



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΥΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.



ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΑΜ: 12316

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΜΑΛΙΑΔΑ 2021

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών. Αρχικά, είναι πολύ σημαντικό να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπασωτηρόπουλο Βασίλειο, για την βοήθεια και την ευκαιρία που μου πρόσφερε να ασχοληθώ με την πτυχιακή μου εργασία. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την συμφοιτήτρια μου Γαλάνη Άρτεμις για την βοήθεια της στην πορεία της πτυχιακής μου. Τέλος, θα ήθελα να αναφέρω τις πιο θερμές ευχαριστίες στην οικογένεια μου και κυρίως στο νομό μου που απεβίωσε πρόσφατα, Κωσταντίνο Ζούκα καθώς, με στήριξε και μου έδωσε όλη την δύναμη για να κατακτήσω τους στόχους μου.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη συμβολή της γενετικής βελτίωσης των φυτών στον τομέα της παραγωγής βιοκαυσίμων, με αναφορά στα ενεργειακά φυτά και σε άλλες πρώτες ύλες. Επίσης, παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με την παραγωγή βιοενέργειας και την εκμετάλλευση της βιομάζας. Όλα τα παραπάνω έχουν τοποθετηθεί σε πέντε κύρια κεφάλαια.

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο αναλύεται ο τομέας της βιοενέργειας με στατιστικά δεδομένα της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Επίσης, αναφέρονται ιστορικά δεδομένα της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη χρήση παράγωγων της βιομάζας.

Το δεύτερο κεφάλαιο βασίζεται στην βιομάζα και την συμβολή της στην ενεργειακή ζήτηση. Οι υποενότητες του κεφαλαίου αναφέρονται στους πόρους βιομάζας, στις διαδικασίες παραγωγής, την επεξεργασία της και στα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα της.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρονται τα κυριότερα τα ενεργειακά φυτά, κατηγοριοποιημένα σε πολυετή και ετήσια καλλιεργούμενα είδη, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων δασικών και επιχειρείται μια συνοπτική περιγραφή των πιο σημαντικών από αυτά, με έμφαση στην ενεργειακή χρήση τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, πραγματεύεται ο τομέας των βιοκαυσίμων με πληροφορίες των ιδιοτήτων τους, την παραγωγή τους, με αναφορά στην λιγνοκυτταρινική βιομάζα, στα μικροφύκη και κυανοβακτήρια ως πρώτες ύλες.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει την συμβολή της γενετικής βελτίωσης στον τομέα της παραγωγής βιοκαυσίμων και στην παραγωγή πρώτων υλών. Επιπλέον, σε υποενότητα έχουν προστεθεί σχετικές μελέτες/εκτιμήσεις για την συμβολή της γενετικής βελτίωσης των ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Abstract

This dissertation thesis deals with the contribution of plant genetic improvement in the field of biofuel production, with reference to energy plants and other raw materials. It also provides important information regarding bioenergy and biomass production and exploitation. All the above have been placed in five main chapters.

The first introductory chapter analyses the bioenergy sector with statistical data on energy consumption worldwide. Historical data on the use of renewable energy sources and the use of biomass derivatives have also been reported.

The second chapter is based on biomass and its contribution to energy demand. The subsections of the chapter are referred to biomass resources, its processing, and advantages/disadvantages about its use.

In the third chapter, the main energy plants categorized as perennial and annual cultivated species are mentioned also including some forest species. A brief description of the most important of them is attempted, with emphasis on their energy use.

In the fourth chapter, the biofuels sector is also described. In addition, information regarding biofuel properties and their production, with reference to lignocellulosic biomass, microalgae, and cyanobacteria as raw materials, is provided.

The fifth chapter analyses the contribution of plant genetic improvement in the field of biofuel production and more specifically in the production of raw materials. In addition, relevant assessments regarding the projection of the contribution of plant genetic improvement in biofuel production have been added.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract	4
Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1. Βιοενέργεια.....	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Βιοενέργεια και περιβάλλον.....	11
1.3 Ιστορικά δεδομένα	13
Κεφάλαιο 2. Βιομάζα	16
2.1 Τι είναι η βιομάζα	16
2.2 Πόροι βιομάζας	17
2.3 Κατηγορίες επεξεργασίας βιομάζας.....	19
2.3.1 Θερμοχημική επεξεργασία	20
2.3.2 Βιολογική επεξεργασία	22
2.3.3 Φυσικοχημική επεξεργασία.....	23
2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιομάζας	24
Κεφάλαιο 3. Είδη ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων.....	26
3.1 Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες.....	28
3.2 Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες	36
3.3 Δασικά Είδη.....	42
3.4 Αποδόσεις ενεργειακών φυτών	48
Κεφάλαιο 4. Βιοκαύσιμα	52
4.1 Διαδικασίες παραγωγής βιοντίζελ.....	55
4.2 Η λιγνοκυτταρινική βιομάζα ως πηγή παραγωγής βιοκαυσίμων.....	57
4.3 Η παραγωγή βιοκαυσίμων με πρώτες ύλες τα Μικροφύκη και τα Κυανοβακτήρια. ..	60
4.3.1 Η ευκαιρία των κυανοβακτηρίων και μικροφυκών προς βιοκαύσιμα.....	62
4.3.2 Βιοκαύσιμα από κυανοβακτήρια και μικροφύκη	63
Βιοϋδρογόνο.....	63

Βιοαιθανόλη	64
Βιομεθάνιο.....	64
Βιοντίζελ	65
4.3.3 Γενετική μηχανική κυανοβακτηρίων και μικροφυκών	66
4.4 Βιωσιμότητα της παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη.....	66
4.5 Περιορισμοί της παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη.....	68
4.6 Βιοδιύλιστήριο	69
Κεφάλαιο 5. Η συμβολή της γενετικής βελτίωσης σταβιοκαύσιμα.....	71
5.1 Ο ρόλος της Βελτίωσης των φυτών.....	71
5.2 Σύντομο ιστορικό γενετικής βελτίωσης	72
5.3 Μοριακή Βελτίωση για βελτιωμένη δεύτερη γενιά καλλιεργειών βιοενέργειας.	73
5.4 Μελέτες και εκτιμήσεις για την συμβολή της γενετικής βελτίωσης των ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων.....	75
Βελτίωση στην παραγωγή βιοκαυσίμων	75
Βελτίωση στην καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου	77
Βελτίωση στην παραγωγή βιοκαυσίμων από μικροφύκη.....	80
Βελτίωση πολυετών καλλιεργειών βιομάζας (μίσκανθος, ιτιά, λεύκα, switchgrass).....	81
Συμπεράσματα.....	84
Βιβλιογραφία.....	85
Παράρτημα συντομογραφιών.....	96

Εισαγωγή

Η βιοενέργεια (με τη μορφή βιομάζας) αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από βιολογικές πηγές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας, καυσίμων καθώς και των συμπαραγώγων τους. Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα περιλαμβάνει μια σειρά τεχνολογιών που περιλαμβάνουν στερεά καύση, αεριοποίηση και ζύμωση. Οι τεχνολογίες αυτές παράγουν υγρά καύσιμα και καύσιμα αερίου από ένα ευρύ σύνολο βιολογικών πόρων, όπως τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ζαχαροκάλαμο, αραβόσιτος, ελαιούχοι σπόροι), υπολείμματα καλλιεργειών και απόβλητα, καλλιέργειες που προορίζονται για την ενέργεια (χόρτα και δέντρα), κοπριά και οργανικά συστατικά των αστικών αποβλήτων. Τα αποτελέσματα είναι προϊόντα βιοενέργειας που παρέχουν πολλαπλές ενεργειακές υπηρεσίες: καύσιμα μαγειρέματος, θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα μεταφοράς. Αυτή ακριβώς η ποικιλομορφία έχει τη δυνατότητα μιας αμοιβαίας επωφελούς αναπτυξιακής πορείας για το περιβάλλον, την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη και την ενεργειακή ασφάλεια.

Συγκεκριμένα, τα βιοκαύσιμα είναι καύσιμα βιολογικής και ανανεώσιμης προέλευσης, όπως τα καυσόξυλα, ο άνθρακας, η κοπριά, το βιοαέριο, το βιοϋδρογόνο, η βιοαλκοόλη, η μικροβιακή βιομάζα, τα γεωργικά απόβλητα και τα υποπροϊόντα, οι ενεργειακές καλλιέργειες και άλλα. Τα βιοκαύσιμα σε στερεές, υγρές και αέριες μορφές έχουν ερευνηθεί και χρησιμοποιηθεί εντατικά, τα τελευταία 15 χρόνια.

Όσον αφορά τη σύγχρονη βιοενέργεια, η αιθανόλη, το βιοντίζελ και το βιοαέριο είναι τα τρία κύρια προϊόντα της. Η αιθανόλη και το βιοντίζελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα μεταφοράς, με δεδομένο ότι η αιθανόλη είναι ένα σημαντικό ακατέργαστο προϊόν στη χημική βιομηχανία. Ως εκ τούτου, η παραγωγή αιθανόλης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μετατροπή των οικονομιών που βασίζονται στο πετρέλαιο σε βιώσιμες οικονομίες που βασίζονται στη βιομάζα και είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Τα κίνητρα για τον μετριασμό του παγκόσμιου κλίματος ενθαρρύνουν περαιτέρω τις διεθνείς κοινότητες να επενδύσουν στην ανάπτυξη και τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η βιοενέργεια αντλεί σημαντικές και ιδιαίτερες αναπτυξιακές προσπάθειες, κυρίως λόγω της εκτεταμένης διαθεσιμότητας βιομάζων, της ήδη ύπαρξης τεχνολογιών και υποδομών παραγωγής βιομάζας και της μοναδικής πρώτης ύλης για υγρά καύσιμα. Επιπλέον, οι Guo et al. (2015), στο άρθρο τους *Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective*, αναφέρουν

ότι τα ορυκτά καύσιμα είναι οι κυρίαρχες πηγές ενέργειας, ικανοποιώντας το 48% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Τέλος, είναι εύλογο να αναφερθεί, πως η εκτεταμένη παραγωγή πρώτων υλών βιομάζας και βιοκαυσίμων, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στο έδαφος, το νερό, τη γη και την αστική ανάπτυξη.

Αν και αυτές οι εμπειρικές μορφές καυσίμων βιομάζας εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σήμερα, οι επιλογές βιοεπεξεργασίας (αερόβια και αναερόβια ζύμωση) για την παραγωγή υγρών καυσίμων μεταφοράς είναι υψίστης σημασίας για κάθε βιώσιμο σύστημα ενεργειακής ανάπτυξης. Η παγκόσμια αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, η προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης ενέργειας στο εγγύς μέλλον, η εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων χαμηλού κόστους εξόρυξης και η κλιματική αλλαγή, έχουν συγκλίνει για να δημιουργήσουν επείγουσα ανάγκη ανάπτυξης πιο βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων με βάση την ανανεώσιμη λιγνοκυτταρινική βιομάζα.

Κεφάλαιο 1. Βιοενέργεια

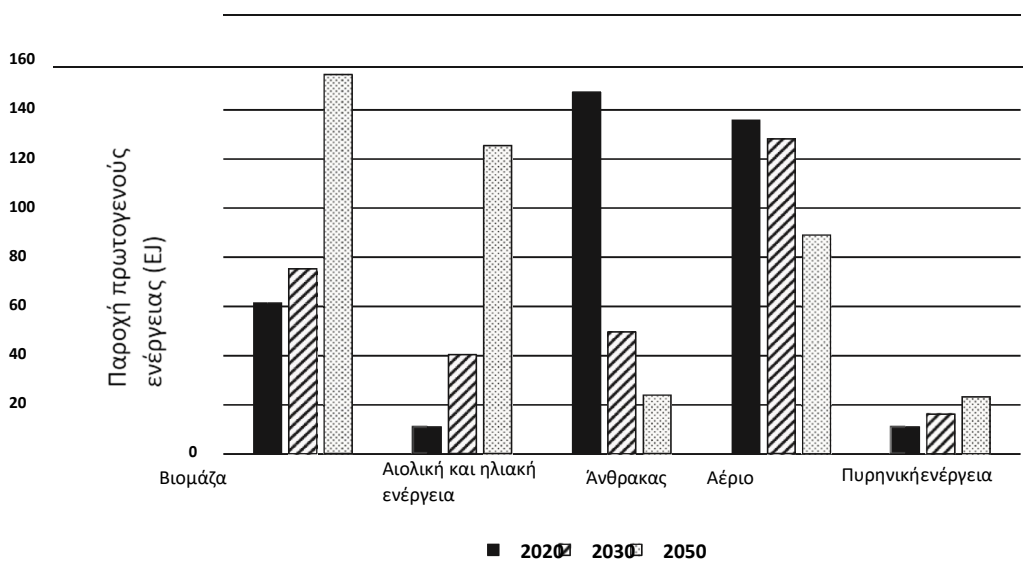
1.1 Εισαγωγή

Βιοενέργεια είναι η χημική ενέργεια που αποθηκεύεται σε οργανικό υλικό, η οποία μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε χρήσιμες πηγές ενέργειας με βιολογικές, μηχανικές ή θερμοχημικές διεργασίες (Bessou et al. 2011). Οι Lopez-Bellido al. (2014), στο άρθρο τους *Energy crops: prospects in the context of sustainable agriculture*, τονίζουν πως ο όρος βιοενέργεια αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από βιολογικές πηγές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση, ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα, καθώς και για τα υποπροϊόντα τους. Όσον αφορά τη σύγχρονη βιοενέργεια, η αιθανόλη, το βιοντίζελ και το βιοαέριο είναι τα τρία κύρια βιοενεργειακά προϊόντα (Yuan et al. 2008). Η βιοενέργεια προωθήθηκε ως υποκατάστατο της ορυκτής ενέργειας για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse gas - GHG) και της εξάρτησης από τις εισαγωγές ενέργειας (Haberl et al. 2010).

Η βιοενέργεια αποτελεί σημαντικό μέρος της ενεργειακής οικονομίας, αντιπροσωπεύοντας το 9,5% του συνολικού εφοδιασμού πρωτογενούς ενέργειας και περίπου το 70% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2017β, 2019), αναφέρουν οι Reid, et al. (2020) στο άρθρο τους “*The future of bioenergy. Global change biology*”. Περισσότερο από το ήμισυ αυτής της βιοενέργειας περιλαμβάνει την παραδοσιακή χρήση βιομάζας, κυρίως σε νοικοκυριά για μαγείρεμα και θέρμανση αλλά και σε μικρές βιομηχανίες (όπως κλιβάνους ξυλάνθρακα και κλιβάνους από τούβλα). Ενώ υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης της βιωσιμότητας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας της υγείας που συνδέονται με τη χρήση παραδοσιακής βιομάζας, με βάση τους Creutzig et al. (2015).

