
PENGARUH LEVEL RATIO C:N TERHADAP REGENERASI NITROGEN TAK ORGANIK PAKAN UDANG DALAM AIR MENGGUNAKAN MOLASES SEBAGAI SUMBER KARBON

Pohan Panjaitan
Universitas HKBP Nomensen
email: Drpohanpanjaitan@gmail.com

Abstract

This study aims to evaluate the effect of C: N ratio level of shrimp feed on inorganic nitrogen regeneration of shrimp feed using molasses as a source of organic carbon. This research was conducted for two weeks, namely March 8 to March 20, 2021 in the laboratory. Materials and tools used in this study include: plastic containers with a lid and a volume of 2 liters of water, aerated stones, aeration sources, sea water and molasses, shrimp feed, water quality measurement equipment such as thermometers, pH meters, oxygen meters, spectrophotometers and medium for bacterial growth. For the implementation of the experiment, each experimental container used shrimp feed with a nitrogen content of 5.89% weighing 0.1398 grams. The amount of feed used in each experimental container was equivalent to 5 mg L⁻¹ ammonia or 4.117 mg L⁻¹ nitrogen. The treatments evaluated in this experiment were: (1) Treatment without using molasses (MR0), (2) Treatment using molasses with a ratio of C: N = 7.5 (MR7.5), (3) Treatment using molasses with a ratio of C: N = 15.0 (MR15.0), (4) Treatment using molasses with a ratio of C: N = 17.5 (MR17.5), (5) Treatment using molasses with a ratio of C: N = 20.0 (MR20.0) and (6) The treatment used molasses with a ratio of C: N = 22.5 (MR22.5). The experiment used a Completely Randomized Design (CRD) with three replications and the data were analyzed using variance and regression analysis. Furthermore, comparing the average value of each treatment used Duncan's Test. The results of measurement of ammonia, nitrite and nitrate concentrations can describe the regeneration of inorganic nitrogen in shrimp feed in this study. There were a number of results found in this study, including: (1) there was a significant reduction in the regeneration of inorganic nitrogen by increasing the level of C: N ratio in shrimp feed, (2) dissolved oxygen in water decreased due to its response to level ratio C: N for shrimp feed, (3) the number of bacteria increases with increasing levels of the ratio C: N, (4) there is an increase in the number of heterotrophic bacteria by increasing the level of C: N ratio of shrimp feed

Key words: Molasses, ratio level, regeneration of inorganic nitrogen, shrimp feed

I. PENDAHULUAN

Penelitian ini merupakan studi yang sangat esensial untuk mengevaluasi konsep dasar pengaruh level rasio C:N terhadap regenerasi nitrogen tak organik pakan udang di laboratirim tanpa menggunakan biota udang. Walaupun sejumlah penelitian telah membuktikan bahwa konsentrasi nitrogen tak organik berkorelasi negatif dengan level rasio C:N pakan yang digunakan pada unit tambak udang dengan model tanpa pergantian air.

Sejumlah peneliti misalnya Kirchman et al., 2010; Keil dan Kirchman, 2011; Hoch et al., 2004 telah membuktikan bahwa penambahan karbon organik terlarut berupa glukosa terhadap peningkatan penyerapan NH_4^+ oleh bakteri di perairan laut. Tetapi belum ada penelitian untuk mengevaluasi pengaruh level rasio C:N dengan menggunakan molasses sebagai sumber karbon terhadap regenerasi nitrogen tak organik pakan udang dalam air.

Goldman et al. (2007) mempelajari hubungan antara rasio C:N substrat dengan regenerasi nitrogen tak organik oleh bakteri di perairan laut. Regenerasi NH_4^+ pada substrate organik dengan menumbuhkan bakteri terjadi pada saat level rasio C: N lebih rendah dari 10:1 (Billen, 2004; Goldman et al., 2007) dan lebih kecil 15:1 (Tezuka, 2010). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konsep dasar dari pengaruh level ratio C : N terhadap regenerasi nitrogen tak organik pakan udang selama .

