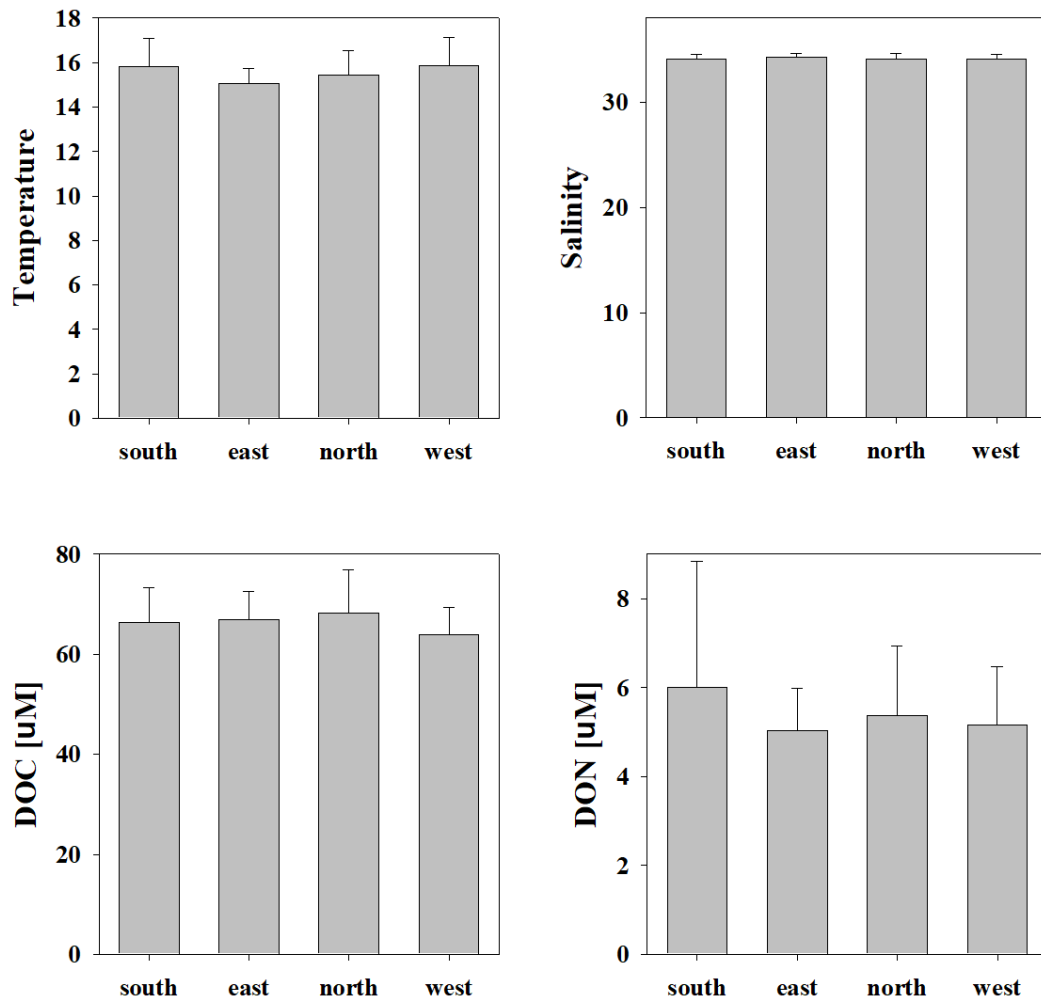


Fig. 4. The spatial variations of temperature, salinity, DOC, and DON during spring.

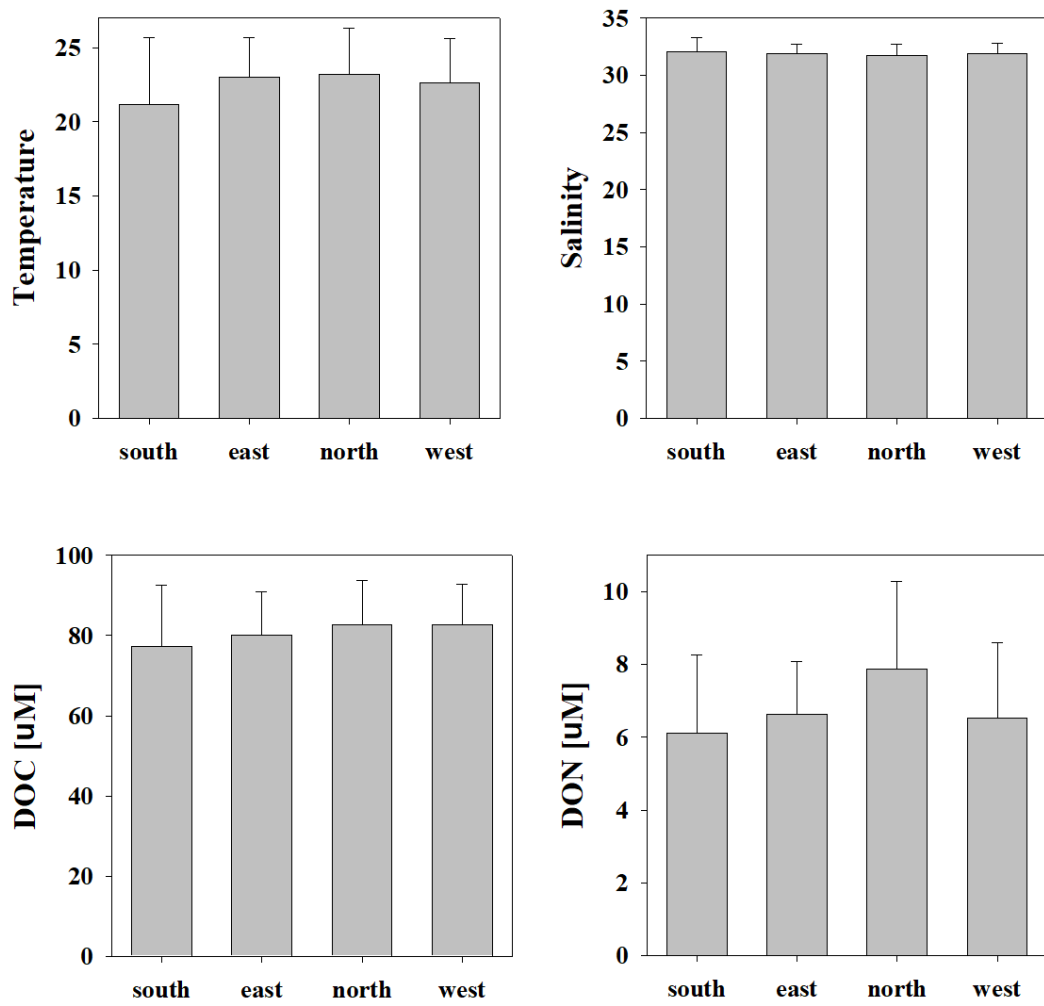


Fig. 5. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during summer.

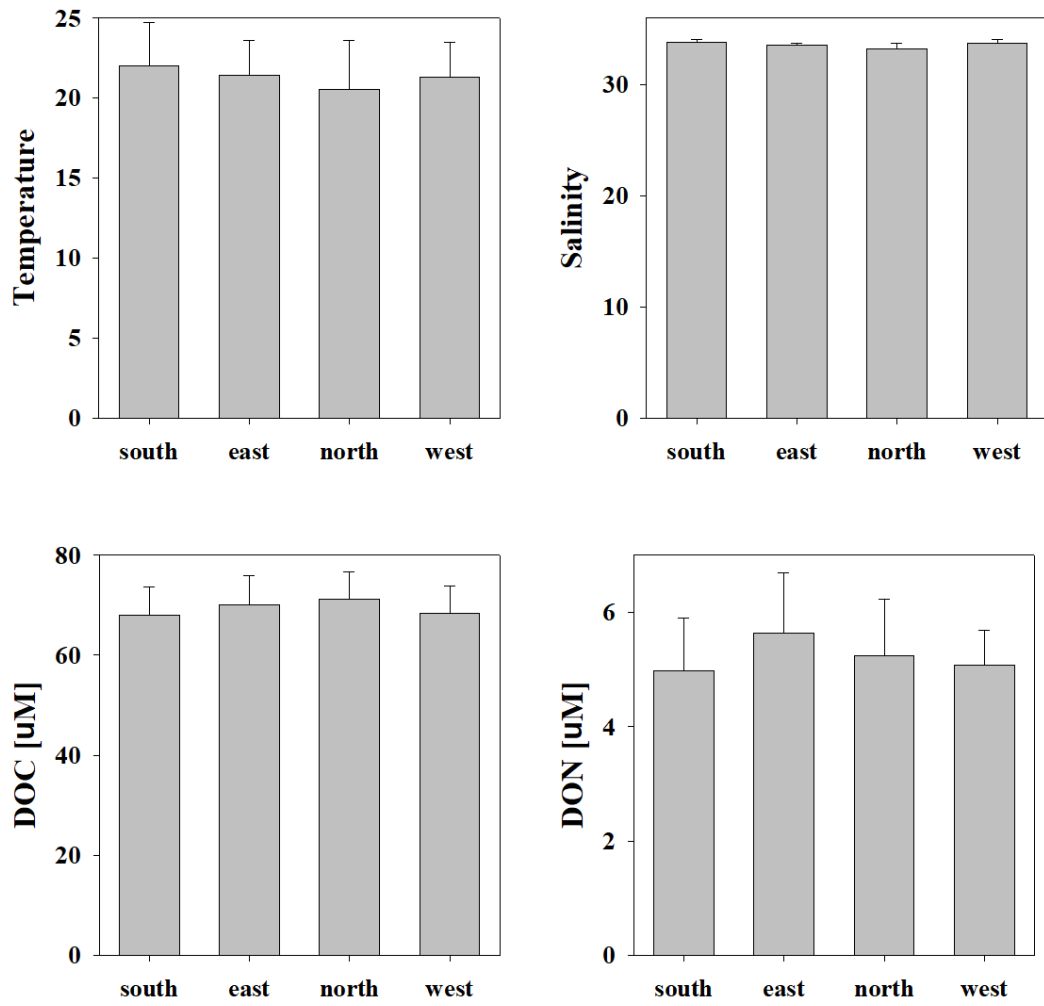


Fig. 6. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during fall.

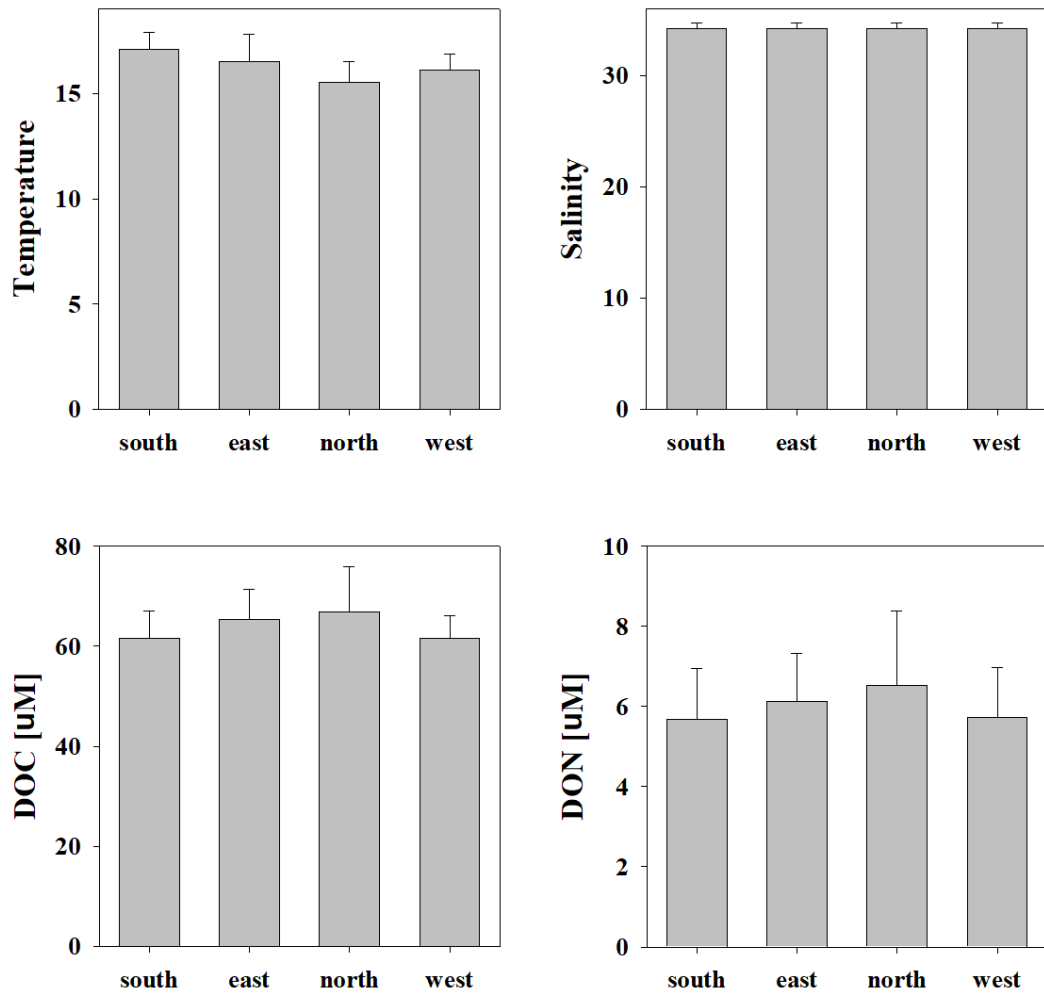


Fig. 7. The spatially variations of temperature, salinity, DOC, and DON during winter.