Η σύγχρονη βιοενέργεια, ήταν υπεύθυνη για το ήμισυ του συνόλου της ανανεωμένης ενέργειας που καταναλώθηκε το 2017, παρέχοντας τετραπλάσια συμβολή των ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) και του αιολικού (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2018). Το μεγαλύτερο μέρος της βιοενέργειας παρέχει θερμότητα στα κτίρια και τη βιομηχανία, αλλά η βιοενέργεια αναμένεται επίσης να αντιπροσωπεύει το 3% της παραγωγής ενέργειας και περίπου το 4% της ζήτησης ενέργειας στις μεταφορές το 2023 (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2018). Η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων για μεταφορές αυξήθηκε με ετήσιους ρυθμούς άνω του 10% πριν από το 2010,

αλλά στη συνέχεια επιβραδύνθηκε σε ετήσια ανάπτυξη 4% από το 2010 έως το 2016. Ο ετήσιος μέσος ρυθμός ανάπτυξης της δυναμικότητας ηλεκτρικής ενέργειας βιοενέργειας ήταν 6,5% από το 2010 έως το 2016 (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2017). Κατά την περίοδο 2018- 2023, η βιοενέργεια (συμπεριλαμβανομένων των υγρών βιοκαυσίμων) προβλέπεται να αντιπροσωπεύει το 30% της αύξησης της παραγωγής ενέργειας (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, 2018).



Εικ.1 Διάγραμμα παροχής ενέργειας Πηγή: Reid, W. V., Ali, M. K., & Field, C. B. (2020). *The future of bioenergy. Global change biology*, 26(1), 274-286.

Η συνολική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι τεράστια (περίπου 400 EJ ή 4×10^{20} J ετησίως) και αναμένεται να αυξηθεί κατά 50% έως το 2025. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης θα σημειωθεί στις αναπτυσσόμενες χώρες, ιδίως στην Κίνα και την Ινδία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ζήτησης ικανοποιείται από ορυκτά καύσιμα, ιδίως το πετρέλαιο. Η ταχεία αύξηση της ζήτησης πετρελαίου, ο πεπερασμένος εφοδιασμός του και η πολιτική αστάθεια σε πολλές από τις μεγάλες χώρες που το εξάγουν, ωθούν προς τα πάνω τις τιμές του πετρελαίου και τις καθιστούν πιο ασταθείς. Ως αποτέλεσμα, πολλές χώρες εισαγωγής προσπαθούν να επεκτείνουν και να διαφοροποιήσουν τις πηγές ενέργειάς τους και εξετάζουν τη βιοενέργεια ως δυνητικά ελκυστική προοπτική στο πλαίσιο των ευρύτερων ενεργειακών χαρτοφυλακίων τους. Ήδη, η βιοενέργεια αντιπροσωπεύει το 10% των παγκόσμιων ενεργειακών τεμαχίων και η δυνατότητα καλύτερης εκμετάλλευσης πολλών αγροεπιχειρηματικών υπολειμμάτων καλλιεργειών και καλλιέργειας ειδικών ενεργειακών καλλιεργειών είναι

τεράστια.

Το δυναμικό της βιοενέργειας μπορεί να αυξηθεί επίσης, καθώς οι τεχνολογίες δεύτερης γενιάς έρχονται σε απευθείας σύνδεση, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη μετατροπή της πλούσιας σε κυτταρίνη βιομάζας για τη μεταφορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογική πρόοδος όχι μόνο θα συμβάλει στο να καταστεί η βιοενέργεια πιο ανταγωνιστική με τα ορυκτά καύσιμα στην τιμή, αλλά θα επεκτείνει επίσης το φάσμα των πρώτων υλών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μερικές από τις οποίες (όπως τα ταχέως αναπτυσσόμενα χόρτα και δέντρα) μπορούν να ευδοκιμήσουν σε λιγότερο γόνιμες και πιο επιρρεπείς στην ξηρασία περιοχές που είναι λιγότερο ανταγωνιστικές με τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές από τις τρέχουσες πρώτες ύλες όπως, το ζαχαροκάλαμο, ο αραβόσιτος και ο κραιμβόσπορος.

Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες με τροπικά κλίματα μπορεί να έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα στην καλλιέργεια βιομάζας πλούσιας σε ενέργεια και θα μπορούσαν να γίνουν σημαντικοί εξαγωγείς. Ακόμη και η Αφρική έχει το βιοφυσικό δυναμικό να καταστεί σημαντικός παραγωγός και εξαγωγέας βιοενέργειας.

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, η βιομάζα είναι επίσης η κύρια πηγή οικιακής ενέργειας στις αγροτικές και αστικές περιοχές. Τα αστικά νοικοκυριά χρησιμοποιούν κυρίως ξύλο και κάρβουνο για μαγείρεμα και θέρμανση, και με τη συνεχή ταχεία ανάπτυξη των αστικών πληθυσμών, η εξεύρεση βιώσιμων τρόπων κάλυψης αυτής της μεγάλης και αυξανόμενης ζήτησης αποτελεί επίσης πρόκληση.

Οι Hazell και Pachauri (2006), εκτιμούν πως η βιοενέργεια αντιπροσωπεύει το 33% της χρήσης ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά μόνο το 3-4% στις βιομηχανικές χώρες. Υπάρχουν επίσης μεγάλες διαφορές μεταξύ των αναπτυσσόμενων περιοχών: η βιομάζα αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 60% της τελικής χρήσης ενέργειας στην Αφρική, το 34% στην Ασία και το 25% στη Λατινική Αμερική.

1.2 Βιοενέργεια και περιβάλλον

Η ανάπτυξη συστημάτων ενεργειακών καλλιεργειών είναι μια δυνητικά αποτελεσματική στρατηγική για τη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής που παράγονται από ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ (Sartori et al. 2006; López-Bellido et al. 2010). Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, η καύση βιοκαυσίμων απελευθερώνει λιγότερο αέριο θερμοκηπίου (GHG) κατά

τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, λαμβάνοντας υπόψη ότι μέρος αυτού του απελευθερωμένου CO₂ επιστρέφει στην ατμόσφαιρα όπου καθορίζεται για πρώτη φορά με φωτοσύνθεση.

Εξυπακούεται ότι μια βιώσιμη πρακτική διαχείρισης πρέπει να διασφαλίζει ότι τα επίπεδα αποθηκευμένου άνθρακα σε ορισμένες εκτάσεις γης δεν μειώνονται συστηματικά με την πάροδο του χρόνου. Αυτός ο βασικός παράγοντας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σύγκριση των εκπομπών CO₂ από βιοκαύσιμα και ορυκτά καύσιμα. Πράγματι, το θεμελιώδες συμφέρον της ουδετερότητας C από τα καμένα βιοκαύσιμα βασίζεται στο γεγονός ότι το CO₂ που απελευθερώνεται από τα φυτά προέρχεται από την ατμόσφαιρα και τελικά επιστρέφει εκεί. Η περιεκτικότητα σε οργανικό C στο έδαφος μπορεί επίσης να μειωθεί σε μακροπρόθεσμη τάση λόγω της απομάκρυνσης των γεωργικών καταλοίπων. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαίο να αξιολογηθούν οι ποσότητες των καθαρών καταλοίπων καλλιεργειών που θα μπορούσαν να είναι διαθέσιμες από την αλυσίδα βιοενέργειας χωρίς να υποβαθμιστεί η μακροπρόθεσμη ποιότητα του εδάφους (Bessou et al. 2011). Ωστόσο, όπως αναφέρουν οι Wilhelm et al. (2007), η ποσότητα άχυρου που απαιτείται για τη διατήρηση της παραγωγικότητας, της δομής του εδάφους και της ανακύκλωσης θρεπτικών ουσιών πρέπει να ποσοτικοποιηθεί.

Η χρήση βιομάζας δεν σημαίνει αυτομάτως ότι η παραγωγή, η μετατροπή και η χρήση της είναι βιώσιμες. Οι συγκρούσεις μεταξύ των πολλών υπηρεσιών οικοσυστημάτων (οικονομική παραγωγή τροφίμων και καυσίμων, βιοποικιλότητα, κοινωνικές και πολιτιστικές αξίες κ.λπ.) που παρέχουν γεωργικές εκτάσεις αυξάνονται. Πρόσφατα, ένας σημαντικός αριθμός μελετών περιέγραψαν τον αντίκτυπο των εκπομπών CO₂ από το έδαφος και τη βιομάζα με την πάροδο του χρόνου ως αποτέλεσμα των αλλαγών στη χρήση γης λόγω των αυξημένων απαιτήσεων για ενεργειακές καλλιέργειες και βιοκαύσιμα.

Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων σε περιθωριακές εκτάσεις, αντί σε εύφορα παραγωγικά εδάφη, θα μπορούσε να αποτρέψει τον άμεσο ανταγωνισμό με την παραγωγή και την τιμολόγηση τροφίμων, καθώς και τη μείωση ή ακόμη και την εξάλειψη του χρέους άνθρακα που συνδέεται με την αποξήλωση των δασών. Ωστόσο, οι περιθωριακές εκτάσεις μπορούν επίσης να είναι πλούσιες σε βιοποικιλότητα και μπορεί να απαιτούν σημαντική εισροή νερού και θρεπτικών συστατικών για να διατηρήσουν την παραγωγή βιοκαυσίμων οικονομικά βιώσιμη και μπορεί να οδηγήσουν στην αγνόηση του κόστους της μελλοντικής δέσμευσης άνθρακα (López-Bellido και López-Bellido, 2012). Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας με βιοκαύσιμα θα απαιτήσει μεγάλη

ποσότητα γης, ίσως όσο απαιτείται επί του παρόντος για τις καλλιέργειες τροφίμων, γεγονός που θα άλλαζε σημαντικά τις προοπτικές.

Όπως υποστήριζαν οι López-Bellido και López-Bellido (2012), σε έναν κόσμο που αναζητά λύσεις στις ενεργειακές, περιβαλλοντικές και επισιτιστικές ανάγκες του, η κοινωνία δεν μπορεί να αντέξει οικονομικά την πολυτέλεια να χάσει τα περιβαλλοντικά, κοινωνικά οφέλη από τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που συνοδεύουν κατάλληλες διαδικασίες παραγωγής βιοκαυσίμων. Επιπλέον, η κοινωνία δεν μπορεί να αποδεχθεί τις ανεπιθύμητες συνέπειες των κακώς παραγόμενων βιοκαυσίμων, τα οποία θα μπορούσαν να παραχθούν ορθά και σε μεγάλες ποσότητες με χαμηλό έως καθόλου ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων.

Ο έγκαιρος εντοπισμός απρόβλεπτων συνεπειών στην ανάπτυξη στρατηγικών για τα βιοκαύσιμα θα συμβάλει στην πρόληψη δαπανηρών σφαλμάτων και αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι πολιτικές που στηρίζουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα, τόσο για τη γη όσο και για την ατμόσφαιρά, είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό μιας οικονομίας χαμηλής C, η οποία θα είναι ουσιαστικά καλύτερη από ό,τι υφίσταται. Τα βιώσιμα συστήματα παραγωγής βιοκαυσίμων μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος και στην ενίσχυση της παγκόσμιας οικονομίας. Ωστόσο, αυτό θα υλοποιηθεί μόνο εάν οι πολιτικές βασίζονται σε επιστημονικές γνώσεις και εάν το επιτρέψουν πρόσθετες ερευνητικές προσπάθειες (López-Bellido και López-Bellido, 2012).

Οι Karp και Shield (2008) και Jaradat (2010) επινόησαν τα ακόλουθα βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των συστημάτων παραγωγής βιοενέργειας:

- Χρήση και αλλαγή στη χρήση των εδαφών.
- "Υδατικό αποτύπωμα" ενεργειακών καλλιεργειών.
- Επιπτώσεις των ενεργειακών καλλιεργειών στη βιοποικιλότητα.
- Κλιματική αλλαγή, απομόνωση άνθρακα και μετριασμός των αερίων του θερμοκηπίου (ισορροπία και κύκλος ζωής).
- Διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους.

1.3 Ιστορικά δεδομένα

Αρχικά, η χρήση της βιομάζας ως πηγής καυσίμου χρονολογείται από το Πεκίνο, 460.000 έως 230.000 χρόνια πριν (Binford και Ho 1985), και η χρήση βιομάζας φυτών ως καυσίμου για τη θερμότητα, το φως και την παρασκευή τροφίμων ήταν κεντρικής σημασίας για την εξέλιξη του δικού μας είδους, αναφέρει ο Gowlett (2006) στο άρθρο του *The early settlement of northern Europe: fire history in the context of climate change and the social brain*.

Οι Bhattacharya et al. (2017) στο άρθρο τους *State-of-the-art of utilizing residues and other types of biomass as an energy source* ανέφεραν πως, έπειτα από την πετρελαϊκή κρίση του 1973, καταβλήθηκαν πολλές προσπάθειες παγκοσμίως, κατά την περίοδο 1974-1985, για την κατανόηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εκτίμηση του δυναμικού τους και την ανάπτυξη τεχνικών αρχών σχετικών με τη χρήση τους. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών. Αν και το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μειώθηκε μετά την πτώση της τιμής του πετρελαίου στα μέσα της δεκαετίας του 1980, η παγκόσμια ανησυχία για το περιβάλλον, ιδίως η υπερθέρμανση του πλανήτη, αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον παγκόσμιο για τον ενεργειακό εφοδιασμό αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά κατά τις επόμενες δύο δεκαετίες. Ένα μεγάλο μέρος αυτού προήλθε από τη βιομάζα.

Συγκεκριμένα, το πιο γνωστό πρόγραμμα υγρών καυσίμων στον κόσμο, που προέρχεται από βιομάζα, είναι το πρόγραμμα αιθυλικής αλκοόλης (αιθανόλη) με βάση τα ζαχαροκάλαμα της Βραζιλίας, το οποίο ιδρύθηκε το 1975. Το 1988 και 1989 παρήχθησαν περίπου 12,3 δισεκατομμύρια λίτρα αιθανόλης στη Βραζιλία. Ωστόσο, το πρόγραμμα αντιμετωπίζει επιπλοκές, λόγω της χαμηλής τιμής του πετρελαίου και της αυξανόμενης εγχώριας παραγωγής του. Το 1990, μόνο το 50% όλων των καινούργιων αυτοκινήτων που πωλήθηκαν τροφοδοτήθηκαν με καθαρή αιθανόλη σε σύγκριση με το 96% το 1985 (Hall et al. 1992). Η αιθανόλη μπορεί επίσης να παραχθεί από τις λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες, για παράδειγμα το ξύλο, και τα γεωργικά υπολείμματα. Επιπλέον, το λάδι από ορισμένα φυτά, όπως ο ηλίανθος και η καρύδα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υγρό καύσιμο σε κινητήρες και κλιβάνους. Η Μαλαισία, ο μεγαλύτερος παραγωγός φοινικέλαιου στον κόσμο, είχε αναφερθεί στην επιτυχή χρήση φοινικέλαιου ως καύσιμο για κινητήρα.