2. Bahan dan Metoda

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama dua minggu yaitu 8 Maret sampai 20 Maret 2021 di laboratirim.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: wadah plastik yang tertutup dan bervolume 2 liter air, batu

aerasi, sumber aerasi, air laut dan molasses sebagai sumber karbon, pakan udang sebagai sumber nitrogen, peralatan pengukuran kualitas air misalnya termometer, pH meter, oksigen meter, spectrophotometer dan media untuk pertumbuhan bakteri.

2.3. Pelaksanaan Percobaan

Untuk pelaksanaan percobaan, tiap wadah percobaan digunakan pakan udang dengan kadar nitrogen 5,89% seberat 0,1398 gram. Jumlah pakan yang digunakan dalam setiap wadah percobaan setara dengan 5 mg L^{-1} amonia atau 4,117 mg L⁻¹ nitrogen. Jumlah molase yang digunakan di setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil pengukuran konsentrasi amonia, nitrit dan nitrat adalah menggambarkan regenerasi nitrogen tak organik pakan udang dalam penelitian ini.

Level C : N rasio pakan udang adalah total karbon dibagi dengan total nitrogen. Total karbon dalam penelitian ini berasal dari molasses dengan kadar karbonnya sebesar 0.2971 dan pakan udang dengan prosentasi karbonnya sebesar 38.5 %. Sedangkan sumber total nitrogen dalam penelitian ini hanya berasal dari pakan udang dengan prosentase nitrogennya sebesar 5.89%. Dengan demikian jumlah molasses setiap perlakuan dapat dihitung berdasarkan level C : N rasionya. Sebagai contoh perhitungan molasses pada perlakuan C : N rasio = 20 adalah sebagai berikut:

$$C : N = 20 = 20.0 = \frac{(0.385 + (0.2971 \times a \text{ gram}) \text{ molasses}}{0.0589}$$

$$= \frac{(20.0)(0.0589) - (0.385)}{0.2971} = 2.6691 \text{ gram molasses}$$

Table 1. Jumlah Molasses yang Digunakan di Setiap Perlakuan

Perlakuan	Jumlah Molasses (gram)
1. Tanpa menggunakan molasses denan C : N	0.000
2. Menggunakan molasses dengan C : N = 7.5.0	0.1910
4. Menggunakan molasses dengan C : N = 15.0	1.6779
5. Menggunakan molasses dengan C : N = 17.5	1.1735
5. Menggunakan molasses dengan C : N = 20.0	2.6691
6. Menggunakan molasses dengan C : N = 22.5	3.1648

2.4. Pengukuran Variabel

Variabel yang diukur dalam percobaan antara lain : amonia, nitrit, nitrat, total karbon organik, suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, diukur setiap tiga hari sekali. Sedangkan jumlah bakteri heterotrofik ditentukan satu kali pada akhir percobaan.

2.5. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Perlakuan yang dievaluasi dalam percobaan ini adalah antara lain :

1. Perlakuan tanpa menggunakan molasses (MR₀)
2. Perlakuan menggunakan molasses dengan rasio C : N = 7.5 (MR_{7.5})
3. Perlakuan menggunakan molasses dengan rasio C : N = 15.0 (MR_{15.0})
4. Perlakuan menggunakan molasses dengan rasio C : N = 17.5 (MR_{17.5})
5. Perlakuan menggunakan molasses dengan rasio C : N = 20.0 (MR_{20.0})
6. Perlakuan menggunakan molasses dengan rasio C : N = 22.5 (MR_{22.5})

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga ulangan dan data dianalisis dengan menggunakan analisis sidik ragam dan regresi. Selanjutnya membandingkan nilai rata-rata setiap perlakuan digunakan Uji Beda Jarak Nyata Duncan.

