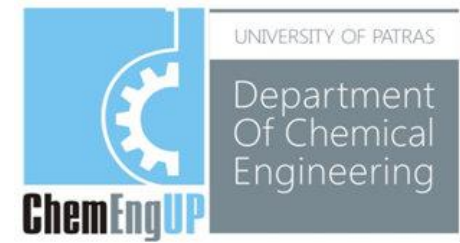




UNIVERSITY OF
PATRAS
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ



ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ



Ελένη Κούτρα
Βιολόγος, PhD

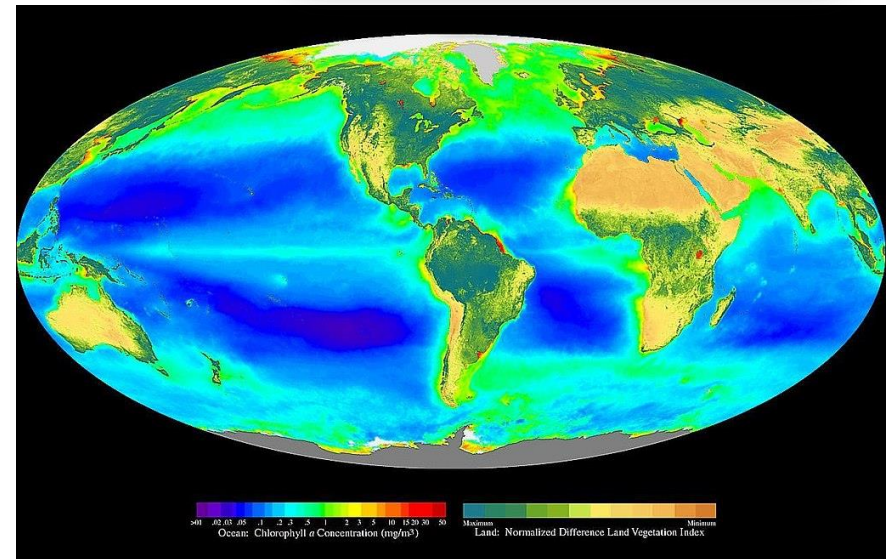


Φύκη (alga, πλ. algae): Φωτοσυνθετικοί, υδρόβιοι οργανισμοί. Πολυφυλετική ομάδα μονοκύτταρων (**μικροφύκη**) και πολυκύτταρων ειδών (**μακροφύκη**).

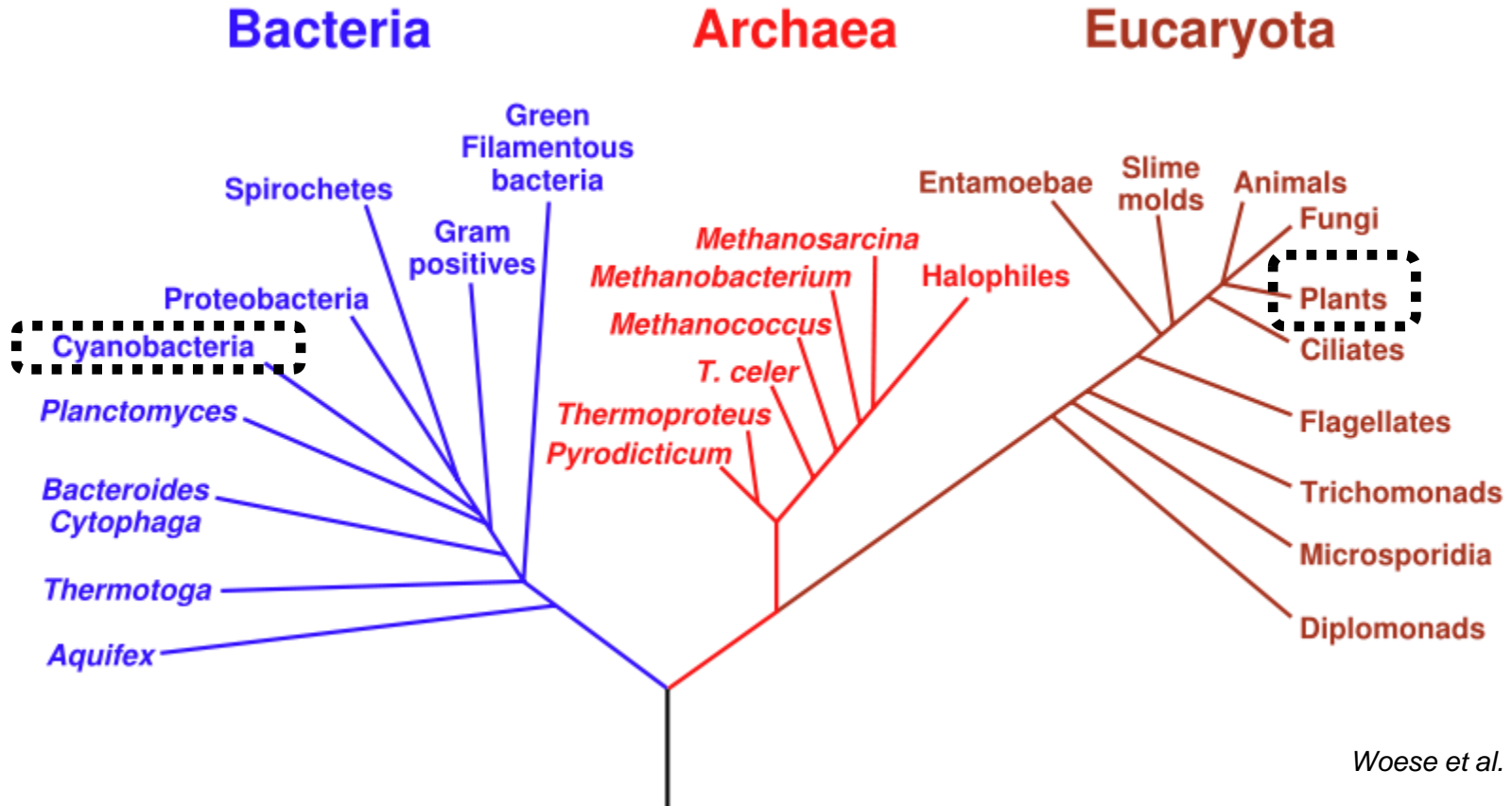
Μικροφύκη: Μονοκύτταρα φύκη, που απαντώνται κυρίως σε υδάτινα οικοσυστήματα. Μεγάλη ποικιλομορφία. Έως 800.000 είδη, 40.000-50.000 έχουν χαρακτηριστεί.