Επίσης, ορισμένα απόβλητα, για παράδειγμα η ζωική κοπριά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλύτερα για την παραγωγή βιοαερίου. Στην Κίνα, η οποία έχει το μεγαλύτερο πρόγραμμα βιοαερίου στον κόσμο, υπήρχαν περίπου 4,75 εκατομμύρια χωνευτήρια βιοαερίου

οικογενειακού μεγέθους στα τέλη του 1990. Επιπλέον, 64 χιλιάδες νοικοκυριά συνδέθηκαν με την προμήθεια βιοαερίου αγωγών από σταθμούς βιοαερίου. Στην Ινδία, περίπου 1,29 εκατομμύρια μονάδες βιοαερίου οικογενειακού μεγέθους εγκαταστάθηκαν μέχρι το τέλος του 1989. Επιπλέον, υπήρχαν περίπου 500 μονάδες κοινοτικού και θεσμικού τύπου. Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο 1986-1988, εντόπισε 743 μονάδες παραγωγής βιοαερίου σε 12 χώρες της Ευρώπης (Tentscher και Shao Gong, 1992) και περίπου το 67% αυτών ήταν γεωργικά εργοστάσια βιοαερίου.

Κεφάλαιο 2. Βιομάζα

2.1 Τι είναι η βιομάζα

Ο όρος βιομάζα ορίζεται ως η ενέργεια που προέρχεται από ζωντανούς ή πρόσφατα ζωντανούς οργανισμούς. Η βιομάζα, στον τομέα της ενέργειας, αναφέρεται στα βιολογικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα μεταφοράς ή ως πηγή ενέργειας για την παραγωγή βιομηχανικής ή οικιακής θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρουν οι Lopez-Bellido et al. (2014).

Η παροχή βιώσιμης ενέργειας είναι ένα από τις κύριες προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες, ιδιαίτερα λόγω της ανάγκης αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Η βιομάζα μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην προμήθεια μελλοντική ενεργειακή ζήτηση με βιώσιμο τρόπο. Είναι προς το παρόν ο μεγαλύτερος παγκόσμιος συντελεστής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και έχει σημαντική δυνατότητα επέκτασης στην παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και καύσιμα για μεταφορές, αναφέρουν οι Bauenet al. (2009) στο βιβλίο *Bioenergy – A sustainable and reliable energy source. International Energy Agency Bioenergy*.

Ο McKendry (2002), στο άρθρο του *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*, αναφέρει τους λόγους που υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον, σε παγκόσμιο επίπεδο, για τη βιομάζα ως πηγή ενέργειας, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Πρώτον, οι τεχνολογικές εξελίξεις σχετικά με τη μετατροπή, την παραγωγή καλλιεργειών κ.λπ., υπόσχονται την εφαρμογή βιομάζας με χαμηλότερο κόστος και με υψηλότερη αποδοτικότητα μετατροπής από ό,τι ήταν δυνατό προηγουμένως. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιούνται υπολείμματα βιομάζας χαμηλού κόστους για καύσιμα, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ήδη συχνά ανταγωνιστικό με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα. Οι πιο προηγμένες επιλογές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας φαίνονται ελπιδοφόρες και επιτρέπουν την οικονομικά αποδοτική χρήση των ενεργειακών καλλιεργειών, π.χ. παραγωγή μεθανόλης και υδρογόνου με διαδικασίες αεριοποίησης.
- Το δεύτερο κύριο κίνητρο είναι ο γεωργικός τομέας στη Δυτική Ευρώπη και στις ΗΠΑ, ο οποίος παράγει πλεονάσματα τροφίμων. Η κατάσταση αυτή οδήγησε σε μια πολιτική στην οποία η γη παραμερίζεται προκειμένου να μειωθούν τα πλεονάσματα. Τα σχετικά

προβλήματα, όπως η αποπληθωριστικός πληθυσμός των αγροτικών περιοχών και η καταβολή σημαντικών επιδοτήσεων για τη διατήρηση της αγρανόπαυσης, καθιστούν επιθυμητή την εισαγωγή εναλλακτικών, μη εδωδιμων καλλιεργειών. Η ζήτηση ενέργειας παράσχει μια σχεδόν άπειρη αγορά για ενεργειακές καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε τέτοια (δυνητικά) πλεονάζουσα γη.

- Τρίτον, η δυνητική απειλή που συνιστά η κλιματική αλλαγή, λόγω των υψηλών επιπέδων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (το CO₂ είναι το σημαντικότερο), έχει καταστεί σημαντικό ερέθισμα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εν γένει. Όταν παράγεται με βιώσιμα μέσα, η βιομάζα εκπέμπει περίπου την ίδια ποσότητα άνθρακα κατά τη μετατροπή με εκείνη που απορροφάται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών. Συνεπώς, η χρήση βιομάζας δεν συμβάλλει στη συσσώρευση CO₂ στην ατμόσφαιρα.

2.2 Πόροι βιομάζας

Τα δασικά, γεωργικά /αστικά υπολείμματα και τα απόβλητα αποτελούν τις βασικές πρώτες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από βιομάζα. Επιπλέον, ένα πολύμικρό μερίδιο των καλλιεργειών ζάχαρης, σιτηρών και φυτικών ελαίων χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Σήμερα, η βιομάζα παρέχει περίπου 50 EJ παγκοσμίως, που αντιπροσωπεύει το 10% της παγκόσμιας ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Πρόκειται κυρίως για παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται για μαγείρεμα και θέρμανση.

Υπάρχει σημαντική δυνατότητα επέκτασης της χρήσης βιομάζας αγγίζοντας τους μεγάλους όγκους αχρησιμοποίητων καταλοίπων και αποβλήτων. Η χρήση συμβατικών καλλιεργειών για χρήση ενέργειας μπορεί επίσης να επεκταθεί, με προσεκτική εξέταση της διαθεσιμότητας γης και της ζήτησης τροφίμων. Επιπλέον, οι λιγνοκυτταρινικές καλλιέργειες (τόσο πλώδεις όσο και ξυλώδεις) μπορούν να παραχθούν σε οριακές, υποβαθμισμένες και πλεονασματικές γεωργικές εκτάσεις και να παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος του πόρου βιομάζας. Μακροπρόθεσμα, η υδρόβια βιομάζα (άλγη) έχει την δυνατότητα επίσης να συμβάλει σημαντικά.

Με βάση αυτό το ποικίλο εύρος πρώτων υλών, το τεχνικό δυναμικό για τη βιομάζα εκτιμάται ότι στη βιβλιογραφία θα είναι πιθανώς τόσο υψηλό όσο 1500 EJ/yr έως το 2050, αν και τα περισσότερα σενάρια εφοδιασμού βιομάζας που λαμβάνουν υπόψη τους περιορισμούς

αιφορίας, υποδηλώνουν ετήσιο δυναμικό μεταξύ 200 και 500 EJ /yr (εκτός της υδρόβιας βιομάζας). Τα δασικά και γεωργικά υπολείμματα και άλλα οργανικά απόβλητα (συμπεριλαμβανομένων των αστικών στερεών αποβλήτων) θα παρέχουν μεταξύ 50 και 150 EJ /yr, ενώ τα υπόλοιπα θα προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες, πλεόνασμα δασικής ανάπτυξης και αυξημένη γεωργική παραγωγικότητα.

Η προβλεπόμενη παγκόσμια ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας έως το 2050 αναμένεται να κυμαίνεται από 600 έως 1000 EJ (σε σύγκριση με περίπου 500 EJ το 2008). Τα σενάρια που εξετάζουν τη διείσδυση διαφορετικών πηγών ενέργειας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα δείχνουν ότι η μελλοντική ζήτηση βιοενέργειας θα μπορούσε να είναι έως και 250 EJ /yr. Αυτή η προβλεπόμενη ζήτηση εμπίπτει στην εκτίμηση του δυναμικού βιώσιμης προσφοράς, επομένως είναι λογικό να υποθέσουμε ότι η βιομάζα θα μπορούσε να συνεισφέρει με βιώσιμο τρόπο μεταξύ ενός τετάρτου και ενός τρίτου του μελλοντικού παγκόσμιου ενεργειακού μείγματος. Ό,τι πραγματικά πραγματοποιείται θα εξαρτηθεί από την ανταγωνιστικότητα κόστους της βιοενέργειας και από τα μελλοντικά πλαίσια πολιτικής, όπως οι στόχοι μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

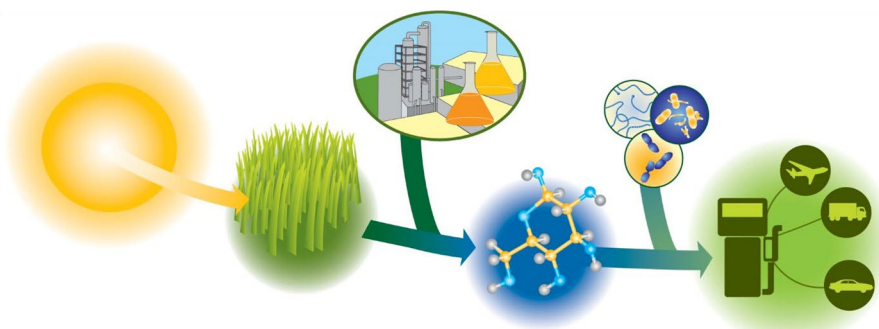
Η αύξηση της χρήσης πόρων βιομάζας έως το 2030 θα εξαρτηθεί από πολλούς παράγοντες ζήτησης και προσφοράς. Οι ισχυροί στόχοι για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που τίθενται σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο (π.χ. η ευρωπαϊκή οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) ενδέχεται να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση της ζήτησης. Αυτή η ζήτηση είναι πιθανό να καλυφθεί μέσω της αυξημένης χρήσης καταλοίπων και αποβλήτων, ζάχαρης, αμύλου και ελαιοκομικών καλλιεργειών, και όλο και περισσότερο, λιγνοκυτταρινικών καλλιεργειών. Η συμβολή των ενεργειακών καλλιεργειών εξαρτάται από την επιλογή των ποσοστών καλλιέργειας και φύτευσης, τα οποία επηρεάζονται από την αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία, τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, τη διαθεσιμότητα νερού και τους υλικοτεχνικούς περιορισμούς. Υπό ευνοϊκές συνθήκες, είναι δυνατή η σημαντική ανάπτυξη τα επόμενα 20 χρόνια. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις για την πιθανή αύξηση της παραγωγής ποικίλλουν πολύ. Για παράδειγμα, το δυναμικό βιομάζας από υπολείμματα και ενεργειακές καλλιέργειες στην ΕΕ έως το 2030 εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 4,4 και 24 EJ, αναφέρουν οι Bauen et al. (2009) στο βιβλίο *Bioenergy—A sustainable and reliable energy source*. *International Energy Agency Bioenergy*.

Οι οδηγοί για αυξημένη χρήση βιοενέργειας (π.χ. πολιτικοί στόχοι για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη ζήτηση βιομάζας, οδηγώντας σε

ανταγωνισμό για τη γη που χρησιμοποιείται επί του παρόντος για παραγωγή τροφίμων και πιθανώς (έμμεσα) προκαλώντας την ευαισθητοποίηση ευαίσθητων περιοχών στην παραγωγή. Αυτό θα απαιτήσει παρέμβαση από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, με τη μορφή ρύθμισης των αλυσίδων βιοενέργειας ή / και τη ρύθμιση της χρήσης γης, για να εξασφαλιστεί βιώσιμη ζήτηση και παραγωγή. Η ανάπτυξη κατάλληλης πολιτικής απαιτεί την κατανόηση των πολύπλοκων ζητημάτων και τη διεθνή συνεργασία σε μέτρα για την προώθηση παγκόσμιων συστημάτων και πρακτικών βιώσιμης παραγωγής βιομάζας.

Για να επιτευχθούν οι πιθανοί στόχοι βιοενέργειας μακροπρόθεσμα, οι κυβερνητικές πολιτικές και οι βιομηχανικές προσπάθειες πρέπει να κατευθύνονται στην αύξηση των επιπέδων απόδοσης της βιομάζας και στον εκσυγχρονισμό της γεωργίας σε περιοχές όπως η Αφρική, η Άπω Ανατολή και η Λατινική Αμερική, αυξάνοντας άμεσα την παγκόσμια παραγωγή τροφίμων και έτσι διαθέσιμοι πόροι για βιομάζα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη τεχνολογίας και με τη διάδοση βέλτιστων βιώσιμων γεωργικών πρακτικών. Η βιώσιμη χρήση καταλοίπων και αποβλήτων για βιοενέργεια, τα οποία παρουσιάζουν περιορισμένους ή μηδενικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους, πρέπει να ενθαρρυνθεί και να προωθηθεί παγκοσμίως.

2.3 Κατηγορίες επεξεργασίας βιομάζας



Εικ.2 Βιολογία της βιομετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε βιοκαύσιμα. Πηγή: Rubin, E. M. (2008). *Genomics of cellulosic biofuels. Nature*, 454(7206), 841-845.

Οι Adams et al. (2018) στο άρθρο τους *Biomass conversion technologies. In Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems* αναφέρουν πως η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες χρήσιμες μορφές ενέργειας χρησιμοποιώντας διαφορετικές διεργασίες. Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την επιλογή της διαδικασίας μετατροπής. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν: τον

τύπο, την ποσότητα και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης βιομάζας, την επιθυμητή μορφή των απαιτήσεων ενέργειας ή τελικών χρήσεων, τα περιβαλλοντικά πρότυπα, την πολιτική, τις οικονομικές συνθήκες και τους ειδικούς παράγοντες του έργου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι η μορφή με την οποία απαιτείται η ενέργεια και οι διαθέσιμες πρώτες ύλες που καθορίζουν την κατάλληλη διαδρομή διεργασίας.

Βιοενέργεια είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ενέργειας που προέρχεται από τις πρώτες ύλες βιομάζας. Απαιτούνται διάφορα στάδια (όπως η συγκομιδή, η ξήρανση, η αποθήκευση, η μεταφορά, η επεξεργασία κ.λπ.) για τη μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμη πηγή ενέργειας. Η μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια πραγματοποιείται με τη χρήση τριών βασικών τεχνολογιών διεργασίας: βιοχημικών, θερμοχημικών και φυσικοχημικών.