3.3 염분, 수온 및 용존유기물질, Chl.a의 월별 수심 분포

3.3.1 월별 염분, 수온 수심 분포

수심에 따른 염분분포를 살펴보면 1월 표층 염분은 St.09, 10에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.10, 12에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 2월 표층 염분은 St.01에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 3월 표층 염분은 St.05에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.08에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 4월 표층 염분은 St.09에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.10, 12에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 5월 표층 염분은 St.01에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 6월 표층 염분은 St.07에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 7월 표층 염분은 St.05에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 8월 표층 염분은 St.11에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.03에서 낮게 나타났다. 9월 표층 염분은 St.02에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 10월 표층 염분은 St.01에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.02에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 11월 표층 염분은 St.04에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 12월 표층 염분은 St.03에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.03에서 높게 나타났고, St.08, 12

에서 낮게 나타났다(Fig. 8). 1, 2, 3월은 전체적으로 높은 염분을 나타냈고, 4, 5월부터 염분이 낮아지기 시작하면서 6월 표층에서 낮은 염분이 나타난다. 7, 8월에서는 표층은 낮은 염분이 나타나고 다른 계절에 비해 수심에 따른 염분분포는 상대적으로 낮게 나타났다. 9, 10, 11, 12월에는 비슷한 염분분포를 보이고 있고, 3, 4월과 비슷한 농도범위가 나타났다(Fig. 15). 수심에 따른 수온분포를 살펴보면 1월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 2월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.6에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 3월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 4월 표층 수온은 St.11에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.03에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 5월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.03에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 7월 표층 수온은 St.07에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.10에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 8월 표층 수온은 St.02에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.03에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 9월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 10월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.02에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 11월 표층 수온은 St.01에서 높게 나타났고, St.07에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 12월 표층 수온은 St.11에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 1월부터

4월까지 대체로 비슷한 수온이 나타났고, 7월부터 9월까지 표층에 수온이 높게 나타난다. 7월과 8월은 대체로 수심 20m까지 수온이 높게 나타났으며, 9월에는 최대 60m까지 수온이 높게 나타났다. 10월부터 수온이 낮아지기 시작하면서 12월에 낮은 수온이 나타났다(Fig. 9).

3.3.2 월별 Chl.a 수심 분포

수심에 따른 Chl.a 분포를 살펴보면 1월 표층은 St.02에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.02에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 2월 표층은 St.02에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.12에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 3월 표층은 St.11에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 4월 표층은 St.05에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.05에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 5월 표층은 St.06에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 7월 표층은 St.06에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.10에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 8월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 9월 표층은 St.11에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 10월 표층은 St.11에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 11월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 12월 표층은 St.01에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서

는 St.05에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 1월부터 3월까지 대체로 낮은 농도를 나타내고 있고, 4월부터 높은 농도가 보이기 시작한다. 5월에 높은 분포는 spring bloom에 의한 것으로 판단된다. 7월에는 주로 동쪽 지역에서 Chl.a 농도가 높게 나타났고, 8월에는 주로 북쪽 지역에서 높은 농도가 나타났다. 9월부터 농도가 낮게 나타나면서 12월에 낮은 농도가 나타났다(Fig. 10).

3.3.3 월별 용존유기물질 수심 분포

수심에 따른 DOC 분포를 살펴보면 1월 표층은 St.06에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.09에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 2월 표층은 St.03에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 3월 표층은 St.10에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.06에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 4월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.03에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.09에서 높게 나타났고, St.03에서 낮게 나타났다. 5월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 6월 표층은 St.10에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.05에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 7월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.10에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 8월 표층은 St.02에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.05에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 9월 표층은 St.06에서 높게 나타났고, St.03에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.09에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 10월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.06에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나

타났다. 11월 표층은 St.10에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.04에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 12월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다(Fig. 11). 수심에 따른 DON 분포를 살펴보면 1월 표층은 St.06에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 2월 표층은 St.08에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.02에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 3월 표층은 St.04에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.06에서 높게 나타났고, St.10에서 낮게 나타났다. 4월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.04에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.01에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 5월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.06에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 6월 표층은 St.10에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.07에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 7월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.06에서 높게 나타났고, St.12에서 낮게 나타났다. 8월 표층은 St.02에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.08에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다. 9월 표층은 St.11에서 높게 나타났고, St.02에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.10에서 높게 나타났고, St.11에서 낮게 나타났다. 10월 표층은 St.07에서 높게 나타났고, St.03에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.09에서 높게 나타났고, St.08에서 낮게 나타났다. 11월 표층은 St.02에서 높게 나타났고, St.05에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.11에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 12월 표층은 St.10에서 높게 나타났고, St.09에서 낮게 나타났다. 저층에서는 St.03에서 높게 나타났고, St.01에서 낮게 나타났다(Fig. 12). DOC는 1월부터 5월까지 낮

은 농도의 DOC농도가 수심 전체적으로 분포가 되어있지만, 6월부터 상대적으로 높은 DOC 농도가 나타난다. 7월과 8월에서 표층에만 높은 DOC 농도가 나타나고 9월부터 점차 낮아지는 농도를 확인할 수 있다. 제주도 연안해양에는 강물과, 지하수, 등 여러 요인이 있지만, 강물은 건천으로 연안해양에 대한 유입이 없다고 볼 수 있다. 또한, 지하수의 경우 일반적으로 지하수에는 높은 농도의 DOC가 분포가 되어있어 염분이 증가할수록 DOC 농도는 점차 감소하는 음의 상관관계를 보여야 하는데, 제주도의 지하수는 DOC 농도가 낮아 염분이 증가할수록 DOC 농도가 감소하는 연구 결과가 있다(Song et al. 2018). 이처럼 제주도의 지하수 DOC 농도가 낮아 제주연안해양에 큰 영향은 없는 것으로 판단된다. 따라서 7월과 8월에 표층에서 높은 DOC 농도는 다른 요인에 의해서 나타난 것으로 판단된다. DON의 경우 상대적으로 8월의 농도가 높게 나타났으며, DOC와 마찬가지로 다른 요인에 의해서 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다.

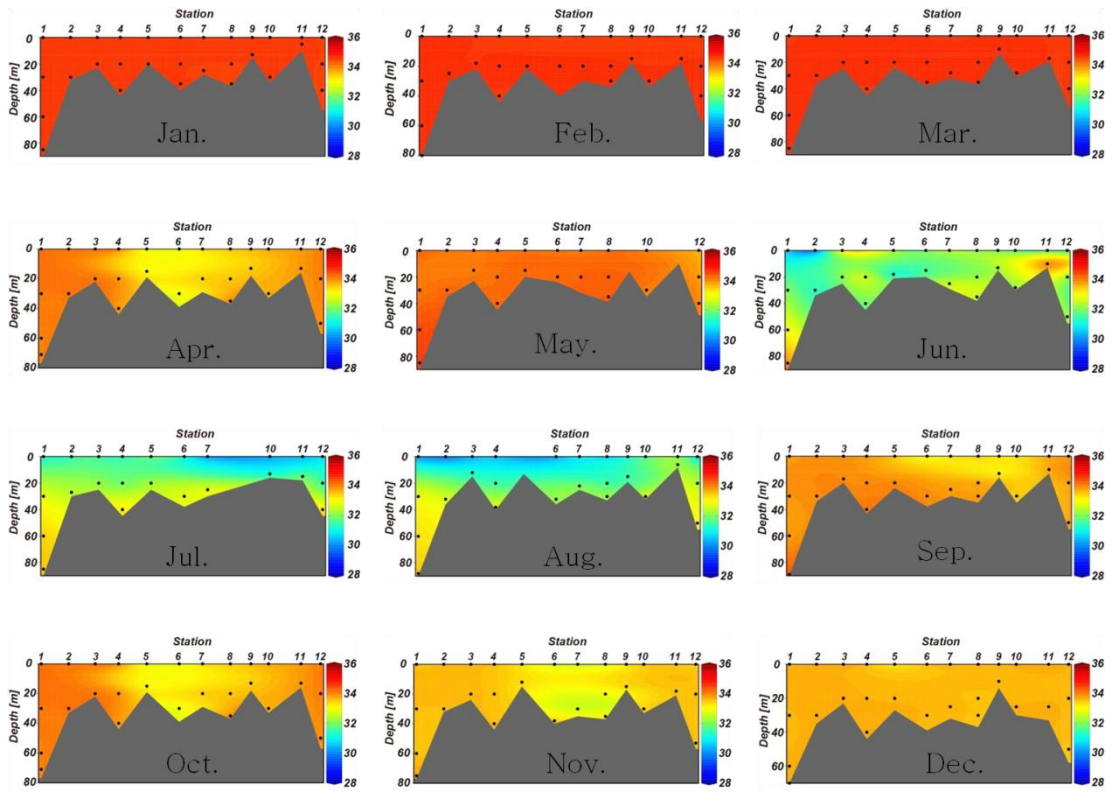


Fig. 8. Horizontal and vertical distributions of salinity during the sampling period.

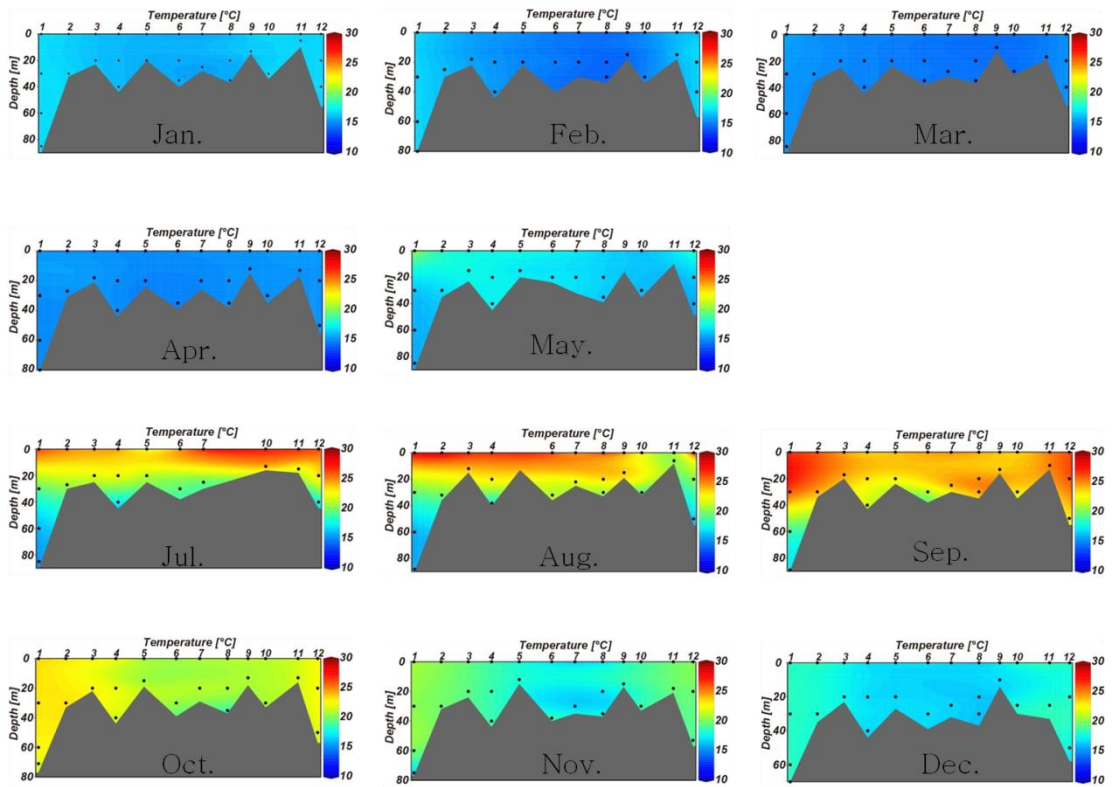


Fig. 9. Horizontal and vertical distributions of temperature during the sampling period.