- ✓ 70% παραγόμενης βιομάζας
- ✓ 50% φωτοσυνθετικής παραγωγής οξυγόνου



The Phylogenetic Tree of Life

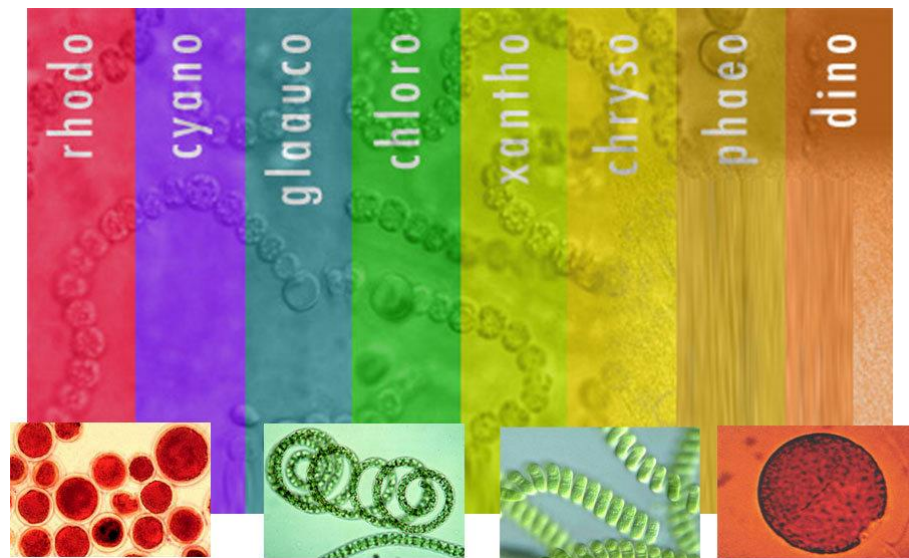
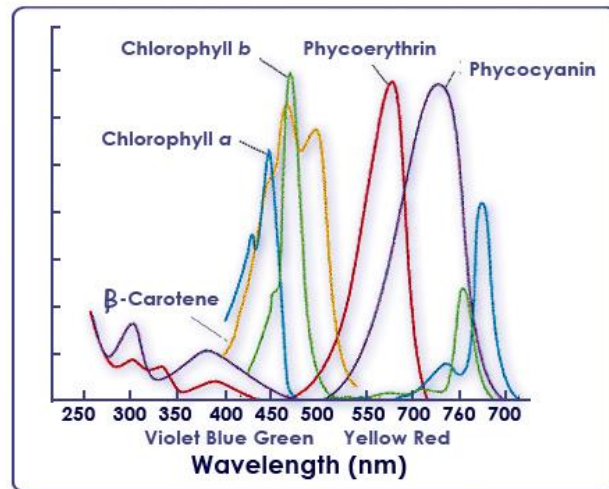


❖ Συστηματική μικροφυκών

- ❑ Η διάκριση των επιμέρους ταξινομικών ομάδων βασίζεται κυρίως στο είδος των περιεχόμενων **χρωστικών**.
- ❑ Φωτοσυνθετικές χρωστικές: **Χλωροφύλλες, Καροτενοειδή, Φυκομπιλίνες.**

- ❑ Κυανοβακτήρια
- ❑ Χλωροφύκη
- ❑ Διάτομα
- ❑ Ξανθοφύκη
- ❑ Χρυσοφύκη
- ❑ Ροδοφύκη
- ❑ Φαιοφύκη
- ❑ Πικοπλαγκτόν

Φάσμα απορρόφησης
φωτοσυνθετικών χρωστικών



❖ Κυτταρική σύσταση

Τα κύρια συστατικά της βιομάζας των μικροφυκών είναι: **πρωτεΐνες**, **λιπίδια** και **υδατάνθρακες**.