2.3.1 Θερμοχημική επεξεργασία

Πυρόλυση: Η λέξη πυρόλυση προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις «πύρ» που σημαίνει φωτιά και «λύση» που σημαίνει αποσύνθεση ή διάσπαση σε συστατικά μέρη. Η πυρόλυση έχει εφαρμοστεί εδώ και χιλιάδες χρόνια για την παραγωγή ξυλανθρακίου, αλλά μόνο τα τελευταία 35 χρόνια έχει αναπτυχθεί γρήγορη πυρόλυση για υγρά. Αυτό λειτουργεί σε μέτριες θερμοκρασίες περίπου 500°C και πολύ σύντομους χρόνους αντίδρασης και χρόνους παραμονής θερμών ατμών κάτω των 2s. Η γρήγορη πυρόλυση παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον επειδή αυτό δίνει άμεσα υψηλές αποδόσεις υγρών έως 75 wt.% σε ξηρή βιομάζα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε διάφορες εφαρμογές, που χρησιμοποιούνται ως αποδοτικός φορέας ενέργειας ή/και χρησιμοποιούνται ως πρόδρομος για βιοκαύσιμα. Η ενδιάμεση και αργή πυρόλυση επικεντρώνεται στην παραγωγή στερεού char (κάρβουνο που παράγεται με απουσία οξυγόνου) ως κύριου προϊόντος με τα υγρά και τα αέρια συνήθως ως υποπροϊόντα, αν και δίνεται αυξανόμενη προσοχή στη μεγιστοποίηση της αξίας των προϊόντων. Η αργή πυρόλυση χρησιμοποιείται για πάνω από 70 χρόνια για τη μείωση των ποσοτήτων αποβλήτων που απαιτούν διάθεση, καθώς και για να καταστούν τα υπολείμματα λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον.

Ειδικότερα, η πυρόλυση είναι η θερμική αποσύνθεση της βιομάζας που εμφανίζεται απουσία οξυγόνου, μετατρέποντας τη βιομάζα σε υγρό (συνήθως ονομάζεται βιοντίζελ), στερεά και αέρια κλάσματα με διάφορες χημικές αντιδράσεις της πρώτης ύλης. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες διεργασίας και οι μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής ατμών ευνοούν την παραγωγή

ξυλανθρακίου. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και οι μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής αυξάνουν τη μετατροπή της βιομάζας σε αέριο και οι μέτριες θερμοκρασίες και ο σύντομος χρόνος παραμονής σε θερμούς ατμούς είναι οι βέλτιστοι για την παραγωγή υγρών. Τρία προϊόντα παράγονται πάντα, αλλά οι αναλογίες μπορούν να διαφοροποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα με την προσαρμογή των παραμέτρων της διαδικασίας. Η ταχεία πυρόλυση για την παραγωγή υγρών παρουσιάζει σήμερα ιδιαίτερο ενδιαφέρον εμπορικά, καθώς το υγρό μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί και να χρησιμοποιηθεί για ενέργεια, καύσιμα μεταφοράς, χημικές ουσίες ή ως φορέας ενέργειας.

Ανθρακοποίηση: Οι Chiaramonti et al. (2014), αναφέρουν πως η ανθρακοποίηση είναι μια γνωστή διαδικασία που επέτρεψε στους ανθρώπους να παράγουν κάρβουνο, το πρώτο βιοκαύσιμο που έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για να βγει από την λίθινη εποχή εξευγενίζοντας μεταλλεύματα σε μέταλλα. Ως υψηλής ποιότητας στερεά καύσιμα, ο άνθρακας χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο για οικιακή μαγειρική, δύλιση μετάλλων και παραγωγή χημικών ουσιών. Επιπλέον με το κάρβουνο βιομηχανικής ανάπτυξης έχει γίνει ο πιο πολύτιμος παράγοντας μείωσης για τη μεταλλουργική βιομηχανία.

Αεριοποίηση: Η διαδικασία αεριοποίησης μετατρέπει θερμοχημικά μια οργανική πρώτη ύλη (π.χ. υγρό ή στερεό καύσιμο) στα αέρια συστατικά της που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία αεριοποίησης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το αέριο σύνθεσης (syngas) είναι μόνο $H_2 + CO$ το οποίο σχηματίζεται κυρίως σε υψηλότερες θερμοκρασίες αεριοποίησης (πάνω από $1.200\text{ }^{\circ}C$). Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες αεριοποίησης, σχηματίζεται αέριο προϊόντος που αποτελείται από CO , H_2 , CH_4 και CO_2 και μπορεί να περιλαμβάνει ενώσεις πίσσας που επηρεάζουν δυσμενώς την απόδοση αεριοποίησης και τις τελικές χρήσεις. Η πίσσα και η τέφρα παράγονται ενδεχομένως ως υποπροϊόντα που μπορεί να έχουν προστιθέμενη αξία και να παρέχουν διαφορετικές λογιστικές οδούς για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης. Σε έναν καλά σχεδιασμένο αεριοποιητή, το char δεν είναι συνήθως ένα υποπροϊόντο. Στην πράξη, ωστόσο, μπορεί να παραχθεί μια μικρή ποσότητα char που αντιπροσωπεύει αναποτελεσματική αεριοποίηση. Η απόδοση αεριοποίησης μπορεί να εκφραστεί ως η ποσοστιαία μετατροπή του άνθρακα. Το Syngas και το αέριο παραγωγών (για ευκολία που αναφέρονται τώρα συλλογικά ως syngas) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θερμότητας, ισχύος και χημικών προϊόντων. Ιστορικά, τόσο το ξύλο όσο και ο άνθρακας έχουν αεριοποιηθεί για την παραγωγή βολικών αερίων καυσίμων (syngas) για πολλές εφαρμογές παγκοσμίως, αλλά δεν έχουν διατηρηθεί εμπορικά λόγω της χαμηλού κόστους διαθεσιμότητας ορυκτών πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Η αεριοποίηση παράγει μια ευέλικτη πηγή ενέργειας. Υπάρχει δυνατότητα παραγωγής θερμότητας μέσω καύσης σε λέβητα, ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης σε παλινδρομικές μηχανές ή αεριοστρόβιλους ή μετατροπή σε υγρό βιοκαύσιμο ή υποκατάστατο φυσικού αερίου (SNG) για έγχυση σε δίκτυα αερίου.

Καύση: Η βιομάζα έχει καί για θερμότητα από την προϊστορική εποχή και παραμένει η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας στον κόσμο. Ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών χρησιμοποιείται από απλά σχέδια που λειτουργούν με παρτίδες σε οικιακές κατοικίες έως σύνθετους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση βιομάζας με καθαρισμό αερίων.

Η καύση βιομάζας είναι η απλούστερη τεχνολογία θερμοχημικής μετατροπής που πραγματοποιείται παρουσία αέρα. Η θερμότητα, η ισχύς ή το CHP (συνδυασμένη θερμότητα και ισχύς) είναι τα κύρια προϊόντα άμεσης καύσης βιομάζας. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από διαδοχικές ετερογενείς και ομοιογενείς αντιδράσεις. Η καύση βιομάζας εξαρτάται ουσιαστικά από το μέγεθος των σωματιδίων και τα εξαρτήματα της πρώτης ύλης, της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής καύσης. Οι υψηλές εκπομπές NO_x, CO₂ και σωματιδίων, εκτός από το χειρισμό τέφρας, καθιστούν την καύση περιβαλλοντικά δύσκολη.

2.3.2 Βιολογική επεξεργασία

Υδρόλυση: Η υδροθερμική επεξεργασία περιλαμβάνει τη θέρμανση υδατικών πολτού βιομάζας ή οργανικών αποβλήτων σε αυξημένες πιέσεις για την παραγωγή φορέα ενέργειας με αυξημένη ενεργειακή πυκνότητα. Οι πρώτες ύλες με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία καιτέφρα είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για υδροθερμική επεξεργασία και περιλαμβάνουν πρώτες ύλες όπως κοπριά, απόβλητα τροφίμων, αστικά απόβλητα και υδρόβια βιομάζα, όπως μικροφύκη και μακροφύκη. Η υδροθερμική επεξεργασία μπορεί να χωριστεί σε τρεις ξεχωριστές πομπές, ανάλογα με τη σοβαρότητα των συνθηκών λειτουργίας. Η υδροθερμική ανθρακοποίηση (HTC) συμβαίνει σε θερμοκρασίες μεταξύ 180°C και 250°C και πίεση 20-40 bar και παράγει στερεό υδρο-char με παρόμοιες ιδιότητες με άνθρακα χαμηλής κατάταξης. Αυτή είναι η ηπιότερη από τις τρεις υδροθερμικές οδούς επεξεργασίας.

Η υδροθερμική υγροποίηση (HTL) εμφανίζεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 250°C και 375°C και πιέσεις έως 180 bar και παράγει υγρό βιο-ακατέργαστο. Το βιο-ακατέργαστο μπορεί να αναβαθμιστεί σε ολόκληρη την γκάμα αποσταγμάτων προϊόντων που προέρχονται από

πετρέλαιο με καταλυτική υδροεπεξεργασία. Υδροθερμική αεριοποίηση (HTG) ή υπερκρίσιμη αεριοποίηση νερού (SCWG) συμβαίνει σε θερμοκρασίες άνω των 375 °C και υψηλότερες πιέσεις πέραν των 200 bar που παράγουν syngas. Οι υδροθερμικές οδούς απόσταξης μπορούν συνήθως να τροφοδοτήσουν πολτούς έως και 30 wt.% στερεά. Η μέγιστη στερεή φόρτωση σχετίζεται με την ευκολία δημιουργίας και άντλησης του πολτού. Ως εκ τούτου, οι πρώτες ύλες υψηλής υγρασίας εξακολουθούν να απαιτούν αφυδάτωση, αλλά δεν απαιτούν το ίδιο επίπεδο ξήρανσης που απαιτείται για την πυρόλυση. Σε κάθε περίπτωση, το νερό διατηρείται σε υγρή κατάσταση λειτουργώντας πάνω ή κάτω από το σημείο κορεσμού, γεγονός που ελαχιστοποιεί μεγάλο βαθμό την ενθαλπία που σχετίζεται με την λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του νερού.

Αναερόβια ζύμωση: Αποτελεί τη μετατροπή οργανικού υλικού απευθείας σε αέριο, γνωστό ως βιοαέριο, το οποίο είναι μείγμα κυρίως μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα με μικρές ποσότητες άλλων αερίων, όπως υδρόθειο. Οργανικό μη λιγνοκυτταρινικό (μη ξυλώδες) υλικό, η πρώτη ύλη (επίσης γνωστή ως υπόστρωμα) μετατρέπεται από μικροοργανισμούς ελλείψει οξυγόνου. Αυτή η διαδικασία μετατροπής παράγει σταθερές και εμπορικά χρήσιμες ενώσεις και είναι παρόμοια με την κομποστοποίηση, εκτός από το ότι η κομποστοποίηση είναι αερόβια (που περιλαμβάνει οξυγόνο) στην κατανομή της οργανικής ύλης. Η βιομάζα μετατρέπεται από βακτήρια σε αναερόβιο περιβάλλον, παράγοντας αέριο με ενεργειακό περιεχόμενο περίπου 20%-40% της χαμηλότερης τιμής θέρμανσης (LHV) της πρώτης ύλης. Το AD είναι μια εμπορικά αποδεδειγμένη τεχνολογία και χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία (m.c.), δηλαδή 80%-90% m.c.

2.3.3 Φυσικοχημική επεξεργασία

Εκχύλιση ελαίων- Εστεροποίηση: Η φυσικοχημική μετατροπή, που αναφέρεται επίσης ως μηχανική εκχύλιση, είναι μια μηχανική (φυσική) διαδικασία μετατροπής που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πετρελαίου από τους σπόρους διαφόρων καλλιεργειών βιομάζας, όπως ελαιοκράμβη (OSR) και λιναρόσπορο. Αυτή η διαδικασία παρέχει ένα υγρό καύσιμο που μπορεί να υποβληθεί σε ένα άλλο στάδιο, γνωστό ως εστεροποίηση, το οποίο μετατρέπει το λάδι σε μεθύλιο λιπαρών οξέων, ευρύτερα γνωστό ως βιοντίζελ. Η διαδικασία παράγει όχι μόνο λάδι, αλλά και ένα υπολειμματικό στερεό ή «cake», το οποίο είναι κατάλληλο για ζωοτροφές. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα στην Ευρώπη χρησιμοποιώντας φυτικά έλαια από καλλιέργειες, κυρίως OSR, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης

απόβλητα λιπών και ελαίων. Η κύρια χρήση του βιοντίζελ είναι ως καύσιμο υγρών μεταφορών(συνήθως αναμειγνύεται με ντίζελ που προέρχεται από πετρέλαιο).

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιομάζας

Οι Vassilev et al. (2015), στο άρθρο τους *Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal* αναφέρονται στα πλεονεκτήματα της βιομάζας και των καυσίμων βιομάζας ως εξής:

- Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
- Ουδέτερη μετατροπή CO₂, οφέλη για την κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα δεν συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Μετάβαση στην οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή από τους υδρογονάνθρακες, στους υδατάνθρακες και τους πόρους H₂.
- Χρήση μη βρώσιμης βιομάζας.
- Διατήρηση ορυκτών καυσίμων.
- Η χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα, C, FC, N, S, Si και τα περισσότερα ιχνοστοιχεία, διότι η τέφρα συγκεκριμένα, συνεπάγεται με την παραγωγή αποβλήτων και την μείωση του ενεργειακού περιεχομένου της βιομάζας.
- Υψηλές συγκεντρώσεις πτητικής ύλης, Ca, H, Mg και P, δομικά οργανικά συστατικά, εκχυλίσματα, υδατοδιαλυτά θρεπτικά στοιχεία.
- Βιοαποικοδομήσιμος πόρος με μεγάλη αντιδραστικότητα και χαμηλές αρχικές θερμοκρασίες ανάφλεξης και καύσης κατά τη μετατροπή
- Τεράστιος και φθηνός πόρος για την παραγωγή βιοκαυσίμων, προσροφητικών ουσιών, λιπασμάτων, αλκαλικών παραγόντων ασβεστοποίησης και εξουδετέρωσης, δομικών υλικών.
- Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για φυσική βιομάζα
- Ανάκτηση ορισμένων στοιχείων και ενώσεων
- Μείωση καταλοίπων και αποβλήτων βιομάζας
- Μείωση επικίνδυνων εκπομπών (CH₄, CO₂, NO^x, SO^x, τοξικά ιχνοστοιχεία).
- Σύλληψη και αποθήκευση τοξικών συστατικών με τέφρα
- Χρήση ωκεανών, θάλασσας, εδαφών χαμηλής ποιότητας και μη γεωργικών, υποβαθμισμένων και μολυσμένων εκτάσεων.