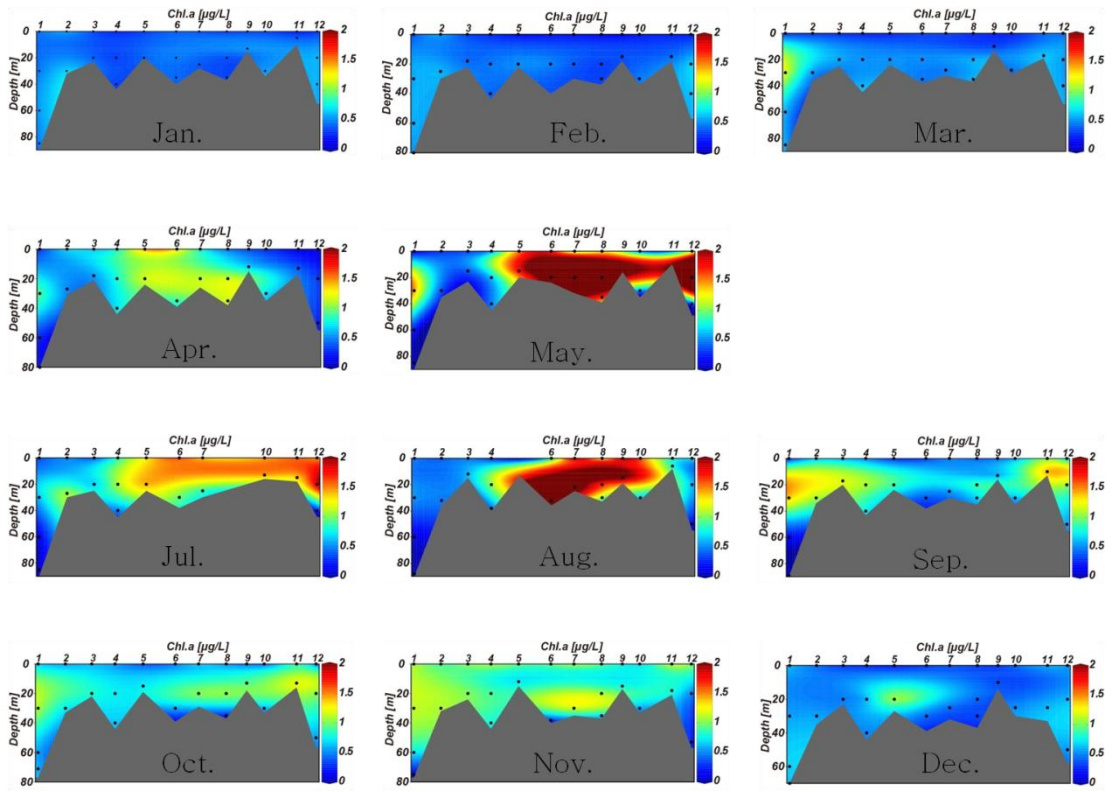


Fig. 10. Horizontal and vertical distributions of Chl.a during the sampling period.

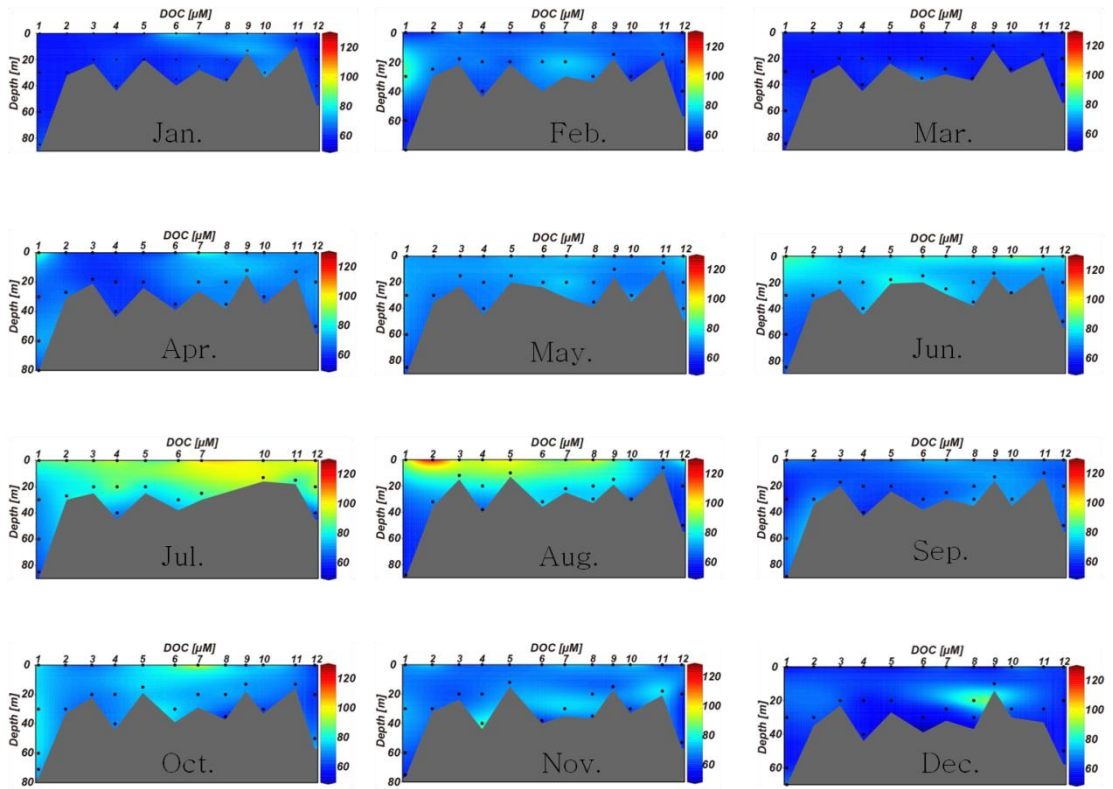


Fig. 11. Horizontal and vertical distributions of DOC during the sampling period.

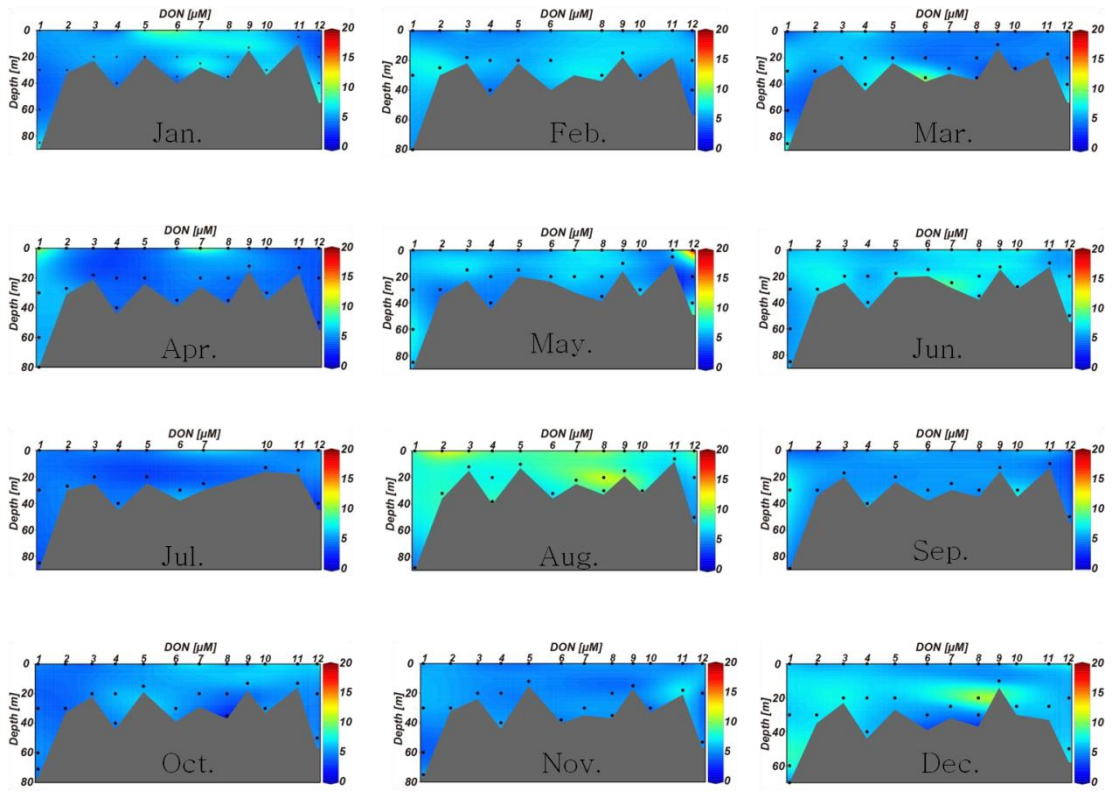


Fig. 12. Horizontal and vertical distributions of DON during the sampling period.

3.4 제주도 연안 지역별 용존유기물질의 기원

3.4.1 제주도 남부 연안해양

제주도 남부지역 연안해양에서 용존유기물질의 기원을 파악하기 위하여, 염분과 DOC, DON의 상관관계를 계절별로 살펴보았다. 봄철에는 DOC와 상관관계에서는 낮은 음의 상관관계가 나타났지만, DON의 상관관계는 나타나지 않았다(Fig. 13). 1차 생산자들에 의한 자생성 기원을 파악하기 위해 Chl.a의 상관관계를 살펴 보았을 때, 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 14). 용존유기물의 상성을 파악하기 위하여 DOC와 FDOM의 상관관계를 보았을 때, 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 15). 이는 제주연안해양은 여러 형태의 영향을 받은 DOM이 서로 혼합이 되어 있는 것으로 판단된다. 여름철 중 염분과 DOC, DON의 상관관계는 음의 상관관계가 나타났고(Fig. 13), Chl.a와 DOC, DON은 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 14). 하지만 DOC와 FDOM의 상관관계를 살펴보면 C2에서 양의 상관관계가 나타났다(Fig. 15). C2는 육상기원, 타지성기원으로 알려져 있고(Coble 2007), 여름철 제주도는 양자강희석수의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Lee et al. 2014; Kim et al. 2018; Kwon et al. 2018). 따라서, 여름철 DOC와 C2가 양의 상관관계가 보이는 것은 양자강희석수의 영향이 다른 영향보다 크게 받는 것으로 판단된다. 가을철과 겨울철에서는 염분과 DOC, DON의 상관관계는 나타나지 않았고(Fig. 13), Chl.a와 DOC, DON의 상관관계도 나타났지 않았다(Fig. 14).

3.4.2 제주도 동부 연안해양

제주도 동부지역에서 봄철 측정된 염분과 DOC, DON의 상관관계는 나타나지 않았고(Fig. 16), Chl.a와 DOC, DON의 상관관계가 나타나지 않았다. DOC와 FDOM

의 상관관계는 모든 피크에서 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 18). 여름철 염분과 DOC의 상관관계는 음의 상관관계가 나타났고, DON의 상관관계는 나타나지 않았다(Fig. 16). Chl.a와 DOC, DON의 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 17). DOC와 FDOM의 상관관계를 살펴보면, 남부지역과 마찬가지로 C2에서 낮은 양의 상관관계를 보였다(Fig. 18). 지형적 특성상 제주도의 동쪽에 있어서 양자강희석수의 영향을 남부지역보다 영향을 적게 받은 것으로 판단된다. 가을철과 겨울철에서 염분과 DOC, DON의 상관관계는 나타나지 않았고(Fig. 16), Chl.a와 상관관계도 나타나지 않았다(Fig. 17).

3.4.3 제주도 북부 연안해양

제주도 북부지역에서 봄철 측정된 염분과 DOC, DON의 상관관계는 나타나지 않았고(Fig. 19), Chl.a와 상관관계도 나타나지 않았다(Fig. 20). DOC와 FDOM의 상관관계는 모든 피크에서 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 21). 여름철 염분과 DOC는 높은 음의 상관관계가 나타났고, DON는 낮은 음의 상관관계를 나타냈다(Fig. 19). Chl.a와 DOC, DON는 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 20). DOC와 FDOM과의 상관관계는 남부 동부지역과 비슷하게 C2에서 낮은 양의 상관관계가 나타났다(Fig. 21). 가을철 염분과 DOC는 낮은 음의 상관관계가 나타났고, DON의 상관관계는 나타나지 않았고(Fig. 19), Chl.a와 상관관계도 나타나지 않았다(Fig. 20). 다른 지역과는 다르게 DOC와 C1은 양의 상관관계가 나타났다. C1은 미생물에 의해 분해과정에서 부식산(humic acid)과 풀빅산(fulvic acid)의 특성을 가진 해양기원의 용존유기물 기원으로 알려졌다(Coble 1996). 따라서, 북부지역에서 가을철 염분과 DOC의 음의 상관관계는 해양기원의 미생물에 활동으로 판단된다(Fig. 21). 겨울철 염분과 DOC, DON의 상관관계는 나타나지 않았고(Fig. 19), Chl.a와 상관관

계도 나타나지 않았다(Fig. 20).