Είδος μικροφύκους	% Σύσταση (w/w)		
	Πρωτεΐνες	Λίπη	Υδατάνθρακες
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50–56	12–14	10–17
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	8–18	16–40	21–52
<i>Chlorella vulgaris</i>	51–58	14–22	12–17
<i>Chlamydomonas reinhardii</i>	48	21	17
<i>Dunaliella salina</i>	57	6	32
<i>Euglena gracilis</i>	39–61	14–20	14–18
<i>Spirulina platensis</i>	46–63	4–9	8–14
<i>Porphyridium cruentum</i>	28–39	9–14	40–57

Suganya et al. 2016

❖ Μεταβολισμός

Φωτο- αυτότροφος

- Πηγή ενέργειας: Φως
- Πηγή άνθρακα: CO₂ ή άλλες ανόργανες ενώσεις

Ετερότροφος

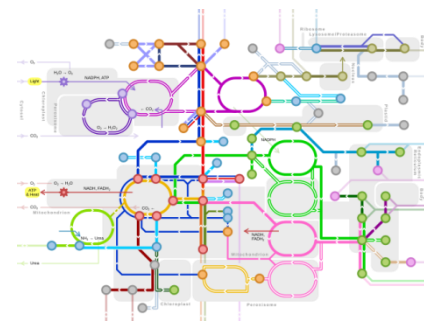
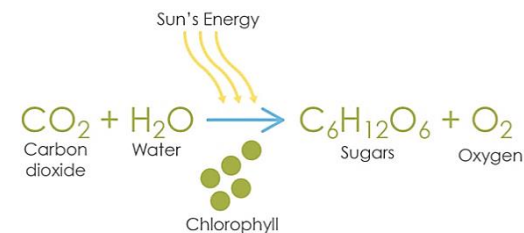
- Πηγή ενέργειας & πηγή άνθρακα: Οργανικές ενώσεις

Φωτο- ετερότροφος

- Πηγή ενέργειας: Φως
- Πηγή άνθρακα: οργανικές ενώσεις

Μικτότροφος

- Πηγή ενέργειας: Φως & οργανικές ενώσεις
- Πηγή άνθρακα: Ανόργανες και οργανικές ενώσεις



Παρουσία
οργανικών
υποστρωμάτων:
**Κίνδυνος
επιμολύνσεων**

- ❑ Ετερότροφη/μικτότροφη ανάπτυξη:
Αυξημένη παραγωγικότητα βιομάζας

❖ Καλλιέργεια μικροφυκών

□ Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη



Ανοιχτού τύπου καλλιέργειες



Φωτο-βιοαντιδραστήρες (PBRs)



❖ Εφαρμογές μικροφυκών

❑ Παραγωγή προϊόντων

Προϊόντα	Εφαρμογές
Χρωστικές (Χλωροφύλλες α & β, β-καροτένιο, ασταξανθίνη, φυκομπιλίνες)	Χρωστικές, καλλυντικά, πρόσθετα τροφίμων και ζωοτροφών, φαρμακευτικά προϊόντα
Λιπίδια (Υδρογονάνθρακες, TAGs, PUFAs)	Βιοκαύσιμα, πρόσθετα τροφίμων και ζωοτροφών
Αμινοξέα (λευκίνη, ασπαραγίνη, γλουταμίνη, κυστεΐνη, λυσίνη κ.α.)	Πρόσθετα τροφίμων και ζωοτροφών, συμπληρώματα υγείας
Υδατάνθρακες (β-1-3-γλυκάνη, άμυλο, κυτταρίνη κ.α.)	Βιοκαύσιμα, Θεραπευτικές εφαρμογές
Βιταμίνες και μέταλλα (π.χ. βιταμίνες B ₁ , B ₂ , B ₆ , B ₁₂ , C και E, βιοτίνη, φολικό οξύ, μαγνήσιο, ασβέστιο, φωσφορικό άλας, ιώδιο)	Συμπληρώματα διατροφής και ζωοτροφών

❖ Καλλιέργεια μικροφυκών

❑ Παραγωγή προϊόντων



Προϊόντα	Εφαρμογές
Πολυμερή (PHAs, EPSs)	Ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές
Φυτοστερόλες (στιγμαστερόλη, ισοφουτοστερόλη, σιτοστερόλη, φουκοστερόλη κ.α.)	Συμπληρώματα διατροφής, φαρμακευτικές εφαρμογές
Φαινόλες (γαλλικό, καφεϊκό, σαλικυλικό, ρ-κουμαρικό και φερουλικό οξύ)	Καλλυντικά
Τοξίνες (ομοϊκό οξύ, οκαδαϊκό οξύ κ.α.)	Ιατρικές εφαρμογές

Βιομηχανικά είδη

Arthrospira (Spirulina) platensis, Dunaliella sp., Chlorella sp., Haematococcus sp., Porphyridium sp., Nannochloropsis sp.