- Αποκατάσταση υποβαθμισμένων και μολυσμένων εδαφών.
- Διαφοροποίηση της προσφοράς καυσίμων και της ενεργειακής ασφάλειας.
- Αγροτική αναζωογόνηση με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και εισοδήματος.

Αντίθετα, μπορούν να αναφερθούν και κάποια μειονεκτήματα της βιομάζας και των καυσίμων βιομάζας, τα οποία είναι τα εξής:

- Ανταγωνισμός με βρώσιμες παραγωγές βιομάζας (τρόφιμα, ζωοτροφές), ίνες κ.α
- Ζημίες φυσικών οικοσυστημάτων (νερό, έδαφος, αλλαγές χρήσης γης, αποψίλωση των δασών, βιοποικιλότητα, υποβάθμιση της γης, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, προσμείξεις).
- Ανασφάλεια προμήθειας πρώτων υλών βιομάζας.
- Ανεπαρκείς γνώσεις και μεταβλητότητα της σύνθεσης, των ιδιοτήτων και της ποιότητας για αξιολόγηση και επικύρωση
- Υψηλό κόστος επένδυσης.
- Τεχνολογικές δυσκολίες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (οικισμός, σχηματισμός εναποθέσεων, σκωρία, ρύπανση, διάβρωση).
- Υψηλό επενδυτικό κόστος
- Υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, υδατοδιαλυτό κλάσμα, Cl, K, Na, O και ορισμένα ιχνοστοιχεία (Ag, Br, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Tl, Zn, κ.α)
- Παράλειψη βιώσιμων κριτηρίων για την παραγωγή πόρων βιομάζας για βιοκαύσιμα και χημικά
- Χαμηλές θερμοκρασίες pH και σύντηξης τέφρας
- Οσμή, εκπομπή και έκπλυση επικίνδυνων συστατικών κατά τη διάθεση και επεξεργασία
- Έξοδα καλλιέργειας, συγκομιδής, συλλογής, μεταφοράς, αποθήκευσης και προεπεξεργασίας
- Χρήση επιπλέον ύδατος, λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Κεφάλαιο 3. Είδη ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες καλλιεργούνται με σκοπό τη χρήση της βιομάζας τους για την παραγωγή ενέργειας. Ως εκ τούτου, έχουν προσελκύσει αυξανόμενο ενδιαφέρον επειδή μπορούν να ικανοποιήσουν μέρος της ζήτησης ενέργειας λόγω της υψηλής παραγωγικότητάς τους, της χαμηλής ζήτησης για εισροές θρεπτικών ουσιών και ταυτόχρονα έχουν την δυνατότητα να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Ragauskas et al. 2006).

Οι McKendry et al. (2002), ανέφεραν ότι η βιομάζα περιέχει διάφορες ποσότητες κυτταρίνης, ημικυτταρίνης, λιγνίνης και μικρής ποσότητας άλλων εξορυκτικών. Συγκεκριμένα, τα ξυλώδη φυτικά είδη χαρακτηρίζονται συνήθως από αργή ανάπτυξη και αποτελούνται από στενά δεμένες ίνες, δίνοντας μια σκληρή εξωτερική επιφάνεια, ενώ τα ποώδη φυτά της είναι συνήθως πολυετή, με πιο χαλαρά δεσμευμένες ίνες, υποδεικνύοντας χαμηλότερο ποσοστό λιγνίνης, η οποία συνδέει τις κυτταρινικές ίνες: και τα δύο υλικά είναι παραδείγματα πολυσακχαριτών, φυσικών πολυμερών μακράς αλυσίδας. Οι σχετικές αναλογίες της κυτταρίνης και της λιγνίνης είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των φυτικών ειδών για μεταγενέστερη επεξεργασία ως ενεργειακών καλλιεργειών.

Η κυτταρίνη είναι ένα πολυμερές γλυκόζης, που αποτελείται από γραμμικές αλυσίδες (1,4)-D-glucopyranose μονάδες, στις οποίες οι μονάδες συνδέονται 1-4 στη β-διαμόρφωση, με μέσο MB περίπου 100.000.

Η ημικυτταρίνη είναι ένα μείγμα πολυσακχαριτών, που αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από σάκχαρα όπως γλυκόζη, μαννόζη, ξυλόζη και αραβινόζη και μεθυλογλυκουρονικό και γαλακτικό οξύ, με μέσο μοριακό βάρος < 30.000. Σε αντίθεση με την κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη είναι ένας ετερογενής διακλαδισμένος πολυσακχαρίτης που συνδέεται στενά, αλλά μη ομοιοπολικά, με την επιφάνεια κάθε μικροϊών κυτταρίνης. Η ημικυτταρίνη διαφέρει από τη κυτταρίνη, αποτελούμενη κυρίως από ξυλόζη και άλλους μονοσακχαρίτες πέντε ανθρακούχων εκπομπών.

Η λιγνίνη μπορεί να θεωρηθεί ως μια ομάδα άμορφων, υψηλού μοριακού βάρους, χημικά σχετιζόμενων ενώσεων. Τα δομικά στοιχεία της λιγνίνης πιστεύεται ότι είναι μια αλυσίδα άνθρακα που συνδέεται με έξι δακτυλίους ατόμων άνθρακα, που ονομάζονται φαινυλ- προπάνιο. Αυτές μπορεί να έχουν μηδέν, μία ή δύο ομάδες μεθοξυλίου που συνδέονται με τους δακτυλίους, προκαλώντας τρεις δομές, που ονομάζονται I, II και III, αντίστοιχα. Οι αναλογίες

κάθε δομής εξαρτώνται από την πηγή του πολυμερούς, δηλαδή τη δομή που βρίσκεται σε φυτά όπως χόρτα, δομή II στο ξύλο κωνοφόρων, ενώ η δομή III βρίσκεται σε φυλλοβόλα ξυλεία.

Η κυτταρίνη είναι γενικά το μεγαλύτερο κλάσμα, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 40-50% της βιομάζας κατά βάρος. Το τμήμα ημικυτταρίνης, αντιπροσωπεύει το 20-40% του υλικού κατά βάρος.

Τόσο τα ξυλώδη όσο και τα ποώδη φυτικά είδη έχουν συγκεκριμένες συνθήκες καλλιέργειας, με βάση τον τύπο του εδάφους, την υγρασία του εδάφους, τις ισορροπίες θρεπτικών ουσιών και το ηλιακό φως, οι οποίες θα καθορίσουν την καταλληλότητά τους και τους παραγωγικούς ρυθμούς ανάπτυξης για συγκεκριμένες, και γεωγραφικές τοποθεσίες. Πολλοί τύποι πολυετών χόρτων, όπως το ζαχαροκάλαμο και τα δημητριακά για παράδειγμα, το σιτάρι και ο αραβόσιτος, έχουν πολύ διαφορετικές αποδόσεις, ανάλογα με τις συνθήκες καλλιέργειας. Για αυτό το λόγο, το σιτάρι μπορεί να καλλιεργηθεί τόσο σε ζεστά όσο και σε ιδιοσυγκρασιακά κλίματα με ένα ευρύ φάσμα βροχοπτώσεων, ενώ το ζαχαροκάλαμο μπορεί να καλλιεργηθεί με επιτυχία μόνο σε ζεστές, υγρές κλιματολογικές συνθήκες.

➤ **Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες**

Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο (*Sorghum bicolor* L.) Αραβόσιτος

(*Zea mays* L.)

Κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L.)

Ελαιοκράμβη (*Brassica napus*, *Brassica carinata*)

Ζαχαρότευτλα (*Beta vulgaris* L.)

Ηλίανθος (*Helianthus annuus* L.)

➤ **Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες**

Μίσκανθος (*Miscanthus x gigantea* GREEF et DEU)

Καλάμι (*Arundo donax* L.)

Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus* L.)

Switchgrass (*Panicum virgatum* L.)

Jatropha (*Jatropha curcas*)

➤ Δασικά Είδη

Ευκάλυπτος (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn, *Eucalyptus globulus* Labill)

Ψευδακακία (*Robinia pseudoacacia* L.)

Ιτιά (*Salix* spp.)

Λεύκα (*Populus* spp.)

Πίνακας1: Αντιστοίχιση για τις πιθανές χρήσεις παραγωγής των συγκεκριμένων ενεργειακών καλλιιεργειών.

Βιοντίζελ	Βιοαιθανόλη	Θερμική και Ηλεκτρική ενέργεια
Ηλίανθος	Ζαχαρότευτλα	Μίσκανθος
Ελαιοκράμβη	Αραβόσιτος	Καλάμι
Αγριαγκινάρα	Γλυκό σόργο	Ευκάλυπτος
<i>Jatropha curcas</i>		Κενάφ
		Ψευδακακία
		Ιτιά

3.1 Ετήσιες ενεργειακές καλλιέργειες

Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο



Εικ.3 Καλλιέργεια γλυκού σόργου Πηγή: <https://images.app.goo.gl/6rojn6EbDF6UperL9>

Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Cyperales	Poaceae	Sorghum	Sorghum bicolor (L.) Moench

Οι Dahlberg et al. (2012), στο άρθρο τους *Assessing sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] germplasm for new traits: food, fuels και unique uses*, χαρακτηρίζουν το σόργο ως την πέμπτη σημαντικότερη καλλιέργεια δημητριακών στον κόσμο. Το σόργο χρησιμοποιείται όχι μόνο για ανθρώπινη τροφή, αλλά και για ζωοτροφές, οικοδομικά υλικά, περίφραξη ή για σκούπες. Ειδικότερα, είναι ένα αρκετά αρχαίο και παγκόσμιο δημητριακό που εξημερώθηκε στην Αφρική και εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο για να γίνει μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες δημητριακών που είναι γνωστές στον άνθρωπο. Το γλυκό σόργο είναι ψηλό, με παχύ στέλεχος, έχουν υψηλές αποδόσεις ξηρής ύλης και συνήθως παράγονται για την παραγωγή ζάχαρης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός γλυκού σιροπιού, παρόμοιο με τη μελάσα.

Επιπλέον, οι νέες χρήσεις του σόργου στα συστήματα τροφίμων και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας την καθιστούν μια πολλά υποσχόμενη "νέα" καλλιέργεια για τους ευρωπαίους αγρότες που επιθυμούν να διαφοροποιήσουν τις γεωργικές τους δραστηριότητες και να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της διατροφής και της τροφοδοσίας του κόσμου. Συγκεκριμένα, το σόργο είναι μια εξαιρετική καλλιέργεια για την παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα ετήσιας καλλιέργειας που θα μπορούσε να είναι τόσο βραχυπρόθεσμη όσο και μακροπρόθεσμη λύση ως ανανεώσιμη, βιώσιμη πρώτη ύλη βιομάζας. Το σόργο είναι μοναδικό μεταξύ των καλλιεργειών που χαρακτηρίζονται ως πρώτες ύλες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις διάφορες διαδικασίες για την παραγωγή βιοκαυσίμων: αιθανόλη από άμυλο, ζαχαρο-αιθανόλη και κυτταρίνη/λιγνοκυτταρίνη σε βιοαέριο.

Αραβόσιτος



Εικ.6 Καλλιέργεια αραβόσιτου Πηγή: <https://images.app.goo.gl/e2r1S76irb5DRg2u9>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Cyperales	Poaceae	Zea mays	Zea mays

Όπως ανεφέρουν οι Scott, και Emery (2016), ο αραβόσιτος πιστεύεται ότι προέρχεται πριν από 55-70 εκατομμύρια χρόνια στη σημερινή Κεντρική ή Νότια Αμερική και έκτοτε έχει διαφοροποιηθεί σε σχεδόν 10000 μη νοτιότερους συγγενείς. Δεν υπάρχει άμεσος πρόγονος για τον αραβόσιτο. Ωστόσο, μέχρι σήμερα, ο πλησιέστερος συγγενής του αραβόσιτου είναι η *teosintes*. Ο αραβόσιτος είναι ένα ετήσιο φυτό με μεταβολισμό C4, καθιστώντας το πολύ αποτελεσματικό στη σταθεροποίηση του άνθρακα. Έχει τη μεγαλύτερη παγκόσμια παραγωγή από οποιοδήποτε είδος καλλιέργειας περίπου 800 εκατομμύρια τόνους που παρήχθη παγκοσμίως το 2013, αντιπροσωπεύοντας το 32% της συνολικής παραγωγής δημητριακών. Οι τρεις κορυφαίοι παραγωγοί περιλαμβάνουν τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Κίνα και τη Βραζιλία. Ο αραβόσιτος καλλιεργείται σε περισσότερες περιοχές του πλανήτη από οποιαδήποτε άλλη καλλιέργεια και καλλιεργείται σε κάθε ήπειρο εκτός από την Ανταρκτική.

Ο αραβόσιτος χρησιμοποιείται για τρόφιμα, ζωοτροφές και βιομηχανικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των βιοαποικοδομήσιμων αφρών, των πλαστικών και των συγκολλητικών ουσιών. Επιπλέον, το άχυρο (καλάμι που παραμένει μετά τη συγκομιδή) αραβόσιτου, τα φύλλα και ο μίσχος, χρησιμοποιείται για ζωοτροφές, την παραγωγή βιοκαυσίμων και τη χημική παραγωγή.

Κενάφ



Εικ.7 Καλλιέργεια κενάφ Πηγή: <https://images.app.goo.gl/rUX6wLExGrytKDMG7>

Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
<i>Malvales</i>	<i>Malvaceae</i>	<i>Hibiscus</i>	<i>Hibiscus cannabinus</i> L.