3.4.4 제주도 서부 연안해양

제주도 서부지역에서 봄철 측정된 염분과 DOC은 상관관계가 나타나지 않았고, DON의 상관관계는 양의 상관관계가 나타나는 것처럼 보이지만, 봄철인 3, 4, 5월의 각각의 달에 대해 분류되어 있는 것으로 보아 상관관계가 없는 것으로 판단된다(Fig. 22). Chl.a와 DOC, DON의 상관관계는 나타나지 않았다(Fig. 23). 여름철 염분과 DOC는 높은 음의 상관관계가 나타났고, DON의 상관관계는 낮은 음의 상관관계가 나타났다(Fig. 22). Chl.a와 DOC, DON과 상관관계는 나타나지 않았다(Fig. 23). 서부지역은 다른 지역과 다르게 모든 components에 대하여 양의 상관관계가 나타났다(Fig. 24). C1과 C3에서 유의미한 상관관계가 나타난 것은 여름철 양자강 희석수는 제주도 서쪽지역에 영향을 상대적으로 많이 주고, 중소 규모 동물플랑크톤이 우점하고 있어서(Yoon et al. 2008), C3과 양의 상관관계가 나타나는 것은 식물플랑크톤 보다는 동물플랑크톤의 활동으로 인해 효과적으로 DOC가 생성된다고 판단되고, C1과 양의 상관관계가 보이는 것은 해양미생물의 활동 DOC의 생성이 우세한 것으로 판단된다. 가을철과 겨울철에서 염분과 DOC, DON은 상관관계가 나타나지 않았고(Fig. 22), Chl.a와 DOC, DON의 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 23).

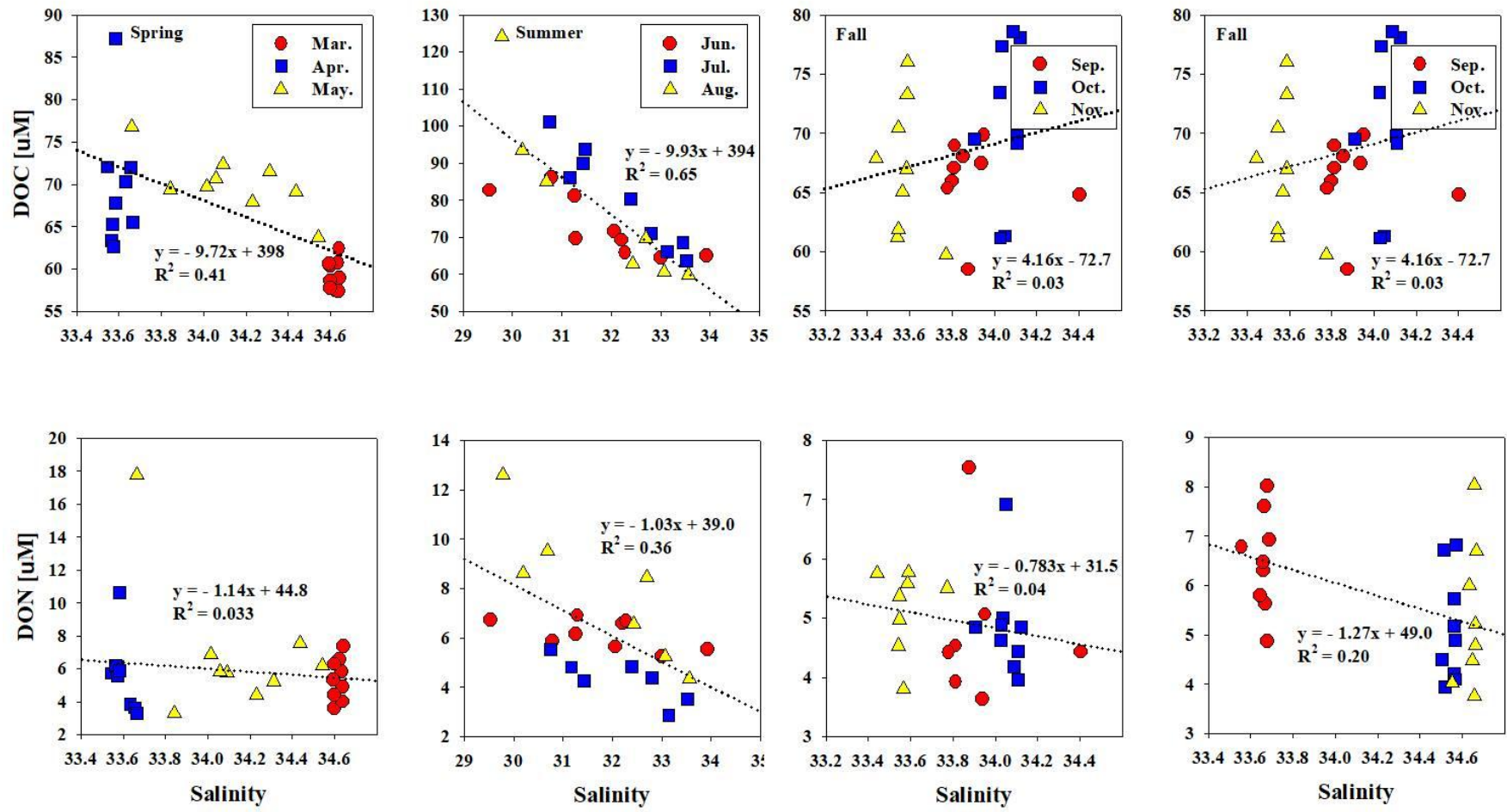


Fig. 13. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the northern area.

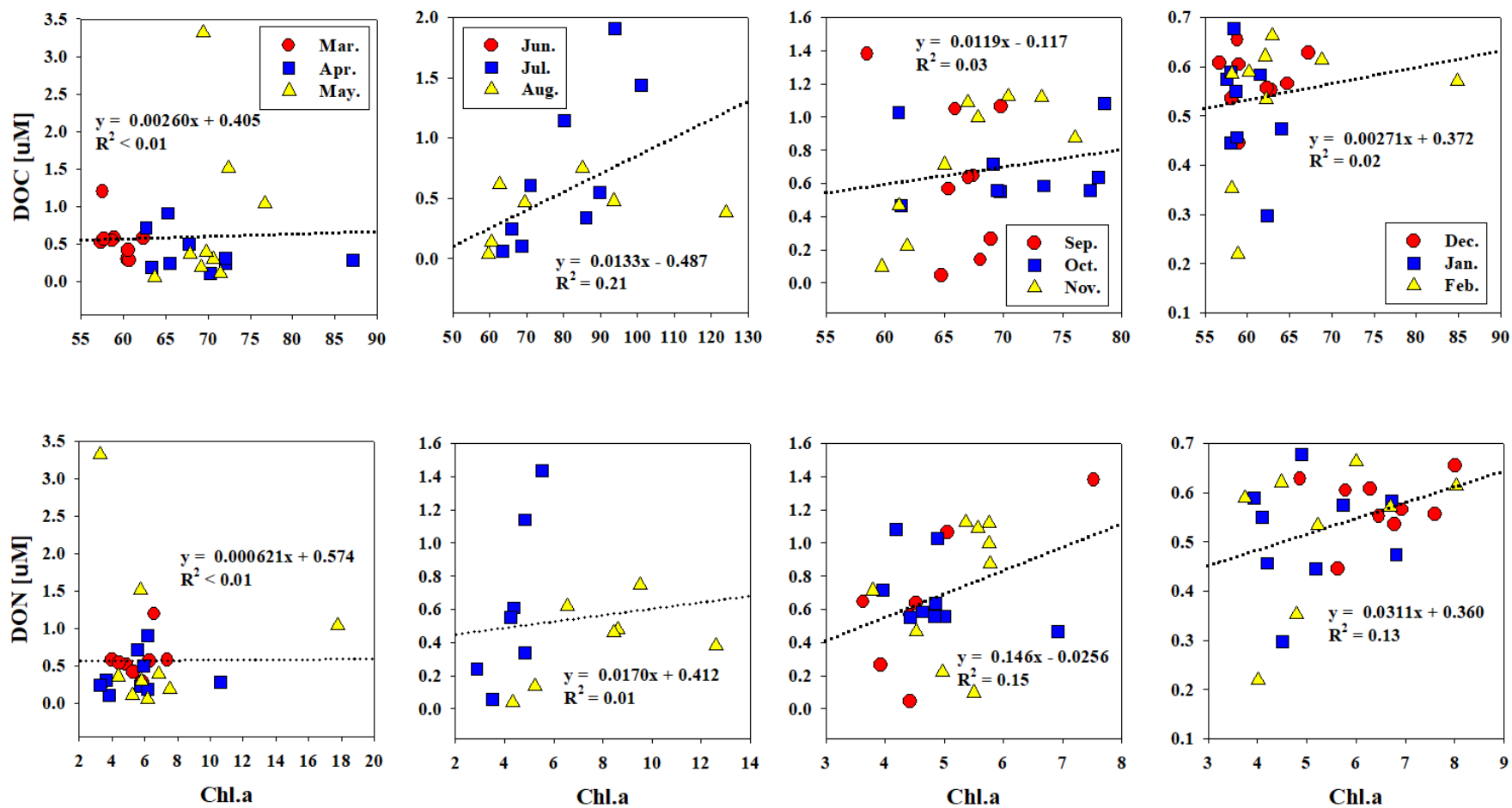


Fig. 14. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the northern area.

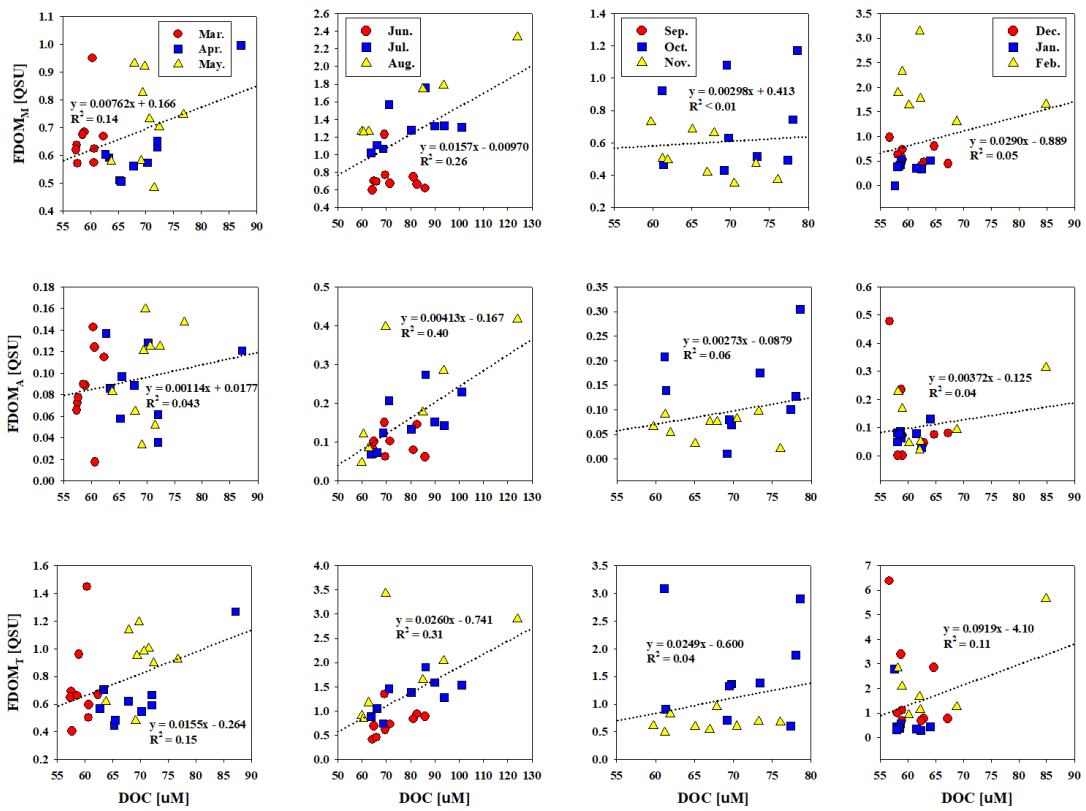


Fig. 15. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the northern area.