3. HASIL

3.1.1. Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi Nitrogen Tak Organik

Hasil percobaan menunjukkan bahwa regenerasi amonia pakan udang secara signifikan dipengaruhi oleh rasio C: N (terlihat dalam Tabel 2. Regenerasi amonia pakan udang sama pada semua perlakuan yang menggunakan molase dan lebih rendah dibandingkan pada perlakuan tanpa molase. Studi ini juga mengamati bahwa kadar rasio C: N berpengaruh nyata terhadap regenerasi nitrit dan nitrat pakan udang seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Terjadi penurunan regenerasi nitrit pakan udang seiring dengan peningkatan rasio C: N. Regenerasi amonia meningkat sampai hari ke 12 diikuti penurunan tajam selama sisa periode percobaan. Sebaliknya, dalam semua perlakuan, terjadi peningkatan konsentrasi nitrit dan nitrat secara bertahap dengan periode percobaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar rasio C: N berpengaruh nyata terhadap konsentrasi nitrat. Selain itu, analisis regresi menunjukkan bahwa nilai amonia, nitrit dan nitrat berkorelasi negatif dengan jumlah bakteri heterotrofik.

3.1.2. Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi Oksigen Terlarut dan Karbon Organik Total.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa tingkat rasio C: N secara signifikan mengurangi konsentrasi oksigen terlarut (terlihat dalam Tabel 4). Analisis regresi menunjukkan bahwa konsentrasi oksigen terlarut pada akhir percobaan memiliki

Tabel 3. Hasil Regenerasi Nitrogen Tak Organik Pakan Udang di Setiap Perlakuan yang Dianalisis dengan Sidik Ragam dan Diuji dengan Menggunakan Uji Beda Nyata Jarak Duncan

<i>Variabel Nitrogen Organik</i>	<i>Tak</i>	Perlakuan	Rata - rata	Standar Deviasi
1. Ammonia (mg/litre)		1. Tanpa Menggunakan Molases	0.2693 ±	0.0379 ^a
		2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	0.1887 ±	0.0413 ^b
		3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	0.1490 ±	0.0361 ^b
		4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	0.1343 ±	0.0060 ^b
		5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	0.1216 ±	0.0122 ^b
		6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	0.1034 ±	0.0041 ^b
2. Nitrite (mg/litre)		1. Tanpa Menggunakan Molases	9.7814 ±	0.1833 ^a
		2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	9.1177 ±	0.2155 ^b
		3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	2.3802 ±	0.0547 ^c
		4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	1.7402 ±	0.0520 ^d

korelasi negatif dengan jumlah bakteri heterotrof pada percobaan dengan $R^2 = 0.8945$. Tingkat karbon organik yang meningkat secara signifikan diamati dengan meningkatnya tingkat rasio C: N seperti terlihat dalam Tabel 4. Pada semua perlakuan dalam percobaan bahwa konsentrasi oksigen terlarut menurun secara bertahap selama percobaan.

3.1.3. Pengaruh Perlakuan Terhadap Jumlah Bakteri Heterotrofik dan pH

Level rasio C: N pakan udang berpengaruh nyata terhadap jumlah bakteri heterotrofik pada percobaan. Hal yang sama menunjukkan bahwa level rasio C: N pakan udang dalam percobaan secara nyata mempengaruhi pH air media percobaan. Analisis regresi menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif antara tingkat pH air media pada akhir penelitian dengan jumlah bakteri heterotrofik pada percobaan dengan $R^2 = 0,8876$.