Ο Ramesh, M. (2016), αναφέρεται στο δικοτυλήδονο φυτό κενάφ που η καλλιέργεια του υπολογίζεται στα 4000 έτη και προέρχεται από την αρχαία Αφρική που έχει εισαχθεί ενώ έχει καλλιεργηθεί με επιτυχία και σε άλλα μέρη του κόσμου. Το κενάφ είναι ένα ετήσιο ή βραχύβιο πολυετές ποώδες φυτό ινών σε συνδυασμό με τις ίνες του εσωτερικού φλοιού και του πυρήνα είναι μοναδικό, καθώς η βάση του παίρνει περίπου το 35% του ξηρού βάρους του μίσχου. Το φυτό κενάφ μπορεί να αναπτυχθεί πολύ γρήγορα με ύψος 1,5-4,5 m, με ξυλώδη βάση μέσα σε 4-5 μήνες, με ετήσιες αποδόσεις 600-10.000 kg ξηρών ινών / στρέμμα και απαιτεί λιγότερο νερό λόγω του αυξανόμενου κύκλου του 150-180 ημερών. Ο σπόρος του έχει παρόμοια σύνθεση πρωτεϊνών και ελαίου με τους σπόρους βαμβακιού. Τα φύλλα και τα τρυφερά κλαδιά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ζωοτροφές, ο ξυλώδης πυρήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δομικά υλικά και τα υποκατάστατα προϊόντων ξύλου και οι ίνες μπορούν να ληφθούν είτε από τον πυρήνα του στελέχους είτε από το φλοιό του στελέχους.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το κενάφ έχει θεωρηθεί ως κατάλληλος βιολογικός πόρος και δυνητικό υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων και του πολτού ξύλου, λόγω της εκτεταμένης προσαρμογής, της ισχυρής αντοχής, της μεγάλης βιομάζας και της πλούσιας κυτταρίνης. Το κενάφ υπόσχεται πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς σε κυτταρίνη και της χαμηλής περιεκτικότητας σε λιγνίνη. Η αιθανόλη που παράγεται από το κενάφ ονομάζεται kenafanol, και διατίθεται στην αγορά. Το 1 κιλό κενάφ μπορεί να παράγει περίπου 18.000 kJ ενέργειας και αναφέρετε ότι το κενάφ μπορεί να παράγει 61,4 gal βιοκαυσίμων / τόνο βιομάζας.

Ελαιοκράμβη



Εικ.8 *Brassica napus* L. Πηγή: <https://images.app.goo.gl/LbmdCxUD6GR56Wk58>

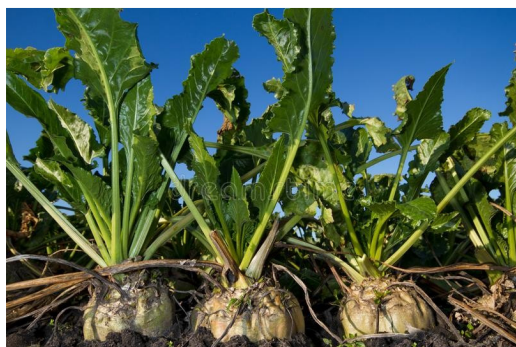
Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
<i>Brassicales</i>	<i>Brassicaceae</i> <i>Cruciferae</i>	ή <i>Brassica</i>	<i>Brassica napus, carinata</i>

Η ελαιοκράμβη είναι ετήσιο C3 φυτό και πιθανότατα κατάγεται από την Μεσόγειο. Στο γένος *Brassica* περιλαμβάνονται η ελαιοκράμβη (*B. napus*) και τα είδη *B. rapa*, *B. carinata*, *B. nigra* και *B. oleracea*. Η καλλιέργεια της εξαπλώνεται παγκοσμίως με κυριότερες χώρες παραγωγής την Ινδία, την Κίνα, τον Καναδά, τις ΗΠΑ, το Πακιστάν, την Πολωνία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ολλανδία και την Αγγλία. Στον χώρο της Ευρώπης, η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης εμφανίζεται στα μέσα του 15ου αιώνα και στις σημερινές εποχές καλύπτει έκταση περίπου 50 εκατ. στρ. με το 85% της συνολικής έκτασης, να το κατέχουν η Γαλλία, η Γερμανία και η Αγγλία. Τέλος, στην Ελλάδα, η καλλιέργεια της βρίσκεται σε μικρότερες πειραματικές εκτάσεις για την γεωργική εκμετάλλευση της και για την παραγωγή ενέργειας.

Το φυτό ελαιοκράμβη, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε λάδι άριστης ποιότητας, είναι σημαντική πηγή βρώσιμου λαδιού για τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης. Επίσης, το συγκεκριμένο εξαγόμενο λάδι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή φαρμάκων χρωμάτων, πλαστικών σαπουνιών, μαργαρίνης, λιπαντικών ή ως συστατικό μείγματος σε ορυκτά λάδια. Αφότου επιτευχθεί η εξαγωγή του λαδιού, τα υπολείμματα της καλλιέργειας (πίτα), μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή, διότι έχουν αρκετή περιεκτικότητά σε πρωτεΐνες, με ποσοστό 10-45%. Με δεδομένο την υψηλή περιεκτικότητά σε έλαια και με την

απαιτούμενη τεχνογνωσία, η ελαιοκράμβη μπορεί να αποτελέσει μια κύρια πηγή παραγωγής βιοντίζελ στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ζαχαρότευτλα



Εικ.9 Καλλιέργεια ζαχαρότευτλου Πηγή: <https://images.app.goo.gl/ebXZgX3r7CyKm2rn6>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
<i>Caryophyllales</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	<i>Beta</i>	<i>Beta vulgaris</i> L.

Τα ζαχαρότευτλα είναι μέλη της οικογένειας *Amaranthaceae* (πρώην *Chenopodiaceae*) που έχουν φωτοσυνθετικό σύστημα C3. Τα καλλιεργούμενα τεύτλα περιλαμβάνονται στο υποείδος *vulgaris* και περιλαμβάνουν φυλλώδη τεύτλα, τεύτλα κήπου (κόκκινα), κτηνοτροφικά τεύτλα (ζωοτροφές) και ζαχαρότευτλα. Οι Biancardi et al. (2010) αναφέρουν ότι τοποθετείται στα φυλλώδη τεύτλα που έχουν αναπτυχθεί από την προ-Ρωμαϊκή εποχή, ωστόσο τα ζαχαρότευτλα εξημερώθηκαν σχετικά πρόσφατα στα τέλη του 18ου αιώνα και η αναπαραγωγή οδήγησε σε καλλιέργεια τεύτλων με διετές αναπαραγωγικό πρόγραμμα, ανθίζοντας μόνο μετά από το πέρας του χειμώνα. Τα ζαχαρότευτλα που καλλιεργούνται στο βόρειο ημισφαίριο φυτεύονται συνήθως στις αρχές της άνοιξης με συγκομιδή 5-9 μηνών αργότερα ανάλογα με το έδαφος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε πιο θερμά ή μεσογειακά κλίματα, τα "χειμερινά τεύτλα" μπορούν να φυτευτούν το φθινόπωρο και να επιτρέψουν τη συγκομιδή μέχρι την επόμενη άνοιξη, καλοκαίρι ή φθινόπωρο. Όπου έχουν αναπτυχθεί επιτυχημένες βιομηχανίες ζαχαρότευτλων, έχουν γίνει διάφορες προσαρμογές στα φυσιολογικά όρια της ανάπτυξης των καλλιεργειών, με αποτέλεσμα μεγάλο αριθμό διαφορετικών προτύπων καλλιέργειας παγκοσμίως, αναφέρουν οι Kaffka και Grantz, (2014). Επίσης, τα τεύτλα μπορούν να φυτευτούν ως μία από τις πολλές καλλιέργειες αμειψισποράς για τη μεγιστοποίηση της χρήσης

γης και πόρων στο πλαίσιο ενός συστήματος καλλιέργειας (Pelka et al. 2015). Η παραγωγή σακχαρόζης τεύτλων έχει ως αποτέλεσμα υποπροϊόντα όπως πολτό ζαχαρότευτλων (SBP, εξαγόμενες ίνες τεύτλων) και μελάσα ή βινάση (συμπυκνωμένες προσμείξεις από τη διύλιση ζάχαρης). Αυτά τα υποπροϊόντα χρησιμοποιούνται παραδοσιακά για ζωοτροφές σε υγρή ή ξηρή μορφή.

Με δεδομένο την παραγωγή βιοκαυσίμων μέσω των τεύτλων, οι υψηλές αποδόσεις σακχάρων και υδατανθράκων στα τεύτλα τα καθιστούν ιδιαίτερα αποδοτικά για την παραγωγή ζυμωτικών βιοκαυσίμων. Συγκεκριμένα, οι κορυφές των τεύτλων (φύλλα) μπορούν να ληφθούν υπόψη για ζωοτροφές ή ως πρώτη ύλη για βιοκαύσιμα. Επιπλέον, τα ρεύματα μελάσας από τις εγκαταστάσεις τεύτλων συνήθως αναμειγνύονται είτε με τον πολτό για να συμπληρώσουν τις ζωοτροφές είτε μπορούν να ζυμωθούν για την παραγωγή αιθανόλης. Τέλος, για τις εργασίες βιοαερίου, τα τεύτλα μπορούν να αλέθονται χονδρικά ή να συνθλίβονται πριν από τη σίτιση ενός αναερόβιου χωνευτήρα, καθώς οι χρόνοι παραμονής μεγάλης διάρκειας επιτρέπουν την υγροποίηση του υλικού. Η απλή άλεση και συμπίεση των τεύτλων μπορεί να αποδώσει μια σημαντική ποσότητα χυμού με περιεκτικότητα σε σακχαρόζη παρόμοια με εκείνη σε ολόκληρο τεύτλο, ωστόσο σημαντική ποσότητα ζάχαρης παραμένει στα συμπιεσμένα στερεά λόγω της υψηλής κατακράτησης νερού.

Ηλίανθος



Εικ.10 Καλλιέργεια ηλίανθου Πηγή: <https://images.app.goo.gl/9kLdNfh8QoLoJHmY8>

Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Asterales	Asteraceae Compositae	ή <i>Helianthus</i>	<i>Helianthus annuus</i> L.

Το γένος *Helianthus annuus* L. είναι ένα δεδομένο βοτανικό όνομα για τον ηλιάνθο για το οποίο είναι μέλος της *Compositae* των ανθοφόρων φυτών που αναπτύσσονται σε όλο τον κόσμο. Το γένος *Helianthus* αποτελείται από 51 είδη, 14 ετησίως και 37 πολυετή. Επιπλέον, έχει διπλοειδή, τετραπλοειδή και εξαπλοειδή είδη, αλλά ο καλλιεργούμενος ηλιάνθος (*Helianthus annuus* L.) είναι το πιο σημαντικό είδος που καλλιεργείται σε μεγάλο βαθμό. Ο ηλιάνθος προέρχεται από τις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και τις περιοχές του Μεξικού. Οι ηλιάνθοι καλλιεργούνται συχνότερα για διακοσμητικά και μερικές φορές για κατανάλωση. Οισπόροι του ηλιάνθου είναι βρώσιμοι και συχνά συνθλίβονται για την εξόρυξη ελαίου. Τα κυριότερα λιπαρά οξέα στο έλαιο ηλιάνθου είναι ελαϊκά (C18:1) και λινελαϊκό (C18:2). Ο ηλιάνθος θεωρείται ως ένα από τα αρχαιότερα είδη ελαιοπαραγωγής, καθώς η καλλιέργειά του μπορεί να εντοπιστεί από το 3000 π.Χ. Ο ηλιάνθος ήταν κάποτε το παγκόσμιο κορυφαίο εργοστάσιο παραγωγής πετρελαίου πριν από την έλευση της έκρηξης της σόγιας μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Οι Kaya et al. (2012) στο βιβλίο τους *Sunflower. In Technological Innovations in Major World Oil Crops* ανέφεραν ότι, οι μη ελαιούχοι σπόροι χρησιμοποιούνται κυρίως για ζαχαροπλαστική, αλλά και για τη διατροφή πουλιών και μικρών κατοικίδιων. Οι τύποι ζαχαροπλαστικής έχουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λάδι και κυρίως μεγαλύτερο μέγεθος σπόρου και λευκό-γκρι χρώμα. Οι στόχοι αναπαραγωγής για τους σπόρους ζαχαροπλαστικής είναι χαμηλότερος ρυθμός καδμίου, υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και βιταμίνη Ε (τοκοφερόλη) για την αύξηση της θρεπτικής αξίας και της διάρκειας ζωής.

Η παραγωγή και η κατανάλωση ηλιέλαιου ξεκίνησε τόσο για διατροφικούς σκοπούς όσο και για μη διατροφικούς σκοπούς, όπως το βιοντίζελ, όμως δεν υπάρχει αρκετή παραγωγή λόγω της υψηλότερης ζήτησης για μαγειρική χρήση στην Ευρώπη. Η χαμηλότερη τιμή ιωδίου, η υψηλότερη σταθερότητα και ο κατάλληλος οξειδωτικός (Vanzozi 2006; Kaya et al. 2007a, b) ρυθμός μετρίου-ελαϊκού και υψηλού-ελαϊκού ηλιελαίου σε σύγκριση με το κυρίαρχο επί του παρόντος λινολεϊκού ηλιέλαιου, θα μετατρέψει το ελαϊκό ηλιέλαιο σε εναλλακτική πηγή βιοντίζελ. Το ηλιέλαιο υψηλού ελαϊκού οξέος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιοανθρακικά με τη μορφή μεθυλεστέρων.

3.2 Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες

Μίσκανθος



Εικ.11 Μίσκανθος Πηγή: <https://images.app.goo.gl/iy78VknjJhKGxdFR8>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Cyperales	Poaceae Gramineae	ή Miscanthus	Miscanthus x gigantea

Ο Lewandowski (2000), αναφέρεται στο φυτό *Miscanthus* ως ένα πολυετές ριζωματώδες γρασίδι με C₄ φωτοσύνθεση. Το γένος *Miscanthus* έχει τις ρίζες του στους τροπικούς και υποτροπικούς, αλλά τα εύφορα είδη βρίσκονται σε ένα ευρύ κλιματικό φάσμα στην Ανατολική Ασία. Η αξιοσημείωτη προσαρμοστικότητα του μίσκανθου σε διάφορα περιβάλλοντα καθιστά αυτή τη νέα καλλιέργεια κατάλληλη για εγκατάσταση και διανομή υπό μια σειρά ευρωπαϊκών και βορειοαμερικανικών κλιματικών συνθηκών. Ένας αποστειρωμένος υβριδικός κηπευτικός γονότυπος, το *Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU μεταφέρθηκε πίσω στη Δανία από τον Aksel Olsen το 1935 και παρατηρήθηκε ότι είχε εξαιρετικά έντονη ανάπτυξη. Εκτεταμένες δοκιμές του *M. x giganteus* GREEF et DEU έχουν διεξαχθεί στη βόρεια Ευρώπη από το 1983 και έχουν δείξει την ικανότητα για υψηλές αποδόσεις, άνω των 20 t ξηρής ύλης/έτος. Δεδομένου ότι ο μίσκανθος έχει έναν βασικό αριθμό χρωμοσωμάτων 19, ο τριπλοειδής γονότυπος *Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU κατέχει 57 σωματικά χρωμοσώματα, και είναι πιθανώς ένα φυσικό υβρίδιο που περιλαμβάνει *Miscanthus sacchari orus* (διπλοειδής)

και *Miscanthus sinensis* (τετραπλοειδής). Ως συνέπεια του τριγώνου του, *M. x giganteus* είναι στείρος και δεν μπορεί να σχηματίσει γόνιμους σπόρους.