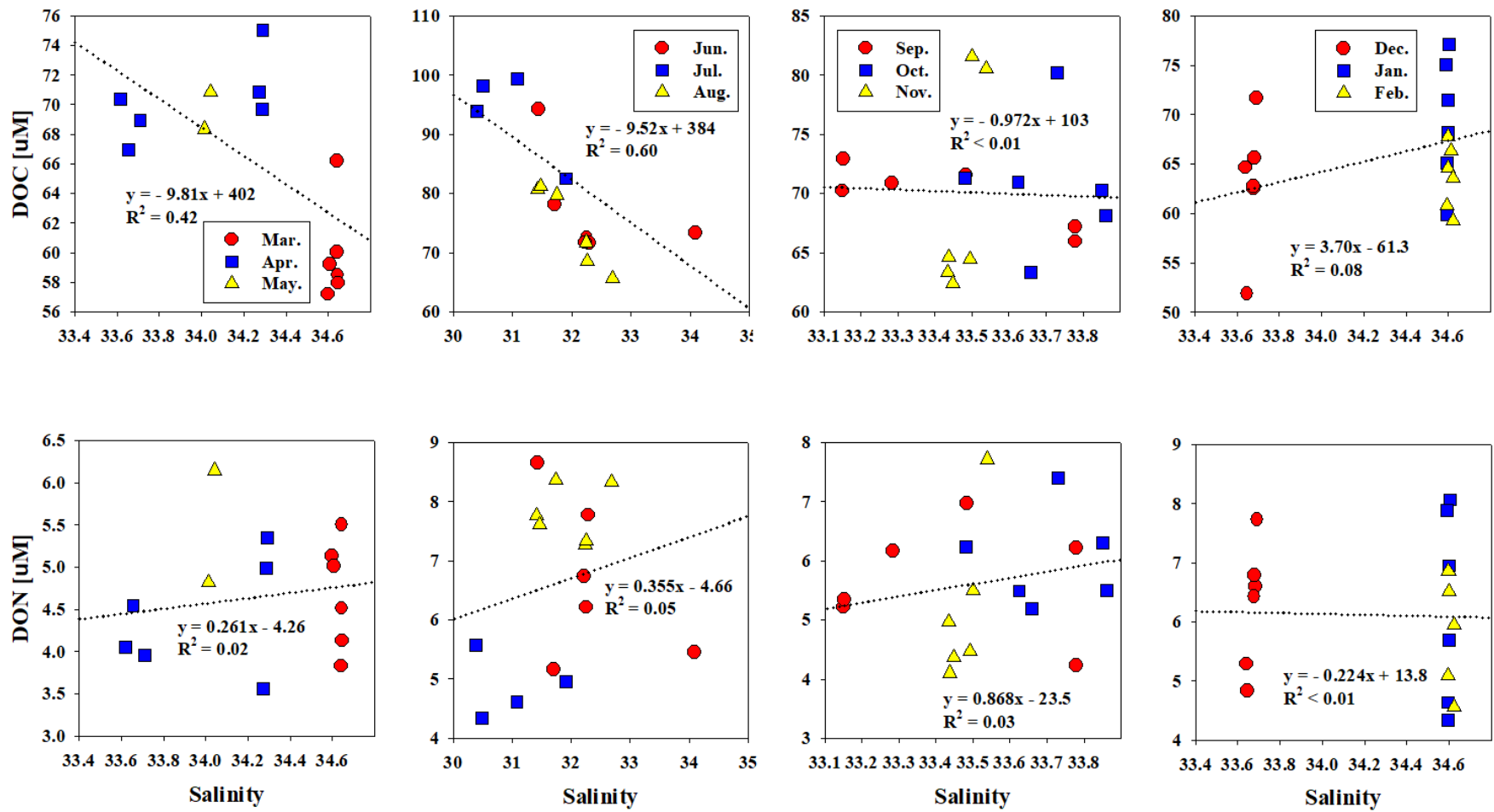


Fig. 16. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the eastern area.

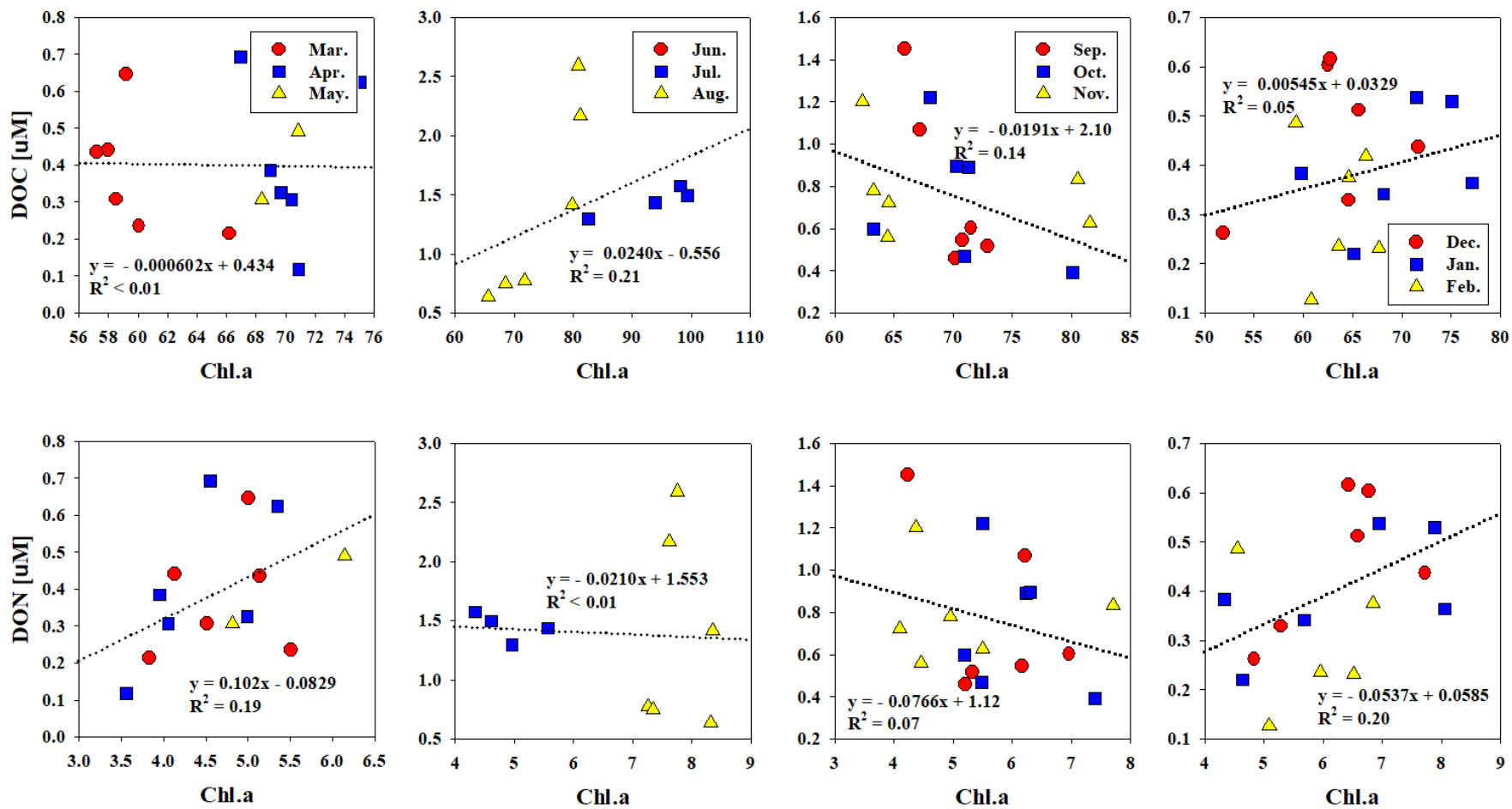


Fig. 17. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the eastern area.

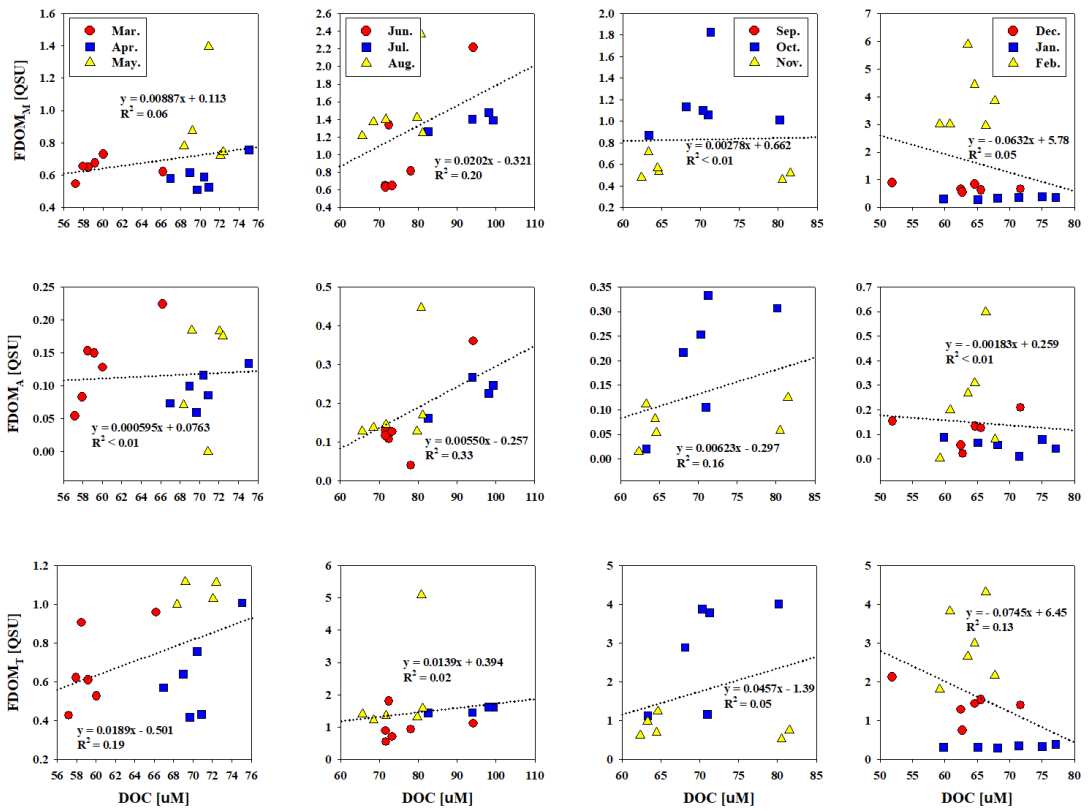


Fig. 18. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the eastern area.

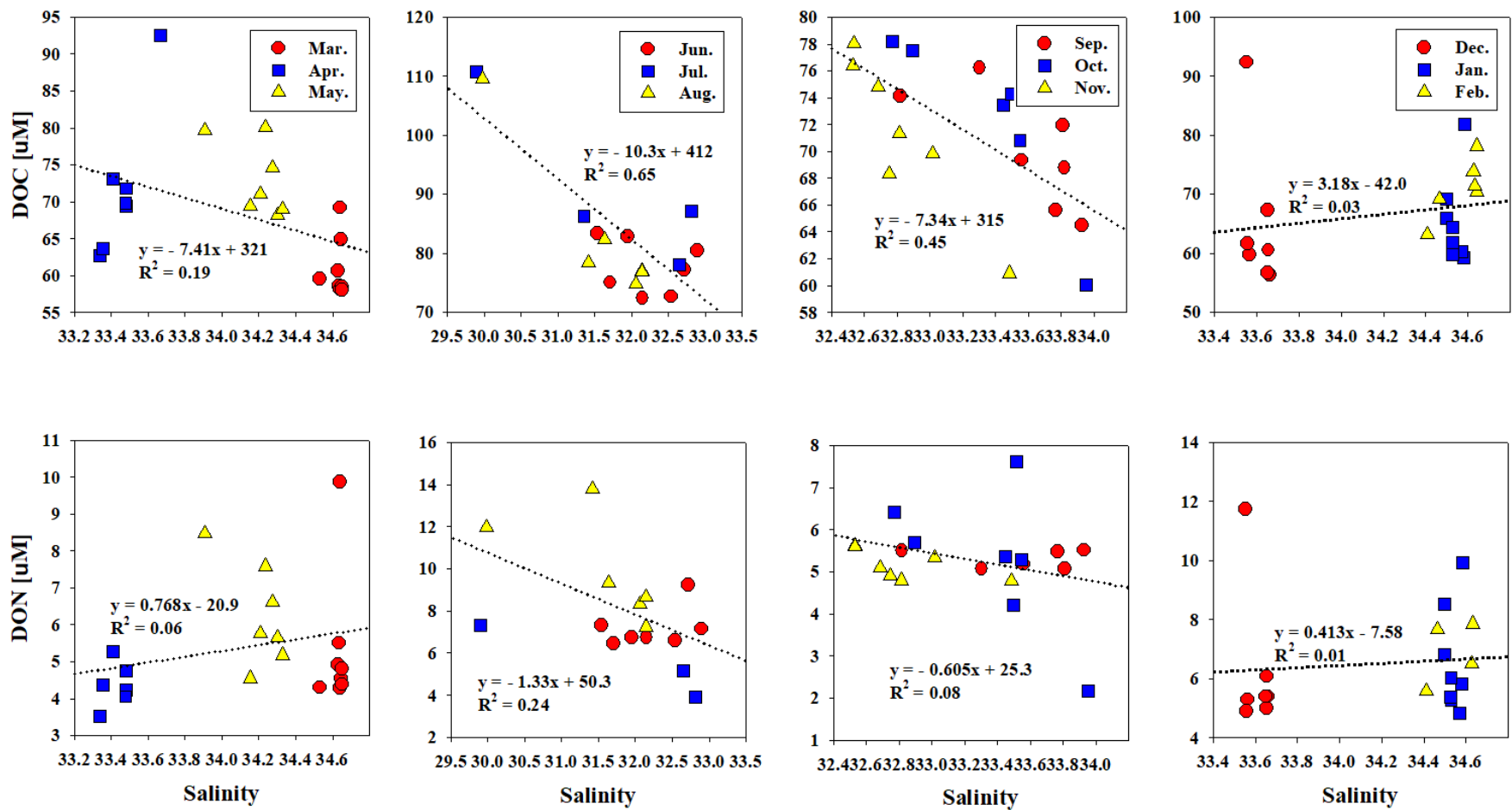


Fig. 19. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the northern area.