❖ Εφαρμογές μικροφυκών

❑ Παραγωγή βιοκαυσίμων

- ✓ Απλή κυτταρική δομή
- ✓ Υψηλός ρυθμός πολλαπλασιασμού
- ✓ Υψηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια (έως 80% επί του Ξ.Β.)
- ✓ Κατανάλωση ατμοσφαιρικού CO₂
- ✓ Συγκομιδή αρκετές φορές/χρόνο
- ✓ Ανάπτυξη σε μη-καλλιεργήσιμες εκτάσεις, χρήση αλμυρού-υφάλμυρου νερού, αποβλήτων
- ✓ Παραγόμενα καύσιμα: μη τοξικά & βιο-αποικοδομήσιμα



- ❑ Μετεστεροποίηση λιπιδίων: **Βιοντίζελ**
- ❑ Αναερόβια χώνευση: **Βιοαέριο**
- ❑ Ζύμωση: **Βιοαιθανόλη**

❖ Επεξεργασία αποβλήτων

- ❑ Απομάκρυνση οργανικών ρύπων (Μείωση COD έως 70%)
- ❑ Κατανάλωση ανόργανων ενώσεων (Σχεδόν πλήρης απομάκρυνση N,P)
- ❑ Επεξεργασία καυσαερίων (Κατανάλωση CO₂)
- ❑ Βελτίωση ποιότητας αποβλήτων (Βαρέα μέταλλα, θολερότητα κ.α.)

- ✓ Μείωση φαινομένων ευτροφισμού
- ✓ Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- ✓ Ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών
- ✓ Παραγωγή πολύτιμης βιομάζας
- ✓ Μείωση κόστους παραγωγής