	5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	1.4243 ±	0.0542 ^e
	6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	0.4374 ±	0.0691 ^f
3. Nitrate (mg/litre)	1. Tanpa Menggunakan Molases	1.9397 ±	0.0452 ^a
	2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	0.8954 ±	0.0908 ^b
	3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	0.7932 ±	0.0953 ^c
	4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	0.6183 ±	0.0533 ^d
	5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	0.4469 ±	0.0570 ^e
	6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	0.3765 ±	0.0048 ^e

Nilai pengukuram setiap tak organik yang diikuti dengan huruf yang sama di setiap perlakuan menggambarkan pengaruh perlakuan sama.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kualitas Air Selain Nitrogen Tak Organik di Setiap Perlakuan yang Dianalisis dengan Sidik Ragam dan Diuji dengan Menggunakan Uji Beda Nyata Jarak Duncan

4. Dissolved Oxygen (mg/litre)	1. Tanpa Menggunakan Molases	4.60 ±	0.03 ^a
	2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	4.08 ±	0.10 ^b
	3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	4.12 ±	0.04 ^b
	4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	3.86 ±	0.07 ^c
	5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	3.59 ±	0.24 ^d
	6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	3.30 ±	0.19 ^e
5. Organic Carbon (mg/litre)	1. Tanpa Menggunakan Molases	19.7831 ±	0.69 ^a
	2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	22.8790 ±	0.71 ^b
	3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	31.6120 ±	1.17 ^c
	4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	32.3945 ±	0.61 ^d
	5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	±	
	6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	34.3943 ±	0.61 ^e

	1. Tanpa Menggunakan Molases	36.061 0 ±	0.94 ^f
6. pH	1. Tanpa Menggunakan Molases	7.79 ±	0.04 ^a
	2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	7.60 ±	0.03 ^b
	3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	7.39 ±	0.04 ^c
	4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	7.23 ±	0.04 ^d
	5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	7.08 ±	0.01 ^e
	6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	6.96 ±	0.04 ^f
7. Number of heterotrophic Bacteria (CFU/ml)	1. Tanpa Menggunakan Molases	1.17 x 10 ⁴	1.88 x 10 ³ ^a
	2..Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 7.5	1.92 x 10 ⁴ ±	1.23 x 10 ³ ^b
	3. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio = 15	7.07 x 10 ⁴ ±	4.58 10 ³ ^c
	4. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =17.5	9.15 x 10 ⁴ ±	2.71 x 10 ³ ^d
	5. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =20.0	1.06 x 10 ⁵ ±	3.67 x 10 ³ ^e
	6. Menggunakan Molases dengan C/N Rasio =22.5	1.45 x 10 ⁵	5.00 x 10 ³ ^f

Nilai pengukuram setiap parameter kualitas air yang diikuti dengan huruf yang sama di setiap perlakuan menggambarkan pengaruh perlakuan sama

3.1 Pembahasan

3.1.1. Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi Nitrogen Tak Organik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada suatu penurunan amoniak secara signifikan dengan peningkatan level ratio C : N. Hal yang sama, konsentrasi nitrit dan nitrat menurun sebagai akibat peningkatan level ratio C : N pakan udang. Hal ini berimplikasi bahwa penambahan molasses sebagai sumber karbon secara nyata mempunyai peranan dalam penurunan nitrogen tak organik melalui peningkatan pertumbuhan bakteri heterotro. Selanjutnya, konsentrasi ammonia, nitrit dan nitrat mempunyai korelasi

negative dengan jumlah bakteri heterotrof. Hasil penelitian ini sesuai dengan penemuan oleh beberapa peneliti sebelumnya (Goldman et al.,2007; Kirchman et al., 2010; Tezuka, 2010; Keil and Kirchman, 2011; Hoch et al., 2014) yang menyatakan penambahan karbon menurunkan nitrogen tak organik karena terjadi pemanfaatan NH₄ oleh bakteri.