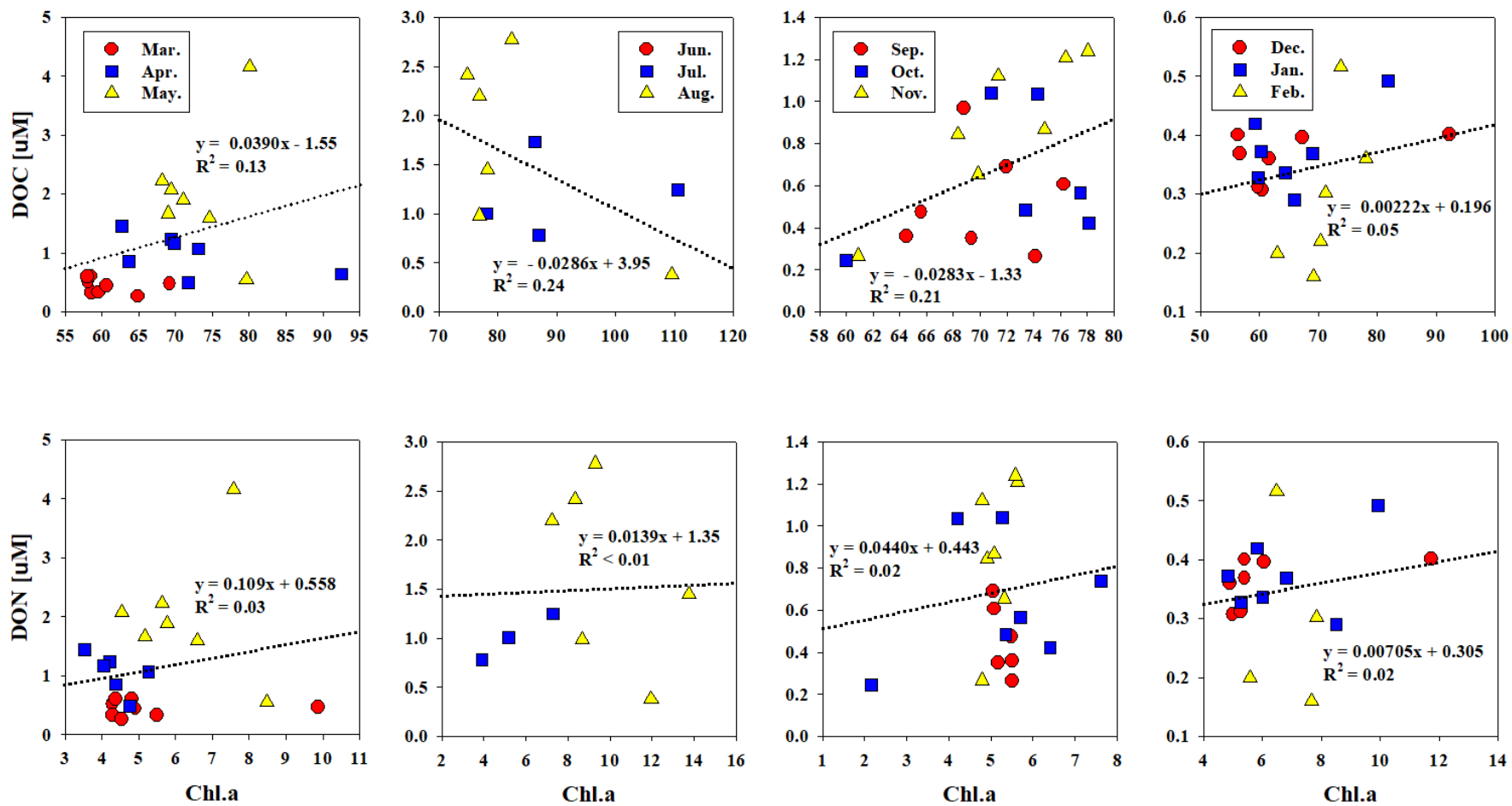


Fig. 20. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the northern area.

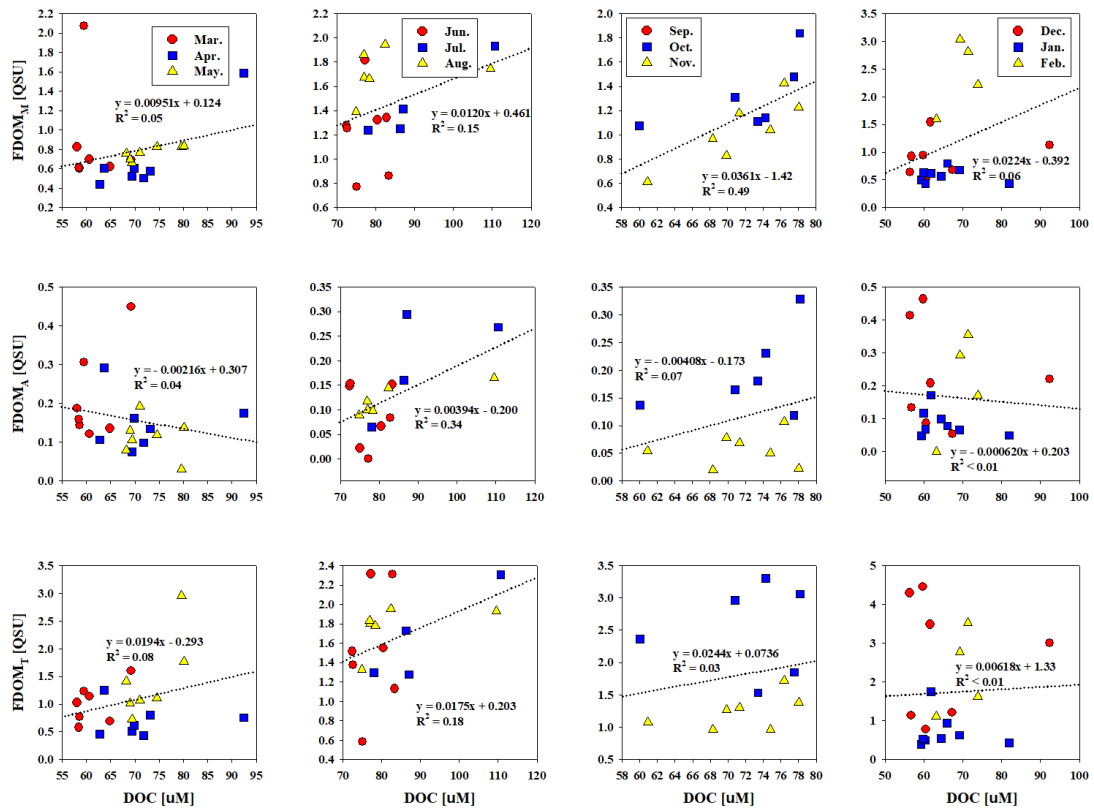


Fig. 21. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the northern area.

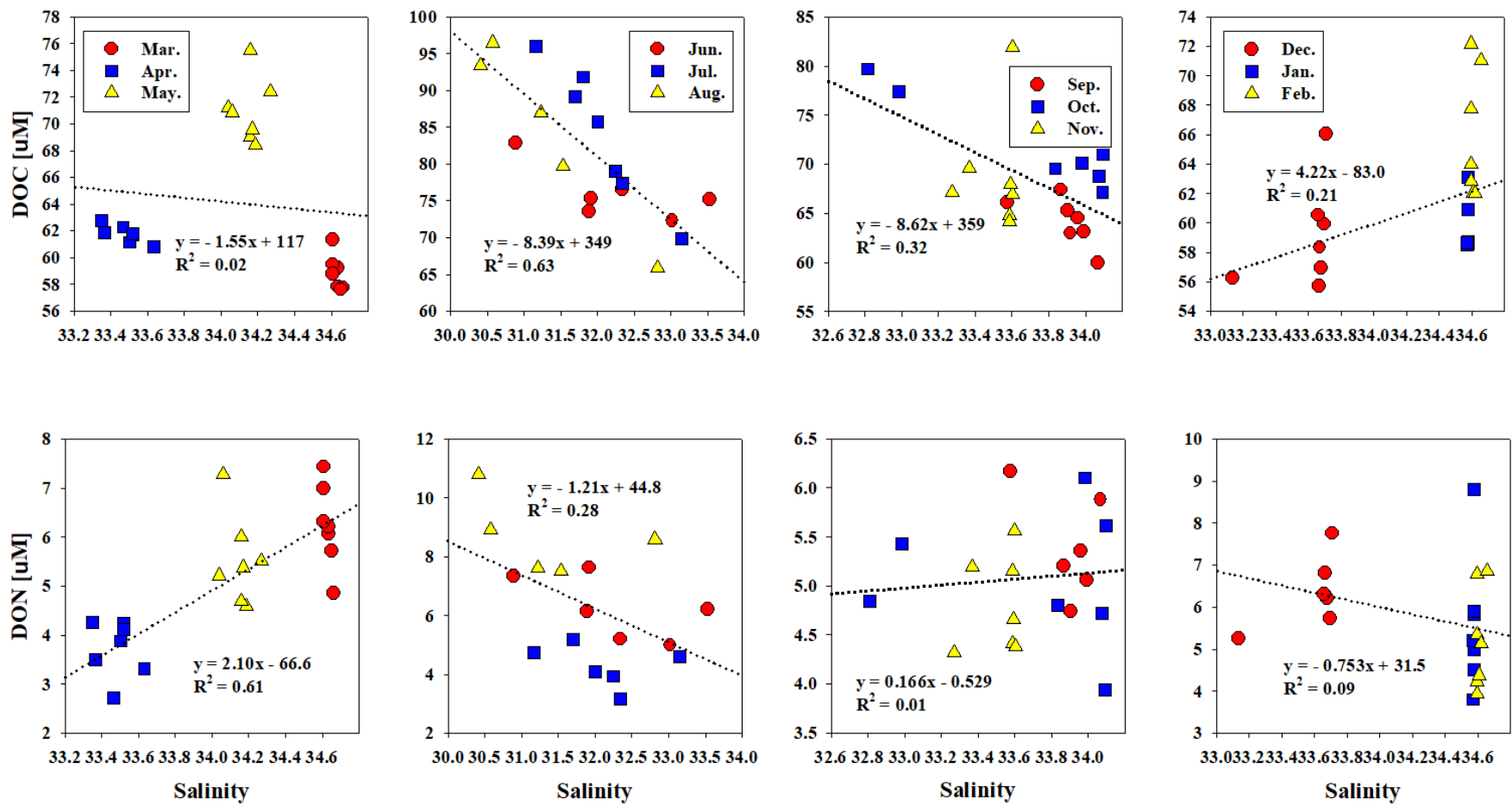


Fig. 22. The plots of DOC concentration vs. Salinity in the western area.

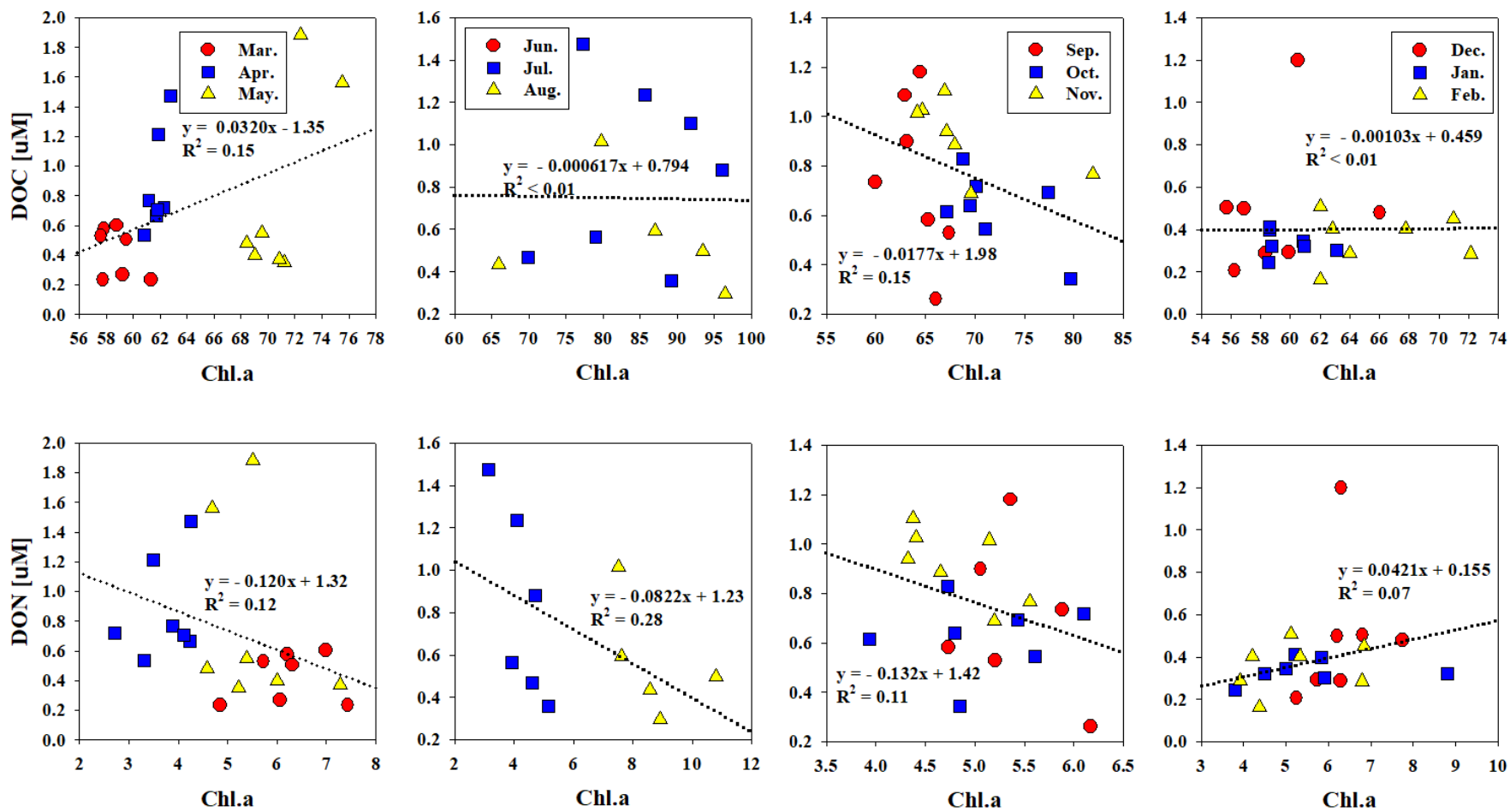


Fig. 23. The plots of DOC and DON concentration vs. Chlorophyll a in the western area.