Η βιομάζα από το *M. x giganteus* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο, σε δομικά υλικά όπως πιεσμένα σωματίδια και ως πηγή κυτταρίνης. Τα βασικά μειονεκτήματα περιλαμβάνουν σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης, στενή γενετική βάση και χαμηλή σκληρότητα τον θερμότερο χειμώνα μετά την καθιέρωση του *M. x giganteus*. Τέλος, η ποιότητα της βιομάζας *miscanthus* για καύση είναι από ορισμένες απόψεις συγκρίσιμη με την ξυλώδη βιομάζα και συνήθως βελτιώνεται με την καθυστέρηση της συγκομιδής μέχρι την άνοιξη, αν και οι αποδόσεις που μπορούν να συγκομιστούν μειώνονται έτσι κατά 30-50% σε σύγκριση με τις φθινοπωρινές αποδόσεις.

Καλάμι



Εικ.12 Καλλιέργεια καλάμι Πηγή: <https://images.app.goo.gl/P7SJVoM1yHivCR4i9>

Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Cyperales	Poaceae	Arundo	Arundo donax L.

Το γιγάντιο καλάμι πρόκειται για ένα πολυετές ποώδες φυτό (*Poaceae*) που βρίσκεται σε λειμώνες και υγροτόπους σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών ζωνών. Οι Mariani, et al. (2010) στο άρθρο τους *Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (Arundo donax L.): a promising weedy energy crop*, αναφέρουν πως η περιοχή προέλευσης του γιγαντιαίου καλάμωνεξακολουθεί να είναι θέμα συζήτησης, επειδή η βιογεωγραφική και εξελικτική προέλευση αυτού του είδους έχει επισκιαστεί μέσω της αρχαίας και διαδεδομένης καλλιέργειας. Δεν

υπάρχει συμφωνία για τον εντοπισμό της περιοχής από την οποία προέρχεται. Βοτανικά και ιστορικά στοιχεία υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η προέλευση (ημι-εξημερωμένη ή τουλάχιστον αρχικά) ξεκίνησε από μια δεξαμενή άγριων φυτών ιθαγενών στην περιοχή της Μεσογείου, όπου εμφανίζεται με τα άλλα είδη *Arundo*, *A. plinii* Turra, *A. collina* Tenore and *A. mediterranea* Danin. Εναλλακτικά, σύμφωνα με ορισμένους συγγραφείς, το γένος *Arundo* προέρχεται από την Ανατολική Ασία (Polunin και Huxley, 1987). Ωστόσο, το γιγάντιο καλάμι καλλιεργείται στην Ασία, τη Νότια Ευρώπη, τη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή για χιλιάδες χρόνια (Zohary, 1962). Τέλος, χρησιμοποιήθηκε για να ικανοποιήσει τα τοπικά είδη πρώτης ανάγκης, όπως την παραγωγή πασσάλων, καλάθιων και χαλιών, μπαστούνια πεζοπορίας και μπαστούνια αλιείας.

Τα πολυετή ριζωματώδη χόρτα εμφανίζουν αρκετές θετικές ανακυκλώσεις θρεπτικών ουσιών από τα ριζώματα τους και αντοχή σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις. Μεταξύ αυτών των αγρωστωδών, το γιγαντιαίο καλάμι (*A. donax* L.) έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως ενεργειακή καλλιέργεια στις μεσογειακές περιοχές, επειδή κατέλαβε την πρώτη θέση σε συγκριτικές μελέτες απόδοσης με βάση τους Lewandowski et al. (2003).

Αγριαγκινάρα



Εικ.13 Άνθος αγριαγκινάρας

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/i2jpp7idTvBfsqMk6>



Εικ.14 Αγριαγκινάρα

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/iNB48GMUibz3tgVZA>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Asterales	Compositae Asteraceae	ή Cynara	Cynara cardunculus L.

Το *Cynara cardunculus* L. είναι ένα πολυετές βότανο εγγενές στην περιοχή της Μεσογείου, που καλλιεργείται από την αρχαιότητα ως λαχανικό χρησιμοποιώντας εντατικές τεχνικές διαχείρισης. Το ενήλικο φυτό του *C. cardunculus* στον φυσιολογικό κύκλο ανάπτυξής του παρουσιάζει έντονη ανάπτυξη. Ένα μόνο φυτό μπορεί να φτάσει σε ύψος 3 m και να εξαπλωθεί σε μια έκταση διαμέτρου 1,5 m. Τα μεσογειακά καλοκαίρια είναι δυσμενείς εποχές για την ανάπτυξη των φυτών εάν δεν παρέχεται άρδευση. Αυτό το είδος είναι ένα πολυετές βότανο μεετήσιο κύκλο ανάπτυξης στον οποίο ο αναπαραγωγικός κύκλος του ολοκληρώνεται μέχρι το καλοκαίρι. Τα υπέργεια μέρη των φυτών στεγνώνουν το καλοκαίρι, αλλά το υπόγειο τμήμα του φυτού παραμένει ζωντανό με τον ίδιο τρόπο όπως και σε άλλα ζωντανά φυτά. Η εξαιρετική ανάπτυξή της και η μεγάλη προσαρμογή της στα μεσογειακά κλίματα έδειξαν ότι είναι ένα είδος που θα μπορούσε να είναι χρήσιμο για την παραγωγή βιομάζας.

Για βιομηχανικές εφαρμογές οι Fernández, et al. (2006) αναφέρουν πως καλλιεργείται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο φυσικό του πρότυπο ανάπτυξης, δηλαδή ως πολυετής καλλιέργεια αγρού στην ξηρή γεωργία. Μελέτες σχετικά με τις δυνατότητες του *C. cardunculus* για την παραγωγή βιομάζας άρχισαν τη δεκαετία του 1980. Ως ενεργειακή καλλιέργεια, η υπέργεια βιομάζα που παράγεται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης συγκομίζεται μία φορά το χρόνο, το καλοκαίρι. Οι διάφορες εργασίες περικοπής περιγράφονται παρακάτω. Ο διαχωρισμός βιομάζας σε φύλλα, μίσχους και κεφαλές εξαρτάται από την απόδοση. Ως γενική τάση, όσο υψηλότερη είναι η απόδοση, τόσο υψηλότερη είναι η αναλογία μίσχου. Οι σπόροι αντιπροσωπεύουν το 8-10% της υπερκείμενου βιομάζας. Το δυναμικό του γένους *Cynara* ως ενεργειακή καλλιέργεια έγκειται κυρίως στην εφαρμογή ως στερεού βιοκαυσίμου. Τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών που υποστηρίζουν την εφαρμογή αυτή είναι τα εξής: σχετικά χαμηλή εισροή καλλιεργειών, μεγάλη παραγωγικότητα βιομάζας σε μεσογειακά κλιματικά ιόντα, χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας κατά τη συγκομιδή, σύνθεση βιομάζας κυρίως λιγνοκυτταρικού τύπου και υψηλή αξία θέρμανσης.

Switchgrass



Εικ.15 Καλλιέργεια switchgrass Πηγή: <https://images.app.goo.gl/CqwMhrELRZ9V72979>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Cyperales	Poaceae	Panicum	Panicum virgatum L.

Το Switchgrass είναι ιθαγενές της Βόρειας Αμερικής. Οι Clifton-Brown et al. (2019) στο άρθρο τους *Breeding progress and preparedness for mass-scale deployment of perennial lignocellulosic biomass crops switchgrass, miscanthus, willow and poplar*, αναφέρει πως καλλιεργείται με σπόρους και συγκομίζεται ετησίως χρησιμοποιώντας τεχνολογία παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται για βοσκότοπους. Με βάση συλλογές από χιλιάδες υπολείμματα άγριων λιβαδιών, οι γενετικοί τύποι χωρίζονται περίπου σε οικοτόπους πεδινών και ορεινών περιοχών και υπάρχουν ξεχωριστές ομάδες σε κάθε οικοτόπο που εμφανίζονται τόσο κατά μήκος όσο και από τις διαμήκεις κλίσεις (Evans et al. 2018; Lu et al. 2013; Zhang et al. 2011). Η προσαρμογή στο περιβάλλον ρυθμίζεται κυρίως από τις αποκλίσεις στην διάρκεια και τη θερμοκρασία της ημέρας. Υπάρχουν επίσης ισχυρές αλληλεπιδράσεις γονότυπου x περιβάλλοντος μεταξύ των ξηρότερων δυτικών περιοχών και των πιο υγρών ανατολικών περιοχών (Casler et al. 2017). Οι αναπτυσσόμενες περιοχές της Βόρειας Αμερικής χωρίζονται σε τέσσερις ζώνες προσαρμογής για το switchgrass, καθεμία περίπου που αντιστοιχεί σε δύο επίσημες ζώνες ανθεκτικότητας. Οι πεδινοί οικοτύποι εμφανίζουν γενικά καθυστερημένη ανθοφορία, υψηλής απόδοσης και προσαρμοσμένοι σε θερμότερα κλίματα, αλλά έχουν χαμηλότερη αντοχή στην ξηρασία και το κρύο από τους ορεινούς οικοτύπους (Casler, 2012; Casler et al. 2017).

Η χρήση του switchgrass περιορίζεται κυρίως ενάντια της διάβρωσης του εδάφους και στην παραγωγή χορτονομής και ινών. Αντίθετα, με το πέρας του χρόνου το ενδιαφέρον η

καλλιέργεια στράφηκε προς την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων αλλά και στην παραγωγή βιοαιθανόλης 2ης γενιάς. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η καλλιέργεια είναι χαμηλού κόστους εγκατάστασης και υψηλής παραγωγικότητας (ακόμα και σε συνθήκες χαμηλών εισροών), το switchgrass μπορεί να θεωρηθεί ως μια ορθή λύση για την παραγωγή λιγνοκυτταρινικής βιομάζας.

Jatropha



Εικ.16 Καρποί *Jatropha*

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/Mw4aHbAH8u7BDP1f8>



Εικ.17 Καλλιέργεια *Jatropha*

Πηγή: <https://images.app.goo.gl/iB345v9pSdvXp68RA>

Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Malpighiales	Euphorbiaceae	Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>

Το *J. curcas* είναι ένα μικρό δέντρο ή μεγάλος πολυετής θάμνος ύψους έως 5- 7 m. Έχει προσδόκιμο ζωής 50 ετών. Το φυτό είναι εγγενές στην Κεντρική Αμερική και το Μεξικό και αργότερα διανέμεται ευρέως στην Αφρική και την Ασία. Στην Αιθιοπία, καλλιεργείται άφθονα στις περισσότερες περιοχές ως φράκτης ζωής, φράκτης και διατήρηση του εδάφους και των υδάτων. Το φυτό μπορεί να αναπτυχθεί σε υγρασία και υποβαθμισμένη γη με ελάχιστη διαχείριση και εισροές. Το *J. curcas* φέρει σπόρους μετά από 12μήνες φύτευσης (Singh et al. 2021; Jonas et al. 2020). Σύμφωνα με τους Sotolongo et al. (2007), 1 εκτάριο γης θα μπορούσε να παράγει περίπου 3500 kg φρούτων *J. curcas* στα οποία 1000 kg (29%) του μικτού βάρους

εκτιμήθηκαν ως κέλυφος φρούτων. Τα υπόλοιπα 2500 κιλά (71%) ήταν οι ξηροί σπόροι. Ο σπόρος από μόνος του έχει δύο συστατικά: το στρώμα σπόρου (41%) και τον πυρήνα (59%). Η περιεκτικότητα του πυρήνα σε έλαιο, κυμαίνεται μεταξύ 38,7 και 58% (Jonas et al. 2020; Turinayo et al. 2015), ενώ το 60%-65% του σπόρου απορρίπτεται ως υπολείμματα πίεσης μετά την εξόρυξη πετρελαίου.

Οι Ewunie, et al. (2021), στο άρθρο τους *Characterizing the potential and suitability of Ethiopian variety Jatropha curcas for biodiesel production: Variation in yield and physicochemical properties of oil across different growing areas*, αναφέρουν πως το έλαιο *J. curcas* περιέχει υψηλότερα ακόρεστα ελαϊκά και λινολεϊκά λιπαρά οξέα, τα οποία είναι σχετικά κατάλληλα για την παραγωγή βιοντίζελ σε σύγκριση με τα πολυακόρεστα και κορεσμένα λιπαρά οξέα. Το λάδι χαρακτηρίζεται από αρκετά παχύρρευστο και κατείχε υψηλότερο αριθμό κετανίου (Wang et al. 2011). Έτσι, το λάδι από *J. curcas* θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στους τυποποιημένους κινητήρες diesel μετά την μείωση του ιξώδους του μέσω της προθέρμανσης, ανάμειξης, πυρόλυσης, της γαλακτωματοποίησης, ή της μετεστεροποίησης.

Η παραγωγή βιοντίζελ από *J. Curcas* έχει αξιολογηθεί ως οικονομικά βιώσιμη και περιβαλλοντικά υγιής έναντι άλλων βρώσιμων και μη βρώσιμων πρώτων υλών πετρελαίου (Jonas et al. 2020). Η εφαρμογή του βιοντίζελ *J. curcas* ως καυσίμου κινητήρα έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε διάφορους πετρελαιοκινητήρες χωρίς σημαντική τροποποίηση.