Dalam hasil percobaan ini, ada yang sangat penting dicatat untuk diketahui bahwa konsentrasi ammonia dan nitrit masih relative tinggi pada perlakuan yang menggunakan molases dengan level ratio lebih dari 10 : 1 walaupun Goldman et al. (2007) menyatakan

bahwa tidak ada ditemukan nitrogen tak organik ketika level ratio substrat lebih tinggi dari 10 : 1. Tezuka (2010) juga telah mempublikasikan bahwa ammonia tidak dihasilkan bila level ratio C : N substrat organik lebih besar dari 15 : 1. Kemungkinan hasil studi ini dapat terjadi karena percobaan ini dilakukan di ruangan tanpa cahaya matahari. Sehingga fitoplankton tidak tumbuh pada percobaan ini. Sudah didokumentasikan secara ilmiah bahwa fitoplankton mempunyai kontribusi dalam pemanfaatan atau penurunan nitrogen tak organik dari perairan (Hopkins et al., 2013, Burford et al., 2018; Chuntapa et al., 2018).

3.2. 1 Pengaruh Perlakuan Terhadap Konsentrasi Oksigen Terlarut dan Karbon Organik

Hasil percobaan menunjukkan bahwa konsentrasi oksigen terlarut dalam air menurun akibat responnya terhadap level ratio C : N. Temuan ini tidak diragukan disebabkan oleh jumlah bakteri meningkat dengan meningkatnya level rasio C : N. Dengan demikian studi ini menemukan bahwa konsentrasi oksigen terlarut mempunyai korelasi negatif dengan jumlah bakteri. Sudah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya bahwa bakteri mengkonsumsi oksigen terlarut secara besar (Visscher and Duerr, 2011; Sun et al., 2016).

Secara umum ditemukan dalam percobaan ini bahwa konsentrasi oksigen terlarut menurun secara progresif dengan waktu percobaan. Salah satu faktor yang mungkin menyebabkan penurunan oksigen terlarut dengan waktu percobaan adalah peningkatan aktivitas bakteri nitrifikasi selama periode percobaan. Penjelasan ini didukung oleh data hasil percobaan yang memperlihatkan bahwa ada peningkatan konsentrasi nitrit dan nitrat

secara bertahap dengan waktu percobaan. Telah diteliti bahwa bakteri nitrifikasi membutuhkan oksigen terlarut yang besar untuk mengoksidasi ammonia menjadi nitrit dan nitrat (Helder dan DeVeries, 2003; Bovendeur et al., 2010; Figueroa dan Hargreaves, 1998; Montoya et al., 2017).

3.2.1 Pengaruh Perlakuan Terhadap Jumlah Bakteri Heterotrofik dan pH.

Hasil percobaan menunjukkan ada suatu peningkatan jumlah bakteri heterotrofik dengan peningkatan level ratio C : N. Hasil ini memperlihatkan secara jelas bahwa bakteri heterotrofik membutuhkan karbon dari molases untuk memperbanyak sel-selnya. Azam et al. (2003) menyatakan bahwa karbon seperti glukosa digunakan oleh bakteri alami untuk bertumbuh. Selanjutnya, penambahan glukosa meningkatkan jumlah bakteri heterotrof di dalam air (Parsons et al., 2001; Fuhrman et al., 2008; Middleboe et al., 2015). Demikian juga beberapa peneliti sebelumnya antara lain (Avnimelech et al., 2002; 1994; Kochba et al., 2014; Avnimelech, 1999) yang menemukan bahwa jumlah bakteri heterotrofik meningkat dengan meningkatnya level rasio C : N. Moriarty (2006) juga menyatakan bahwa peningkatan jumlah bakteri sebagai hasil peningkatan karbon dalam pakan udang *Penaeus*.