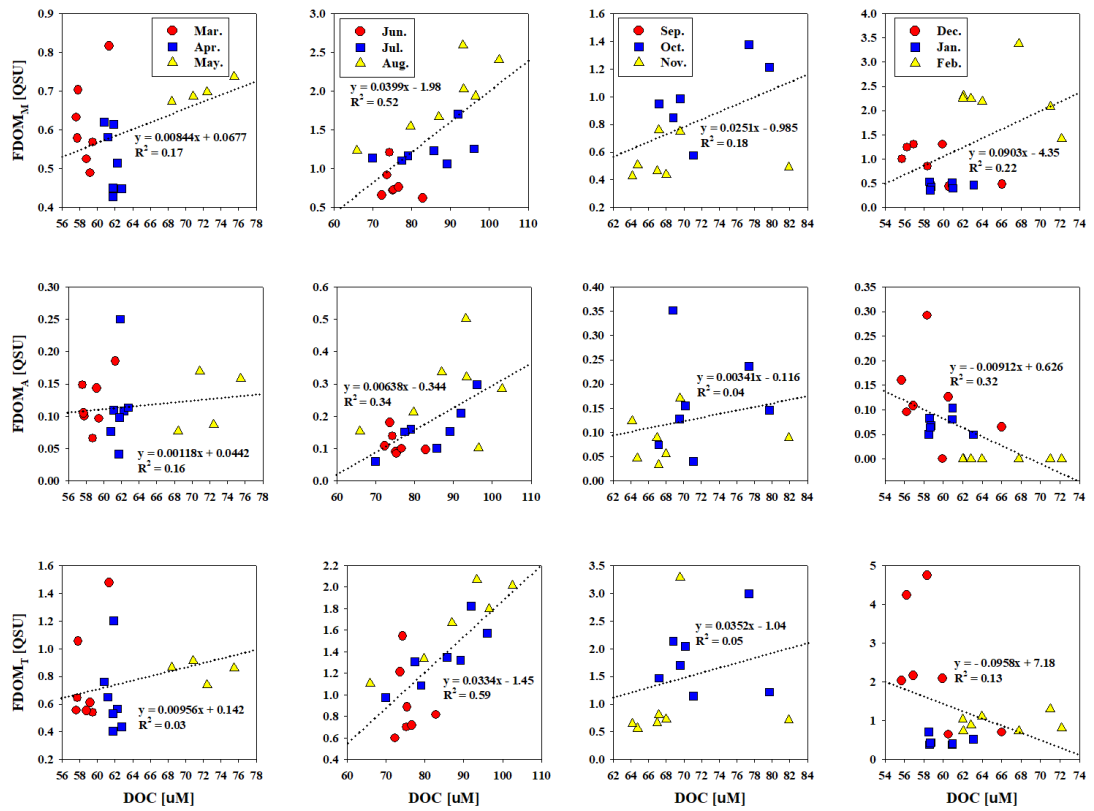


Fig. 24. The plots of FDOM vs. DOC concentration in the western area.

4. 요약 및 결론

제주연안 해양환경에서 2017년 1월부터 12월까지 용존유기물질(dissolved organic matter: DOM)의 계절별 변동을 파악하기 위해 용존유기탄소(dissolved organic carbon: DOC), 용존유기질산(dissolved organic nitrate: DON), 클로로필 a (chlorophyll-a: Chl.a), 형광용존유기물질(fluorescent dissolved organic matter: FDOM)을 분석하였다. 제주도 연안 환경에서 DOC, DON, Chl.a의 농도는 각각 53.71-135.73 μM , 0.17-33.08 μM , 0.04-4.16 mg/m^3 범위를 보였다. 계절적으로 여름철에 높은 농도(DOC: 80 ± 12 μM , DON: 9 ± 2 μM)가 나타났고, 지역적으로 제주도 북부에서 높은 농도(DOC: 72 ± 11 μM , DON: 6 ± 2 μM)가 나타났다. DOM과 염분의 상관관계는 여름철 모든 지역(DOC: $r^2 = 0.65$, DON: $r^2 = 0.28$)과 가을철 북부지역(DOC: $r^2 = 0.45$)에서 상관관계가 나타났다. 또한, 자생시기원을 파악할 수 있는 Chl.a와 DOM의 상관관계는 모든 계절에 나타나지 않았다. 따라서, 용존유기물질의 상성을 파악하고자 EEMs(excitation-emission matrix spectroscopy)를 이용하여 3개의 component를 구별하였다. C1는 미생물에 의해 분해과정에서 부식산(humic acid)과 풀빅산(fulvic acid)의 특성을 가진 해양기원의 용존유기물질의 기원을 의미하고, C2는 육상기원, 타지성의 기원을 의미하고, C3은 플랑크톤에 의한 protein-like을 의미한다. 따라서, FDOM과 DOC의 상관관계를 살펴보면, 봄철에는 유의미한 상관관계가 나타나지 않았지만, 여름철 모든

지역에서는 DOC 와 C2 의 양의 상관관계($r^2= 0.63$)를 보여 육상기원 DOM 의 유입이 있을 것으로 판단된다. 하지만 여름철 서부지역에서는 다른 지역과 달리 C2 와의 상관관계뿐만 아니라 C1 과 C3 도 유의미한 양의 상관관계를 보여 육상기원의 DOM 의 유입뿐만 아니라 해양생물의 의해 효과적으로 DOM 이 생성된 것으로 판단된다. 또한, 가을철 북부지역에서 DOC 와 C1 와 상관관계가 나타났고, 가을철 북부지역에서는 해양미생물의 활동으로 인한 DOM 생성이 우세한 것으로 판단된다. 향후, 제주도연안환경의 용존유기물질의 거동을 파악하고, 이해하기 위해서는 지속적인 모니터링과 함께 다양한 동위원소 추적자 이용분석이 필요하다.

5. 참고문헌

- Aarnos, H., Ylöstalo, P., & Vähätalo, A. V. (2012). Seasonal phototransformation of dissolved organic matter to ammonium, dissolved inorganic carbon, and labile substrates supporting bacterial biomass across the Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 117(G1).
- Amon, R. M., & Benner, R. (1994). Rapid cycling of high-molecular-weight dissolved organic matter in the ocean. *Nature*, 369(6481), 549.
- Amon, R. M., & Benner, R. (1996). Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography*, 41(1), 41-51.
- Antia, N. J., Harrison, P. J., & Oliveira, L. (1991). The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology. *Phycologia*, 30(1), 1-89.
- Berman, T., & Bronk, D. A. (2003). Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems. *Aquatic microbial ecology*, 31(3), 279-305.
- Bierman, V. J., Hinz, S. C., Zhu, D. W., Wiseman, W. J., Rabalais, N. N., & Turner, R. E. (1994). A preliminary mass balance model of primary productivity and dissolved oxygen in the Mississippi River Plume/Inner Gulf Shelf Region. *Estuaries*, 17(4), 886-899.
- Birdwell, J. E., & Engel, A. S. (2010). Characterization of dissolved organic matter in cave and spring waters using UV-Vis absorbance and fluorescence spectroscopy. *Organic Geochemistry*, 41(3), 270-280.
- Carlson, C. A., Ducklow, H. W., & Michaels, A. F. (1994). Annual flux of dissolved organic carbon from the euphotic zone in the northwestern Sargasso Sea. *Nature*, 371(6496), 405.

- Carmack, E. C., Macdonald, R. W., & Jasper, S. (2004). Phytoplankton productivity on the Canadian Shelf of the Beaufort Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 277, 37-50.
- Cauwet, G., & Mackenzie, F. T. (1993). Carbon inputs and distribution in estuaries of turbid rivers: the Yang Tze and Yellow rivers (China). *Marine Chemistry*, 43(1-4), 235-246.
- Cauwet, G., & Sidorov, I. (1996). The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution. *Marine Chemistry*, 53(3-4), 211-227.
- Chen, Z., Li, Y., & Pan, J. (2004). Distributions of colored dissolved organic matter and dissolved organic carbon in the Pearl River Estuary, China. *Continental Shelf Research*, 24(16), 1845-1856.
- Cho, H. M., Kim, G., Kwon, E. Y., Moosdorf, N., Garcia-Orellana, J., & Santos, I. R. (2018). Radium tracing nutrient inputs through submarine groundwater discharge in the global ocean. *Scientific reports*, 8(1), 2439.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology progress series*, 210, 223-253.
- Coble, P. G. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Marine chemistry*, 51(4), 325-346.
- Coble, P. G. (2007). Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color. *Chemical reviews*, 107(2), 402-418.
- Cotner Jr, J. B., & Gardner, W. S. (1993). Heterotrophic bacterial mediation of ammonium and dissolved free amino acid fluxes in the Mississippi River plume. *Marine Ecology Progress Series*, 75-87.
- Davies, P. (2004). Nutrient processes and chlorophyll in the estuaries and plume of the Gulf of Papua. *Continental Shelf Research*, 24(19), 2317-2341.

- Deutsch, B., Alling, V. K. G., Humborg, C., Korth, F., & Mörth, C. M. (2012). Tracing inputs of terrestrial high molecular weight dissolved organic matter within the Baltic Sea ecosystem.
- van Dongen, B. E., Zencak, Z., & Gustafsson, Ö. (2008). Differential transport and degradation of bulk organic carbon and specific terrestrial biomarkers in the surface waters of a sub-arctic brackish bay mixing zone. *Marine Chemistry*, *112*(3-4), 203-214.
- Emerson, S., & Hedges, J. I. (1988). Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography*, *3*(5), 621-634.
- Ferrari, G. M. (2000). The relationship between chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon in the European Atlantic coastal area and in the West Mediterranean Sea (Gulf of Lions). *Marine Chemistry*, *70*(4), 339-357.
- Fogg, G. E. (1983). The ecological significance of extracellular products of phytoplankton photosynthesis. *Botanica marina*, *26*(1), 3-14.
- Frithsen, J. (1995). An ecosystem level experiment on nutrient limitation in temperate coastal marine environments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, *116*, 171-179.
- Fuhrman, J. (1990). Dissolved free amino acid cycling in an estuarine outflow plume. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, *66*(1-2), 197-203.
- Gao, Q., Tao, Z., Shen, C., Sun, Y., Yi, W., & Xing, C. (2002). Riverine organic carbon in the Xijiang River (South China): seasonal variation in content and flux budget. *Environmental Geology*, *41*(7), 826-832.
- Gleeson, J., Santos, I. R., Maher, D. T., & Golsby-Smith, L. (2013). Groundwater–surface water exchange in a mangrove tidal creek: evidence from natural geochemical tracers and implications for nutrient budgets. *Marine Chemistry*, *156*, 27-37.