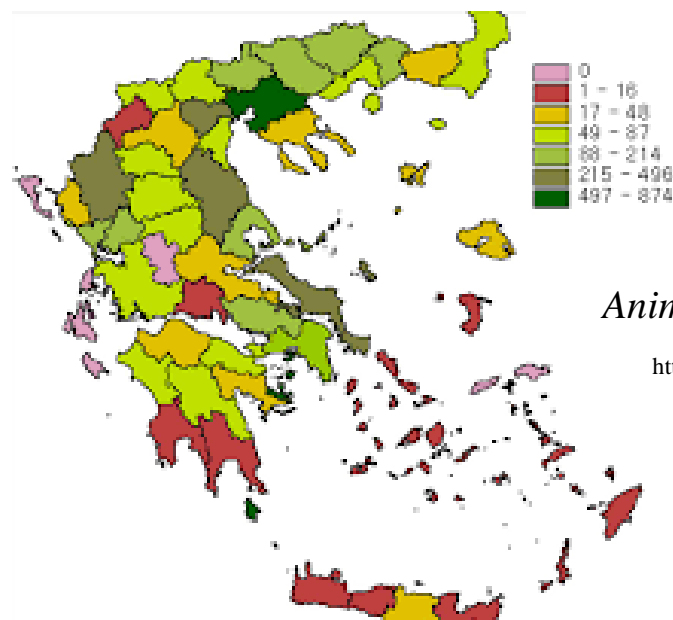
❖ Επεξεργασία αποβλήτων

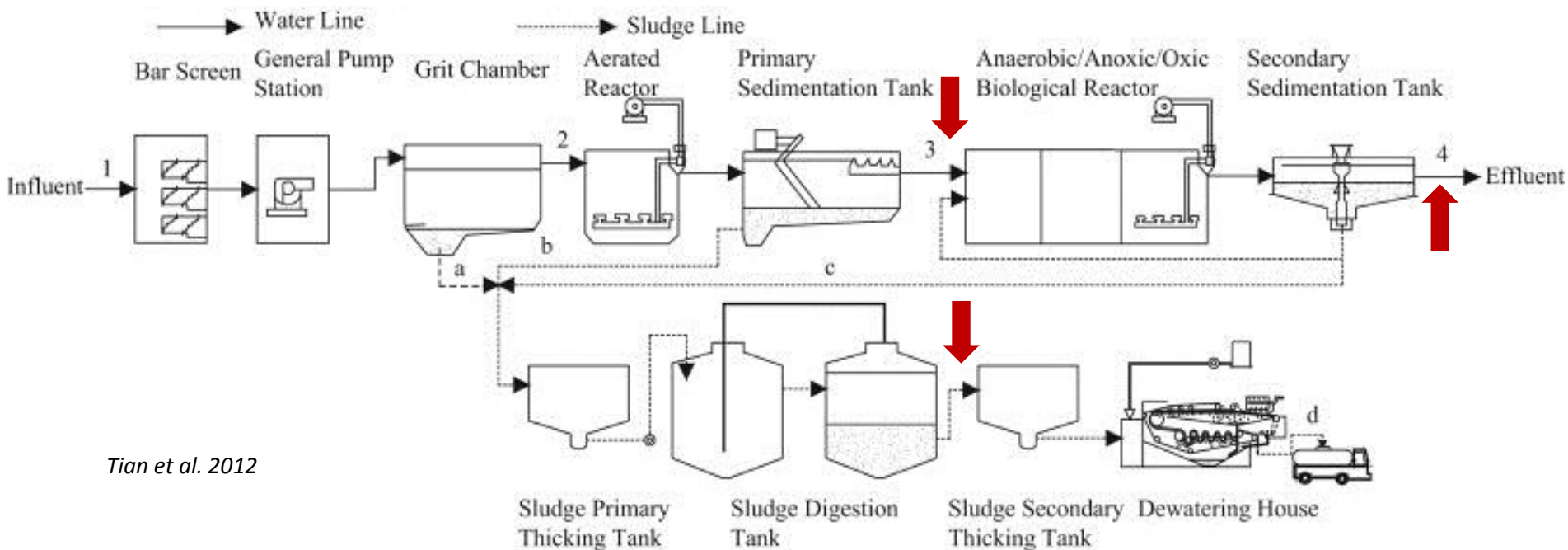
WW	% (w/v) solids	Parameter (mg L ⁻¹)				
		COD	TKN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
Aquaculture	0.1	150	60	7	110	50.4
Dairy	5.3-9.7	19,300-38,230	1,210-3,305	306-1,782	<1	266-303
Poultry manure	0.8	2,090	1,830	990	-	450
Poultry litter	-	-	35.7	9.2	10.3	5.3
Swine	0.9-6.2	18,700-59,700	810-7,300	4,800	-	290

Lowrey et al. 2014

- Αγροτο-κτηνοτροφικά απόβλητα
- Αστικά απόβλητα
- Βιομηχανικά απόβλητα

45,957,990 t/y αγροτο-βιομηχανικά απόβλητα & κοπριά ζώων





Tian et al. 2012

Conc., mg/L	Primary treatment	Secondary treatment	Centrate from anaerobic digestion
COD	500.0	110.0	300.0
N-NO ₃	2.4	0.0	5.3
N-NH ₄	62.6	20.8	506.5
P-PO ₄	11.3	10.0	12.0
TKN	65	20	511
TP	11	10	12
TC	296	82	247
C/N/P	100/21/4	100/25/12	100/207/5

Acién et al. 2016

❖ Επεξεργασία αποβλήτων

□ Ανάπτυξη μικροφυκών



WW source	Microalgae	Specific growth rate (μ , d^{-1})	Biomass productivity ($mg L^{-1} d^{-1}$)
Piggery WW	<i>Chlorella zofingiensis</i>	0.32	273.3
Textile WW	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	0.20	8.1
Domestic WW	<i>Chlorella vulgaris</i>	0.21	128.2
Dairy WW	<i>Chlorella sp.</i>	0.32	260
Aquaculture WW	<i>Chlorella sp.</i>	0.29	459
Palm oil mill Effluent	<i>Chlorella sorokiniana</i>	0.24	107.5