Penurunan nilai pH dengan meningkatnya level rasio C : N ditemukan dalam percobaan ini. Selanjutnya hasil percobaan ini menunjukkan bahwa level pH berkorelasi secara negatif dengan jumlah bakteri heterotrofik yang meningkat dengan meningkatnya level rasio C : N. Sudah dibuktikan dalam penelitian sebelumnya bahwa karbon tak organik sebagai produk yang dapat menurunkan level pH air (Boyd, 1990; Grace and Piedrahita, 1994). Suatu penurunan level pH secara gradual

dengan waktu percobaan ditemukan dalam studi ini. Hasil percobaan ini sesuai dengan hasil penelitian Hargreaves (1998) yang menemukan bawlap process oksidasi setiap mol ammonia melepaskan ion hidrogen akhirnya menurunkan pH.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Studi ini menyimpulkan bahwa peningkatan level rasio C : N dapat menurunkan konsentrasi nitrogen tak organik atau menurunkan regenerasi nitrogen tak organik pakan udang dengan menggunakan molasses sebagai sumber karbon organik.

4.2. Saran

Walapun penemuan ini sangat bermanfaat bagi industri budidaya udang tetapi penerapan hasil penelitian ini belum bisa secara langsung diterapkan dalam industri budidaya udang. Masih dibutuhkan percobaan lebih lanjut yaitu percobaan dengan menggunakan biota udang. Apalagi hasil percobaan ini menemukan bahwa terjadi penurunan oksigen terlarut dengan meningkatnya level rasio C : N.

DAFTAR PUSTAKA

- Avnimelech, Y., Diab, S., Kochva, M., Mokady, S., 1992a. Control and utilization of inorganic nitrogen in intensive fish culture ponds. *Aquaculture and Fisheries Management* 23, 421 - 430.
- Avnimelech, Y., Lacher, M., Raveh, A., Zur, O., 1981. A method for the evaluation of conditions in a fish pond sediment. *Aquaculture* 23, 361-365.
- Avnimelech, Y., Mokady, S., 1988. Protein biosynthesis in circulated fishponds. In: Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tonguthai, K., Maclean, J.L. (Eds.), *The second International Symposium on tilapia in aquaculture*, pp. 301 - 309.
- Avnimelech, Y., Mokady, S., Schroeder, G.L., 1989. Circulated ponds as efficient bioreactors for single cell protein production. *The Israel Journal of Aquaculture-Badmidgeh* 41, 58 - 66.
- Avnimelech, Y., Mozes., N., Weber, B., 1992 . Effects of aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulated fish ponds. *Aquacultural Engineering* 11, 157-169.
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Meyer-Reil, L.A., Thingstad, F., 2003. The ecological role of microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 10, 257 - 263.
- Billen, G., 2004. Heterotrophic utilization and regeneration of nitrogen. In: Hobbie, J.E., P.J.L, W. (Eds.), *Heterotrophic in the sea*. Plenum, pp. 313 - 355.
- Bovendeur, J., Zwaga, A.B., Lobee, B.G.J., Blom, J.H., 2010. Fixed-biofilm reactors in aquacultural water recycle systems: effect of organic matter elimination on nitrification kinetics. *Water Res.* 24, 207 - 213.
- Boyd, C.E., Massaut, L., 1990. Risks associated with the use of chemicals in pond aquaculture. *Aquacultural Engineering* 20, 113 - 132
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2018. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219, 393 - 411.
- Chuntapa, B., Powtongsook, S., Menasveta, P., 2018. Water quality control using *Spirulina plantensis* in shrimp culture tanks. *Aquaculture* 220, 355 - 366.