- Glibert, P. M., Garside, C., Fuhrman, J. A., & Roman, M. R. (1991). Dependent coupling of inorganic and organic nitrogen uptake and regeneration in the plume of the Chesapeake Bay estuary and its regulation by large heterotrophs. *Limnology and Oceanography*, 36(5), 895-909.
- Hansell, D. A., Carlson, C. A., & Suzuki, Y. (2002). Dissolved organic carbon export with North Pacific Intermediate Water formation. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(1), 7-1.
- Hedges, J. I., Keil, R. G., & Benner, R. (1997). What happens to terrestrial organic matter in the ocean?. *Organic geochemistry*, 27(5-6), 195-212.
- Hedges, J. I., Cowie, G. L., Richey, J. E., Quay, P. D., Benner, R., Strom, M., & Forsberg, B. R. (1994). Origins and processing of organic matter in the Amazon River as indicated by carbohydrates and amino acids. *Limnology and oceanography*, 39(4), 743-761.
- Hickey, B. M., & Banas, N. S. (2003). Oceanography of the US Pacific Northwest coastal ocean and estuaries with application to coastal ecology. *Estuaries*, 26(4), 1010-1031.
- Hoikkala, L., Aarnos, H., & Lignell, R. (2009). Changes in nutrient and carbon availability and temperature as factors controlling bacterial growth in the Northern Baltic Sea. *Estuaries and coasts*, 32(4), 720-733.
- Howarth, R. W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, A., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J. A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P., Zhao-Liang Zhu., & Berendse, F. (1996). Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. In *Nitrogen cycling in the North Atlantic Ocean and its watersheds* (pp. 75-139). Springer, Dordrecht.

- Hung, J. J., & Kuo, F. (2002). Temporal variability of carbon and nutrient budgets from a tropical lagoon in Chiku, Southwestern Taiwan. *Estuarine, coastal and shelf science*, 54(5), 887-900.
- Hung, J. J., & Hung, P. Y. (2003). Carbon and nutrient dynamics in a hypertrophic lagoon in southwestern Taiwan. *Journal of Marine Systems*, 42(3-4), 97-114.
- IPCC III, W. G. (2001). Third assessment report. *Summary for policymakers*.-2001.
- Johnson, A. G., Glenn, C. R., Burnett, W. C., Peterson, R. N., & Lucey, P. G. (2008). Aerial infrared imaging reveals large nutrient-rich groundwater inputs to the ocean. *Geophysical Research Letters*, 35(15).
- Jørgensen, N.O.G., Kroer, N., Coffin, R.B., Yang, X.H., Lee, C. (1993). Dissolved free amino acids, combined amino acids, and DNA as sources of carbon and nitrogen to marine bacteria. *Marine ecology progress series*, 98, 135-148.
- Joshi, I. D., D'Sa, E. J., Osburn, C. L., Bianchi, T. S., Ko, D. S., Oviedo-Vargas, D., Arellano, A. R., & Ward, N. D. (2017). Assessing chromophoric dissolved organic matter (CDOM) distribution, stocks, and fluxes in Apalachicola Bay using combined field, VIIRS ocean color, and model observations. *Remote sensing of environment*, 191, 359-372.
- Keil, R. G., & Kirchman, D. L. (1991). Contribution of dissolved free amino acids and ammonium to the nitrogen requirements of heterotrophic bacterioplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 73(1), 1-10.
- Keil, R. G., & Kirchman, D. L. (1994). Abiotic transformation of labile protein to refractory protein in sea water. *Marine Chemistry*, 45(3), 187-196.
- Kennish, M. J. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental conservation*, 29(1), 78-107.

- Kim, T. H., Kwon, E., Kim, I., Lee, S. A., & Kim, G. (2013). Dissolved organic matter in the subterranean estuary of a volcanic island, Jeju: Importance of dissolved organic nitrogen fluxes to the ocean. *Journal of sea research*, 78, 18-24.
- Kim, J., Cho, H. M., & Kim, G. (2018). Significant production of humic fluorescent dissolved organic matter in the continental shelf waters of the northwestern Pacific Ocean. *Scientific reports*, 8(1), 4887.
- Kirchman, D. L. (1994). The uptake of inorganic nutrients by heterotrophic bacteria. *Microbial Ecology*, 28(2), 255-271.
- Kwon, H. K., Kim, G., Hwang, J., Lim, W. A., Park, J. W., & Kim, T. H. (2018). Significant and conservative long-range transport of dissolved organic nutrients in the Changjiang diluted water. *Scientific reports*, 8.
- Lara, R. J., Rachold, V., Kattner, G., Hubberten, H. W., Guggenberger, G., Skoog, A., & Thomas, D. N. (1998). Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution. *Marine Chemistry*, 59(3-4), 301-309.
- Lasserre, P., & Martin, J. M. (Eds.). (1986). *Biogeochemical processes at the land-sea boundary* (Vol. 43). Elsevier.
- Lee, Y. W., Kim, G., Lim, W. A., & Hwang, D. W. (2010). A relationship between submarine groundwater borne nutrients traced by Ra isotopes and the intensity of dinoflagellate red-tides occurring in the southern sea of Korea. *Limnology and oceanography*, 55(1), 1-10.
- Lee, H., Kim, G., Kim, J., Park, G., & Song, K. H. (2014). Tracing the flow rate and mixing ratio of the Changjiang diluted water in the northwestern Pacific marginal seas using radium isotopes. *Geophysical Research Letters*, 41(13), 4637-4645.

- Lessard, E. J., Foy, M. S., Garrison, D. L., & Gowing, M. M. (1995). Grazing on phytoplankton blooms in the Ross Sea polynya: November and December 1994. *Antarct. J. US* 30, 214-215.
- Li, L., Barry, D. A., Stagnitti, F., & Parlange, J. Y. (1999). Submarine groundwater discharge and associated chemical input to a coastal sea. *Water Resources Research*, 35(11), 3253-3259.
- Ludwig, W., Probst, J. L., & Kempe, S. (1996). Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemical Cycles*, 10(1), 23-41.
- Meybeck, M. (1982). Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *Am. J. Sci*, 282(4), 401-450.
- Mopper, K., Zhou, X., Kieber, R. J., Kieber, D. J., Sikorski, R. J., & Jones, R. D. (1991). Photochemical degradation of dissolved organic carbon and its impact on the oceanic carbon cycle. *Nature*, 353(6339), 60.
- Miao, S., Lyu, H., Wang, Q., Li, Y., Wu, Z., Du, C., Xu, J., Bi, S., Mu, M., & Lei, S. (2019). Estimation of terrestrial humic-like substances in inland lakes based on the optical and fluorescence characteristics of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) using OLCI images. *Ecological indicators*, 101, 399-409.
- Mukherjee, R., Kumar, S., & Muduli, P. R. (2019). Spatial variation of nitrogen uptake rates in the largest brackish water lagoon of Asia (Chilika, India). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 87-97.
- Nagata, T., & Kirchman, D. L. (1992). Release of macromolecular organic complexes by heterotrophic marine flagellates. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 83(2), 233-240.

- Nausch, G., Nehring, D., & Nagel, K. (2008). Nutrient concentrations, trends and their relation to eutrophication. *State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*, 337-366.
- Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1), 199-219.
- Oh, Y. H., Lee, Y. W., Park, S. R., & Kim, T. H. (2017). Importance of dissolved organic carbon flux through submarine groundwater discharge to the coastal ocean: Results from Masan Bay, the southern coast of Korea. *Journal of Marine Systems*, 173, 43-48.
- Pain, A. J., Martin, J. B., Young, C. R., Huang, L., & Valle-Levinson, A. (2019). Organic matter quantity and quality across salinity gradients in conduit-vs. diffuse flow-dominated subterranean estuaries. *Limnology and Oceanography*, 64(3), 1386-1402.
- Pöder, T., Maestrini, S. Y., Balode, M., Lips, U., Béchemin, C., Andrushaitis, A., & Purina, I. (2003). The role of inorganic and organic nutrients on the development of phytoplankton along a transect from the Daugava River mouth to the Open Baltic, in spring and summer 1999. *ICES Journal of Marine Science*, 60(4), 827-835.
- Rochelle-Newall, E. J., & Fisher, T. R. (2002). Chromophoric dissolved organic matter and dissolved organic carbon in Chesapeake Bay. *Marine Chemistry*, 77(1), 23-41.
- Rossel, P. E., Bienhold, C., Boetius, A., & Dittmar, T. (2016). Dissolved organic matter in pore water of Arctic Ocean sediments: Environmental influence on molecular composition. *Organic Geochemistry*, 97, 41-52.
- Ryther, J. H., & Dunstan, W. M. (1971). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171(3975), 1008-1013.

- Santschi, P. H., Guo, L., Baskaran, M., Trumbore, S., Southon, J., Bianchi, T. S., ... & Cifuentes, L. (1995). Isotopic evidence for the contemporary origin of high-molecular weight organic matter in oceanic environments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(3), 625-631.
- Santos, I. R., Burnett, W. C., Dittmar, T., Suryaputra, I. G., & Chanton, J. (2009). Tidal pumping drives nutrient and dissolved organic matter dynamics in a Gulf of Mexico subterranean estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(5), 1325-1339.
- Schneider, B., Nausch, G., Nagel, K., & Wasmund, N. (2003). The surface water CO₂ budget for the Baltic Proper: a new way to determine nitrogen fixation. *Journal of Marine Systems*, 42(1-2), 53-64.
- Slomp, C. P., & Van Cappellen, P. (2004). Nutrient inputs to the coastal ocean through submarine groundwater discharge: controls and potential impact. *Journal of Hydrology*, 295(1-4), 64-86.
- Song, J. W., Kim, J., & Kim, T. H. (2018). Distributions of Dissolved Organic Matter in Submarine Groundwater Discharge (SGD) in Jeju Island. *Ocean and Polar Research*, 40(2), 77-85.
- Soppa, M., Pefanis, V., Hellmann, S., Losa, S. N., Hölemann, J., Martynov, F., Heim, B., Dinter, T., Rozanov, V., & Bracher, A. (2019). Assessing the Influence of Water Constituents on the Radiative Heating of Laptev Sea Shelf Waters. *Frontiers in Marine Science*, 6(221), 1-13.
- Stedmon, C. A., Amon, R. M. W., Rinehart, A. J., & Walker, S. A. (2011). The supply and characteristics of colored dissolved organic matter (CDOM) in the Arctic Ocean: Pan Arctic trends and differences. *Marine Chemistry*, 124(1-4), 108-118.

- Stewart, B. T., Santos, I. R., Tait, D. R., Macklin, P. A., & Maher, D. T. (2015). Submarine groundwater discharge and associated fluxes of alkalinity and dissolved carbon into Moreton Bay (Australia) estimated via radium isotopes. *Marine Chemistry*, *174*, 1-12.
- Tranvik, L. J. (1993). Microbial transformation of labile dissolved organic matter into humic-like matter in seawater. *FEMS Microbiology Ecology*, *12*(3), 177-183.
- Thurmann, A. (1985). Energy management systems sourcebook.
- Waska, H., & Kim, G. (2010). Differences in microphytobenthos and macrofaunal abundances associated with groundwater discharge in the intertidal zone. *Marine Ecology Progress Series*, *407*, 159-172.
- Wheeler, P. A., & Kirchman, D. L. (1986). Utilization of inorganic and organic nitrogen by bacteria in marine systems 1. *Limnology and Oceanography*, *31*(5), 998-1009.
- Williams, P. M., & Druffel, E. R. (1987). Radiocarbon in dissolved organic matter in the central North Pacific Ocean. *Nature*, *330*(6145), 246.
- Wu, Y., Zhang, J., Cho, K. W., Hong, G. H., & Chung, C. S. (2004). Origin and transport of sedimentary organic matter in the Yalujiang Estuary, North China. *Estuaries*, *27*(4), 583-592.
- Wysocki, L. A., Bianchi, T. S., Powell, R. T., & Reuss, N. (2006). Spatial variability in the coupling of organic carbon, nutrients, and phytoplankton pigments in surface waters and sediments of the Mississippi River plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *69*(1-2), 47-63.
- Yamashita, Y., Maie, N., Briceño, H., & Jaffé, R. (2010). Optical characterization of dissolved organic matter in tropical rivers of the Guayana Shield, Venezuela. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *115*(G1).

- Yamashita, Y., Boyer, J. N., & Jaffé, R. (2013). Evaluating the distribution of terrestrial dissolved organic matter in a complex coastal ecosystem using fluorescence spectroscopy. *Continental shelf research*, 66, 136-144.
- Yoon, W. D., Yang, J. Y., Shim, M. B., & Kang, H. K. (2007). Physical processes influencing the occurrence of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) around Jeju Island, Korea. *Journal of plankton research*, 30(3), 251-260.
- Zhang, S., Gan, W. B., & Ittekkot, V. (1992). Organic matter in large turbid rivers: the Huanghe and its estuary. *Marine Chemistry*, 38(1-2), 53-68.
- Zhao, Y., Song, K., Wen, Z., Li, L., Zang, S., Shao, T., Li, Sijia., & Du, J. (2016). Seasonal characterization of CDOM for lakes in semiarid regions of Northeast China using excitation–emission matrix fluorescence and parallel factor analysis (EEM–PARAFAC). *Biogeosciences*, 13(5), 1635-1645.
- Zheng, X., Teng, Y., & Song, L. (2019). Iron Isotopic Composition of Suspended Particulate Matter in Hongfeng Lake. *Water*, 11(2), 396.
- Zhou, Y., Wen, H., Liu, J., Pu, W., Chen, Q., & Wang, X. (2019). The optical characteristics and sources of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in seasonal snow of northwestern China. *The Cryosphere*, 13(1), 157-175.
- Zweifel, U. L. (1999). Factors controlling accumulation of labile dissolved organic carbon in the Gulf of Riga. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48(3), 357-370.