Khalid et al. 2019

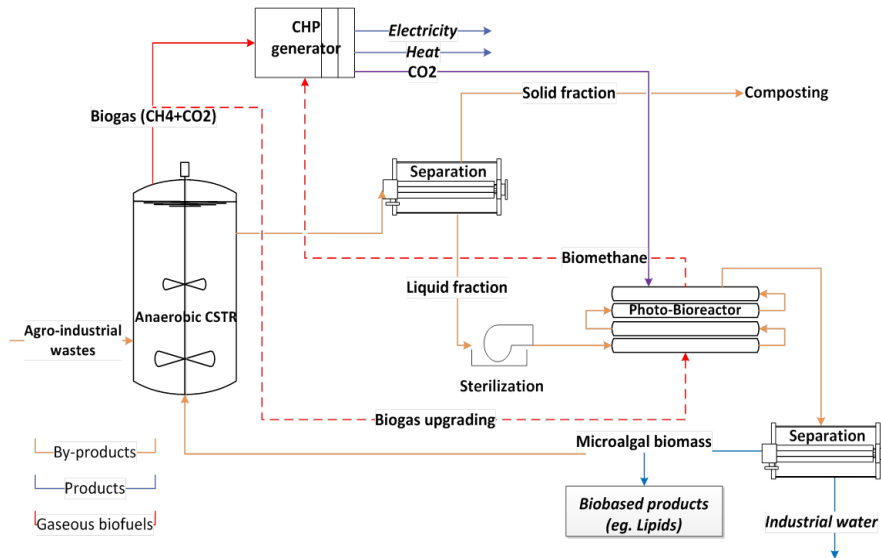
Μικτοί πληθυσμοί μικροφυκών-βακτηρίων



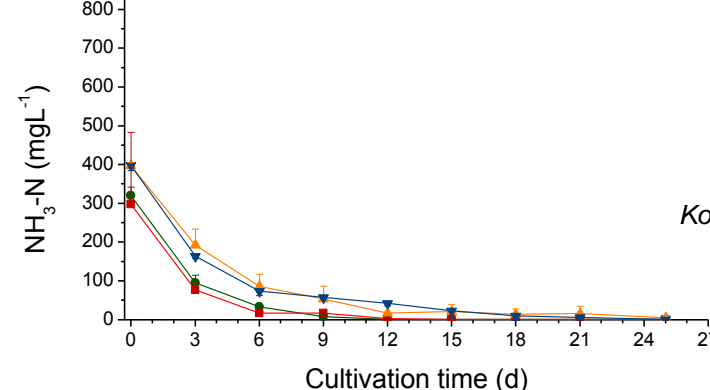
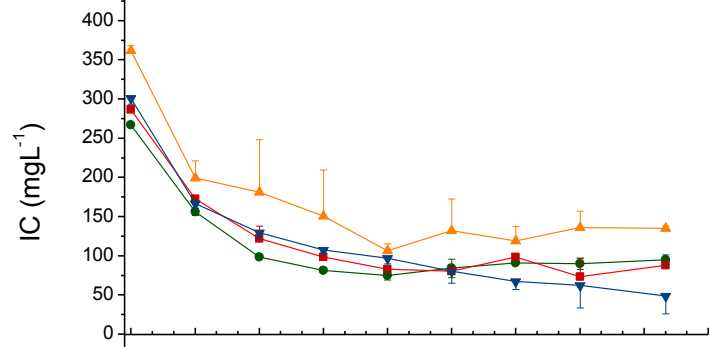
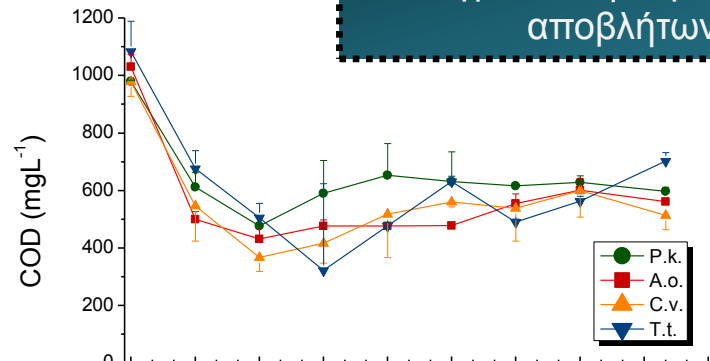
☐ Απομάκρυνση θρεπτικών -COD

WW source	Microalgae	% Removal				
		COD	NH ₄ -N	TN	TP	
Municipal WW	Secondary effluent	<i>Scenedesmus obliquus</i>	-	96.6-100	-	55.2-83.3
		<i>Chlorella vulgaris</i>	-	60.1-80	-	53.3-80.3
		Blue-green algae	98	100	76.6-97.8	54.5-72.6
	Digested sludge	<i>Coelastrum microporum</i>	59.5-80.3	-	35.2-87.8	43.4-88.7
		Centrate	<i>Chlorella</i> sp.	90.8	93.9	89.1
Agricultural WW	Digested dairy manure	<i>Chlorella</i> sp.	27.9-38.4	100	75.7-82.5	62.5-74.7
Industrial WW	Soybean processing	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	41.1	89.1	88.8	70.3
	Meat processing	<i>Chlorella</i> sp.	7.9-43.9	68.7-90.4	30.1-50.9	44.9-63.5
	Piggery-brewery	<i>Chlorella vulgaris</i>	83-93	19-100	32-96	28-95