- Figueroa, L.A., Silverstein, J., 2012. The effect of particulate organic matter on biofilm. *Water Environ. Res.* 64, 728 - 733.
- Fuhrman, J.A., Horrigan, S.G., Capone, D.G., 2008. Use ¹³N as tracer for bacterial and algal uptake of ammonium from seawater. *Marine Ecology Progress Series* 45, 271 -278.
- Goldman, J.C., Caron, D.A., Denner, M.R., 2007. Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio. *Limnology Oceanography* 32, 1239 - 1252.
- Grace, G.R., Piedrahita, R.H., 1994. Carbon dioxide control. In: Timmons M., L.T.M. (Ed.), *Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management. Developments in aquaculture and fisheries science*, 27. Elsevier, Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Singapore-Tokyo, pp. 209 - 234.
- Grace, G.R., Piedrahita, R.H., 2004. Carbon dioxide control. In: Timmons M., L.T.M. (Ed.), *Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management. Developments in aquaculture and fisheries science*, 27. Elsevier, Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Singapore-Tokyo, pp. 209 - 234
- Hargreaves, J.A., 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture* 166, 181-212.
- Helder, W., DeVeries R.T.P., 2003. Estuarine nitrite maxima and nitrifying bacteria (Ems-Dollard Estuary). *Netherlands Journal of Sea Research* 17, 1 - 18.
- Hoch, M.P., Fogel, M.L., Kirchman, D.L., 2014. Isotope fractionation during ammonium uptake by marine microbial assemblages. *Geomicrobiology* 12, 113 – 127
- Hopkins, J.S., Hamilton, R.D., Sandifer, P.A., Browdy, C.L., Stokes, A.D., 2013. Effect of water exchange rates on production, water quality, effluent characteristics, and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *J. World Aquacult. Soc* 24, 304
- Keil, R.G., Kirchman, D.L., 2011. Contribution of dissolved free amino acids and ammonium to the nitrogen requirements of heterotrophic bacterioplankton. *Marine Ecology Progress Series* 73, 1 - 10.
- Kirchman, D.L., Keil, R.G., Wheeler, P.A., 2010. Carbon limitation of ammonium uptake by heterotrophic bacteria in the Subarctic Pacific. *Limnology Oceanography* 35, 1258-1266.
- Kirchman, D.L., Keil, R.G., Wheeler, P.A., 2010. Carbon limitation of ammonium uptake by heterotrophic bacteria in the Subarctic Pacific. *Limnology Oceanography* 35, 1258-1266.
- Kochva, M., Diab, S., Avnimelech, Y., 2004. Modelling of nitrogen transformation in intensively aerated fish ponds. *Aquaculture* 120, 95 - 104.
- Kochva, M., Diab, S., Avnimelech, Y., 2004. Modelling of nitrogen transformation in intensively aerated fish ponds. *Aquaculture* 120, 95 - 104.
- Middelboe, M., Borch, N.H., Kirchman, D.L., 2015. Bacterial utilization of dissolved free amino acids, dissolved combined amino acids and ammonium in the Delaware Bay estuary: effects of carbon and nitrogen limitation. *Marine Ecology Progress Series* 128, 109 – 120
- Montoya, R.A., Lawrence, A.L., Grant, W.E., Velasco, M., 2002. Simulation of

- inorganic nitrogen dynamics and shrimp survival in an intensive shrimp culture system. *Aquaculture Research* 33, 81 - 94.
- Moriarty, D.J.W. 2006. Bacterial productivity in ponds used for culture of penaeid prawns. *Microb.Ecol* 12, 259-269.
- Moriarty, D.J.W. 2006. Bacterial productivity in ponds used for culture of penaeid prawns. *Microb.Ecol* 12, 259-269.
- Parsons, T.R., Albright, L.J., Whitney, F., Wong, C.S., Williams, M.P.J., 2001. The effect of glucose on the productivity of sea water: An experimental approach using controlled aquatic ecosystems. *Mar. Environ. Res.* 4, 229 - 242.
- Sun, Yao, Zhang, Shufang, Chen, Jufa, Song, Junli, 2011. Supplement and consumption of dissolved oxygen and their seasonal variations in shrimp pond. *Mar. Sci.Bull.* 3, 89-96.
- Tezuka, Y. 2010. Bacterial regeneration of ammonium and phosphate as affected by the Carbon : Nitrogen: Phosphorus ratio of organic substrates. *Microbial Ecology* 19, 227 – 238.
- Visscher, P.T., Duerr, E.O., 2011. Water quality and microbial dynamics in shrimp ponds receiving bagasse-based feed. *J. World Aquacult. Soc.* 22, 65-76.