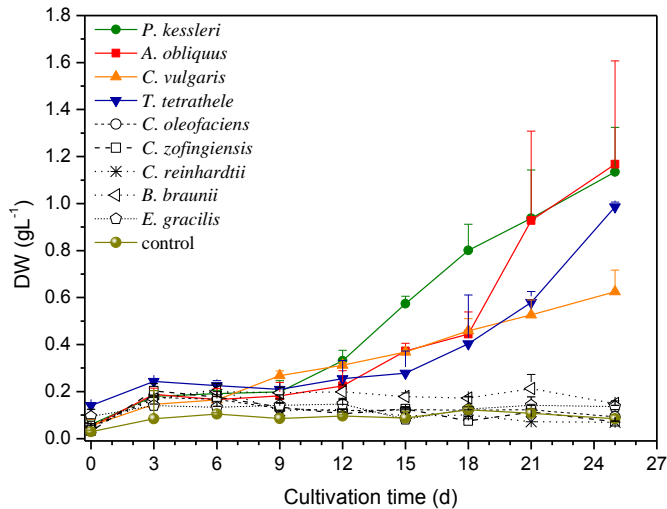
Li et al. 2019

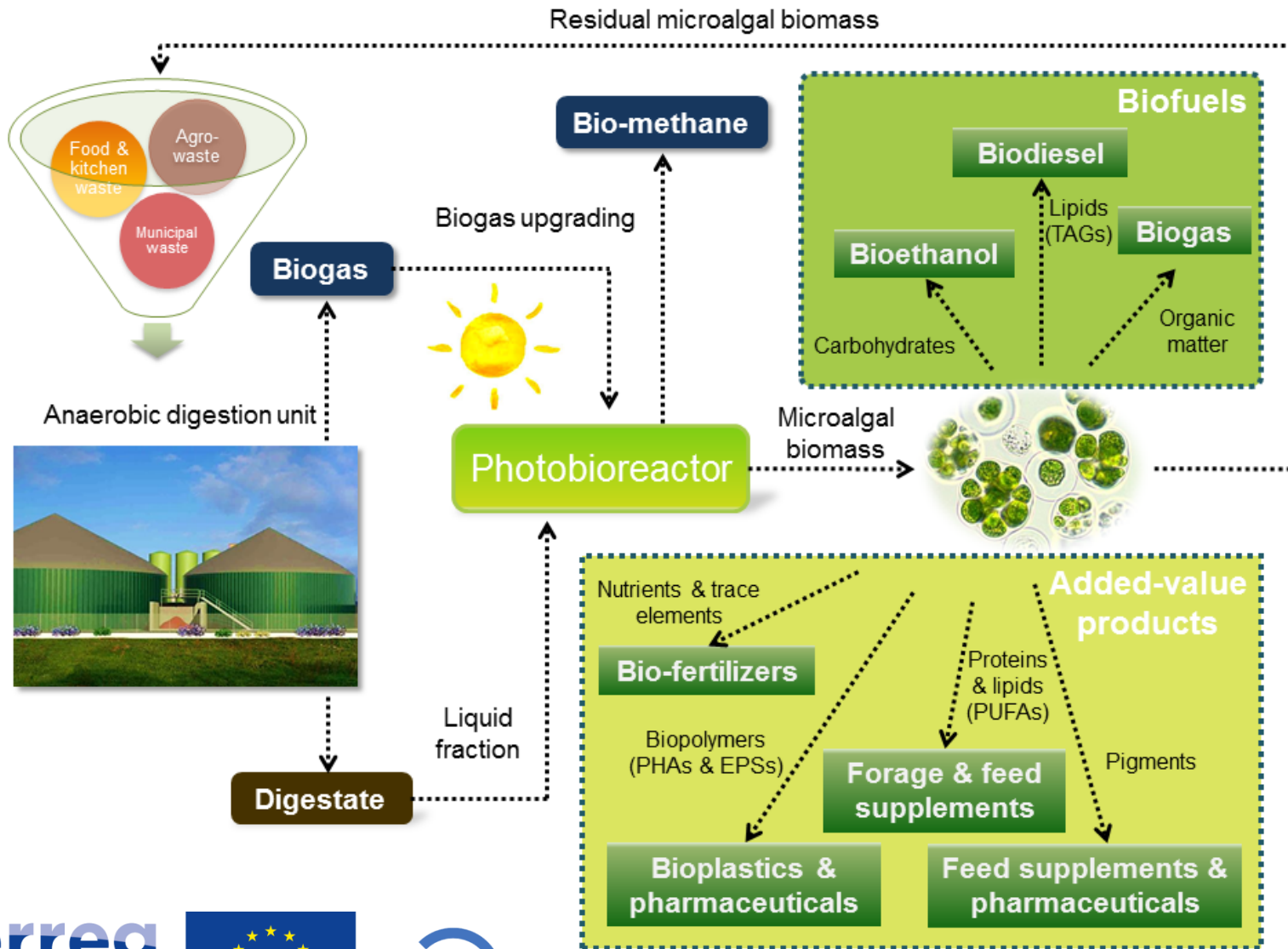


10% (v/v) αναερόβια απορροή αγροτο-κτηνοτροφικών αποβλήτων



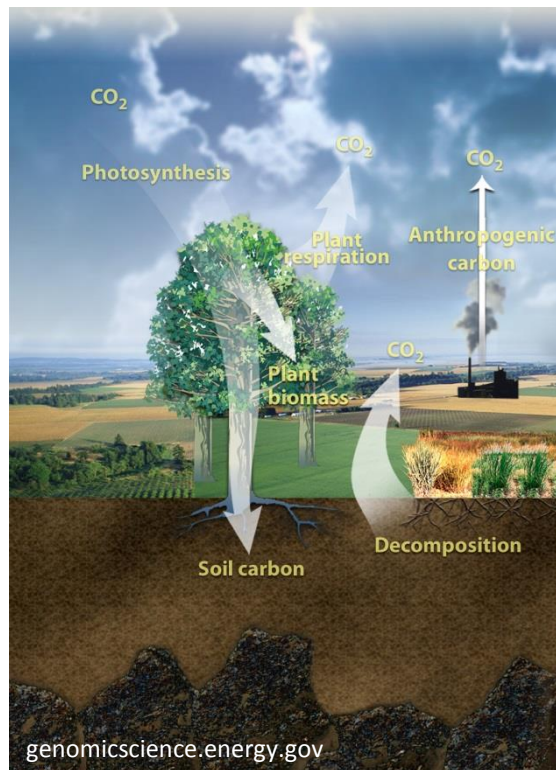
Koutra et al. 2018





❖ Επεξεργασία αποβλήτων

☐ Κατανάλωση CO₂



- Υψηλές απαιτήσεις CO₂
- Αυξημένη απόδοση
- Ρύθμιση pH καλλιέργειας
- Αξιοποίηση καυσαερίων, βιαερίου



10-50 φορές υψηλότερη απόδοση καθήλωσης CO₂ από τα χερσαία φυτά

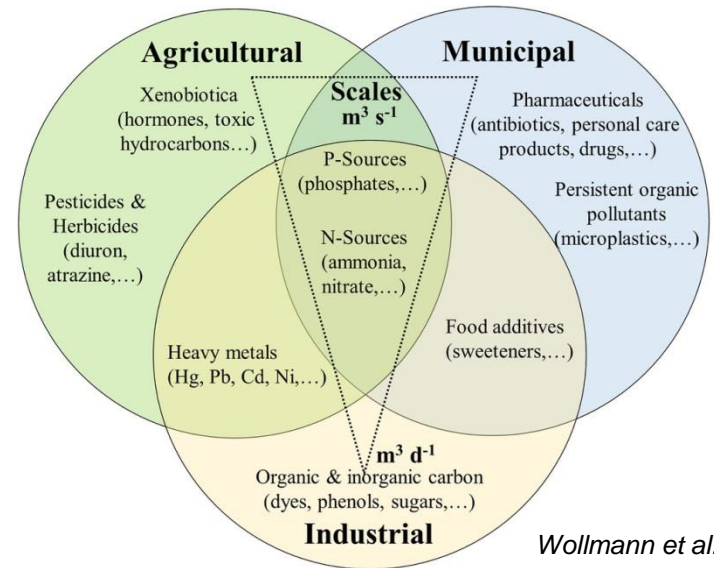
Microalgae	CO ₂ concentration	CO ₂ Fixation (mg L ⁻¹ d ⁻¹)
<i>Scenedesmus</i> sp.	2.5%	368.0
<i>Chlorella vulgaris</i>	5%	162.7
<i>Spirulina</i> sp.	6%	376.0
<i>Chlorella fusca</i>	10%	264.5
<i>Chlorella vulgaris</i> LEB 106	12%	138.0

Costa et al. 2019

❖ Επεξεργασία αποβλήτων

□ Προκλήσεις-προοπτικές

- Σκούρο χρώμα
- Θολερότητα
- Έλλειψη/ανισορροπία θρεπτικών συστατικών
- Παρουσία παρεμποδιστών
- Ανάγκη προ-επεξεργασίας



“Living well within the limits of our planet”, EC.

- Χρήση βιομηχανικών/ανθεκτικών ειδών
- Συνδυασμός με μεθόδους προ- ή μετ-επεξεργασίας
- Βελτιστοποίηση διεργασίας
- Πλήρης αξιοποίηση της παραγόμενης βιομάζας-προσέγγιση βιο-διυλιστηρίου
- Ανάλυση μικροβιακού φορτίου και βαρέων μετάλλων

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!



❖ Κύριες βιβλιογραφικές αναφορές

- ❑ Ación F.G. et al. (2016) Wastewater treatment using microalgae: how realistic a contribution might it be to significant urban wastewater treatment? *Appl Microbiol Biotechnol* 100, 9013–9022
- ❑ Costa J.A.V. et al. (2019) Microalgal biorefinery from CO₂ and the effects under the Blue Economy. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 99, 58-65
- ❑ Khalid AAH., et al. (2019) Assessing the feasibility of microalgae cultivation in agricultural wastewater: The nutrient characteristics. *Environ Technol Innovation* 15, 100402
- ❑ Koutra E. et al. (2018) Selection of microalgae intended for valorization of digestate from agro-waste mixtures. *Waste Management* 73, 123-129
- ❑ Li K. et al. (2019) Microalgae-based wastewater treatment for nutrients recovery: A review. *Bioresour. Technol.* 291, 121934
- ❑ Lowrey, J. et al. (2015) Heterotrophic and mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production in agricultural wastewaters and associated challenges—a critical review. *J Appl Phycol* 27, 1485–1498
- ❑ Suganya T. et al. (2016) Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 55, 909-941
- ❑ Tian W. et al. (2012) Occurrence and removal of polycyclic aromatic hydrocarbons in the wastewater treatment process. *Ecotoxicol Environ Safety* 82, 1-7
- ❑ Woese C.R. et al. (1990) Towards a natural system of organisms. Proposal for the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. *PNAS* 87, 4576-4579
- ❑ Wollmann F. et al. (2019) Microalgae wastewater treatment: Biological and technological approaches. *Eng Life Sci.* 19, 860– 871.