3.3 Δασικά Είδη

Ευκάλυπτος



Εικ.18 *Eucalyptus globulus* Labill

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/8mqjs3mFJ5RG64a4A>



Εικ.19 Άνθος *Eucalyptus globulus* Labill

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/sX7ip8kTavRv3DyE8>



Εικ.20 *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh

Πηγή: <https://images.app.goo.gl/tgSwacvTSPqLfiPa7>



Εικ.21 Άνθος *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/JXmsHATsK9PVDCyG7>

Γάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Myrtales	Myrtaceae	Eucalyptus	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh, <i>Eucalyptus globulus</i> Labill

Οι Penín, L. et al. (2020), στο άρθρο τους *Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review*, χαρακτηρίζουν τον Ευκάλυπτο ως τον πιο ευρέως φυτεμένο τύπο σκληρού ξύλου (περίπου 18 εκατομμύρια εκτάρια) και περιλαμβάνει πάνω από 700 είδη που αναπτύσσονται σε τροπικές, υποτροπικές και εύκρατες περιοχές. Τα είδη ευκαλύπτου βιομηχανικού ενδιαφέροντος είναι παραγωγικά και οι φυτείες μπορούν να λειτουργούν με χαμηλό κόστος, αντιπροσωπεύοντας μια βιώσιμη παροχή πρώτων υλών για τεχνολογίες μετατροπής. Επιπλέον, τα πλεονεκτήματα των ευκαλύπτων σε σχέση με άλλες πηγές βιομάζας περιλαμβάνουν τη σχετικά υψηλή πυκνότητα, τα ευνοϊκά χημικά

χαρακτηριστικά τους, τη χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, την εύκολη συγκομιδή και την ικανότητα ανάπτυξης σε τοποθεσίες όπου υπάρχουν σημαντικές ελλείψεις νερού κατά τη διάρκεια σημαντικών χρονικών διαστημάτων του έτους. Συγκεκριμένα, τέσσερα είδη Ευκάλυπτου (*E. grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, και *E. globulus*) και τα υβρίδια τους, αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% των φυτειών παγκοσμίως (Rockwood et al. 2008).

Ειδικότερα, ο Hayat et al. 2015 στο άρθρο τους *A Review on Eucalyptus globulus: A new perspective in therapeutics*, τονίζουν πως το *Eucalyptus globulus* Ladill έχει χρησιμοποιηθεί για χιλιάδες χρόνια σε όλη την ανθρώπινη ιστορία. Ο Ευκάλυπτος είναι εγγενής στην Αυστραλία και την Τασμανία και επίσης στην Αφρική και τροπική έως νότια εύκρατη Αμερική. Η μεταβλητότητα είναι διαδεδομένη στη μορφολογία, στα στάδια ανάπτυξης, το χρώμα των ανθών, τα φύλλα, τους μίσχους και τη χημική σύνθεση. Το *Eucalyptus globulus* Ladill είναι ένα αειθαλές φυτό ευρείας κλίμακας που μπορεί να επιτύχει το μέγιστο ύψος περίπου 70 m. Είναι ένα αρωματικό φυτό που έχει ευθύ κορμό και καλά αναπτυγμένη κορώνα με ριζικό σύστημα βρύσης που υπερβαίνει το βάθος των 10 feet. Τα πιο εύκολα αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά των ειδών ευκαλύπτου είναι τα διακριτικά λουλούδια και φρούτα (κάψουλες ή ξηροί καρποί). Τα άνθη έχουν πολλούς χνουδωτούς στήμονες που μπορεί να έχουν λευκό, κρεμ, κίτρινο, ροζ ή κόκκινο χρώμα.

Στον τομέα των βιοκαυσίμων, η παραγωγή αιθυλενίου του κομμένου ευκαλύπτου ποικίλλει ανάλογα με το στάδιο της ωριμότητας των φύλλων. Τα κομμένα ανώριμα κλαδιά έχουν μεγαλύτερη παραγωγή αιθυλενίου σε σύγκριση με τα ώριμα κλαδιά. Επιπλέον, η ενεργειακή αξία του ξύλου κυμαίνεται στα 4800 kcal/χλγ και το ενεργειακό δυναμικό της φυτείας κυμαίνεται στα 35 με 58 GJ/στρ/έτος (Σκαράκης et al. 2008).

Ψευδακακία



Εικ.22 Γεουσακασία

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/sNKwSD3DbtgtUgXk9>



Εικ.23 Άνθος ψευδακακίας

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/BCfu5RSTHAUK7ZcFA>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
<i>Fabales</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Robinia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.

Η *Robinia pseudoacacia* L. είναι φυλλοβόλο δέντρο, διπλοειδές ($2n = 22$) μεσαίου μεγέθους και κατάγεται από τη Βόρεια Αμερική. Αρχικά, ξεκίνησε η καλλιέργεια της στην Ευρώπη στα μέσα του 17ου αιώνα και επεκτάθηκε στις εύκρατες χώρες της Ασίας, όπου βρίσκεται σε μεγάλες εκτάσεις. Το δέντρο μπορεί να χαρακτηριστεί από αρκετή προσαρμοστικότητα σε ποικίλα εδάφη όσο και σε κλίματα. Είναι φυτό που απαντάται τόσο σε εύκρατα όσο και υποτροπικά κλίματα με πλατύ φάσμα τιμών θερμοκρασίας και ετήσιας βροχόπτωσης ανά έτος (600-1900 χιλ). Ο στόχος καλλιέργειας περιλαμβάνει την χορήγηση της ψευδακακίας για ζωοτροφή, την ανάπλαση εδαφών, στον τομέα της ξυλείας και στην παραγωγή χαρτιού. Επιπλέον, καλλιεργείται για καλλωπιστικό σκοπό, και επιτυγχάνεται εκμετάλλευση των φαρμακευτικών ιδιοτήτων του δέντρου με την χρήση των φύλλων και ανθών της.

Από την άλλη πλευρά, η εκμετάλλευση της καλλιέργειας στοχεύει σε ενεργειακούς σκοπούς και συγκεκριμένα στη χρήση της για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων. Οι λόγοι που χρησιμοποιείται για βιοενεργειακή πρώτη ύλη είναι ο ταχύτερος ρυθμός ανάπτυξης, η υψηλή πυκνότητα του ξύλου και η χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία σε σύγκριση με άλλα είδη. Οι τιμές αποδόσεων σε ξηρό βάρος υπολογίζεται μεταξύ 0.5 και 1.8 τον/στρ/έτος. Επίσης, το θερμικό περιεχόμενο του ξύλου είναι 17.8 MJ/χγλ και η ετήσια ενεργειακή απόδοση της

καλλιέργειας μπορεί να αυξομειωθεί από 15 έως 23 GJ/στρ. Τέλος, μπορεί να σημειωθεί πως σε όλα τα στερεά βιοκαύσιμα το ενεργειακό ισοζύγιο είναι μεγαλύτερο του 10 και το ποσοστό ελάττωσης θερμοκηπιακών αερίων, συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα είναι μεγαλύτερο του 80%.

Ιτιά



Εικ. 24 Ταξιανθία ιτιάς

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/DjcGWdGgWyFnMehR6>



Εικ. 25 *Salix alba* L.

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/u4hUjn54vLkVRmaPA>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Malpighiales	Salicaceae	Salix	<i>Salix alba</i> L.

Η γεωγραφική κατανομή του *Salix* spp. περιλαμβάνει όλες τις ηπείρους εκτός από την Ανταρκτική και Αυστραλία. Τα φυτά προσαρμόζονται σε ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και εδαφικών συνθηκών και οι οικολογικές απαιτήσεις των ιτιών στο φως είναι υψηλές (Milovanović et al. 2011). Συγκεκριμένα, τα καταλληλότερα εδάφη για ιτιές είναι τα εδάφη πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Ορισμένα είδη ιτιάς μπορούν να αναπτυχθούν επιτυχώς σε εδάφη φτωχά σε θρεπτικά συστατικά των φυτών, ξηρά ή τύρφη με ρηχή αποστράγγιση, η οποία περιλαμβάνει επίσης περιοχές που δεν είναι κατάλληλες για παραδοσιακή γεωργία. Οι ιτιές αναπτύσσονται γρήγορα σε περιοχές με υδάτινα εδάφη και προτιμούν ουδέτερη αντίδραση εδάφους (Milovanović et al. 2011).

Οι έρευνες ταχέως αναπτυσσόμενων ειδών ξύλου (ιτιές, λεύκες, aspens κ.λπ.) αποτελούν σημαντική περιοχή σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο-Σουηδία, Αγγλία, Ιρλανδία, Πολωνία, Εσθονία, Δανία, ΗΠΑ, Καναδά κ.ά. Η εκτίμηση του δυναμικού των καλλιεργειών βιομάζας

ιτιάς σε ένα ευρύ φάσμα χωρών και οικονομικών τομέων μπορεί να αναδείξει τομείς όπου η καλλιέργεια ιτιάς μπορεί να είναι πραγματικά οικονομικά σημαντική, αναφέρουν οι Ručka και Lazdiņa (2013) στο βιβλίο τους *Review about investigations of Salix spp. in Europe*. Επιπλέον, όλα τα συστατικά της καλλιέργειας ιτιάς (κλαδιά, φύλλα, φλοιός, ρίζες) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρακτικούς σκοπούς. Κατά συνέπεια, η πολύπλοκη χρήση των ιτιών δεν παράγει απόβλητα. Το ξύλο ιτιάς χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την κυτταρίνη, τις συνθετικές ίνες και σε άλλες διαδικασίες παραγωγής.

Η υψηλότερη οικονομική απόδοση των ιτιών μετριέται από την παραγωγή βιοκαυσίμων και η τιμή της ενέργειας από ιτιές είναι κατά πάσα πιθανότητα τρεις φορές φθηνότερη από ό,τι το φυσικό αέριο. Οι μεγαλύτερες φυτείες ιτιάς στην ΕΕ βρίσκονται στη Σουηδία (πάνω από 19.000 εκτάρια), μικρότερες - στην Πολωνία (περίπου 6.000 εκτάρια), στην Ιταλία και το Ηνωμένο Βασίλειο (περίπου 3.000 εκτάρια) και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η Σουηδία διαθέτει διάφορους μηχανισμούς στήριξης των γεωργών και κατέχει ηγετική θέση στην εγκατάσταση φυτειών ιτιάς (LVMI "Silava", 2006). Χάρη στη σουηδική εμπειρία, η ιτιά είναι μία από τις πιο καλλιεργούμενες εμπορικές ενεργειακές καλλιέργειες στην Ευρώπη (MolaYudego, 2011), για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από φυτείες SRC ιτιάς.

Λεύκα



Εικ. 26 *Populus alba* L.

Πηγή: <https://images.app.goo.gl/fr5KDZ5jFhXh1i4s9>



Εικ. 27 Άνθη λεύκας

Πηγή: <https://images.app.goo.gl/8of4dq685stunE49>

Τάξη	Οικογένεια	Γένος	Είδος
Malpighiales	Salicaceae	Populus	<i>Populus alba</i> L.

Το *Populus alba* L. είναι ένα μεσαίου μεγέθους φυλλοβόλο δέντρο που απαντάται συνήθως σε παράκτια και παρόχθια δάση της κεντρικής και νότιας Ευρώπης, αναφέρουν οι Caudullo, και de Rigo (2016), στο άρθρο τους *Populus alba in Europe: Distribution, habitat, usage, and threats*. Το ευρύ φάσμα του καλύπτει από την περιοχή της Μεσογείου έως την Κεντρική Ασία. Το ύψος του φτάνει τα 30m ,με διάμετρο 20m. Τα φύλλα της έχουν τριγωνικό ή ρομβοειδές σχήμα με οδοντωτές παρυφές. Τα άνθη εμφανίζονται Μάρτιο-Απρίλιο και τα αρσενικά και θηλυκά άνθη αναπτύσσουν μεγάλους κρεμαστούς ίσουλους. Επίσης, είναι ένα ταχείας ανάπτυξης δέντρο, το οποίο ευδοκίμει σε ηλιόλουστους βιότοπους σε αμμώδη εδάφη και αμμόλοφους. Χρησιμοποιείται ως καλλωπιστικό δέντρο που εκτιμάται για το ελκυστικό δίχρωμο φύλλωμά του και ως ανεμοφράκτης για τη σταθεροποίηση των αμμόλοφων χάρη στην ανοχή του στους θαλασσινούς ανέμους. Επιπλέον, οικολογικά, οι λεύκες είναι πολύ χρήσιμες για την αποκατάσταση διαταραγμένων περιβαλλόντων, τον έλεγχο της ερημοποίησης της γης, τη σταδιακή μείωση των άνυδρης περιοχής, τη συνεχή αύξηση της γονιμότητας του εδάφους και τη βελτίωση του οικολογικού περιβάλλοντος που επηρεάζεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Bilek et al. 2020).

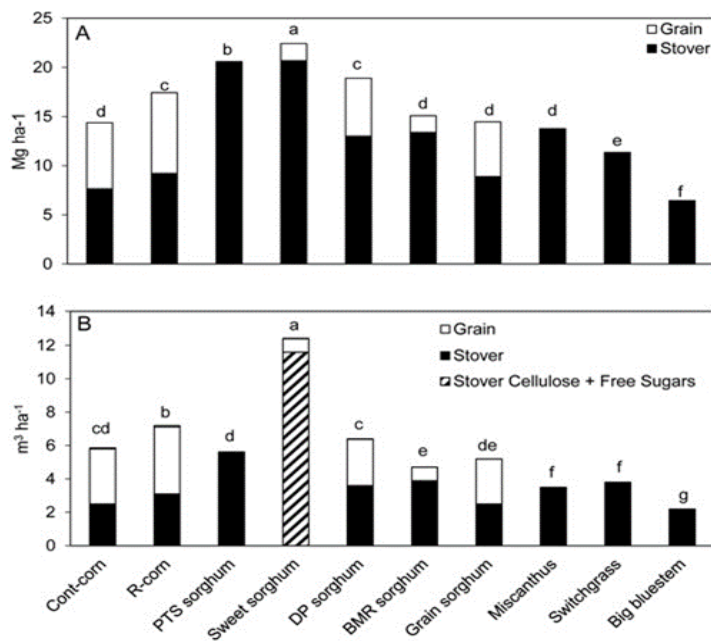
Ως μία από τις ταχέως αναπτυσσόμενες καλλιέργειες βιοενέργειας, η λεύκα είναι πλούσια σε υδατάνθρακες (κυτταρίνη και ημικυτταρίνη), οι οποίοι είναι ελπιδοφόροι πόροι για ανανεώσιμα βιοκαύσιμα και βιοπροϊόντα και μπορούν να αποτελέσουν βιώσιμη εναλλακτική λύση στα προϊόντα με βάση το πετρέλαιο (Ragauskas et al. 2006). Σε σύγκριση με άλλες καλλιέργειες βιοενέργειας, η λεύκα είναι πολυετής και εμφανίζει ταχεία ανάπτυξη και υψηλή παραγωγικότητα και δεν απαιτεί μεγάλη ποσότητα ετήσιων ενεργειακών και οικονομικών εισροών (άρωση και φύτευση, λίπασμα, ζιζανιοκτόνα και φυτοφάρμακα), (Littlewood et al. 2014).

3.4 Αποδόσεις ενεργειακών φυτών

Οι Roozeboom et al. (2018), στο άρθρο τους *Long-term Biomass and Potential Ethanol Yields* αναφέρθηκαν σε ένα πείραμα, για τη σύγκριση της παραγωγικότητας της βιομάζας και της απόδοσης αιθανόλης των πολυετών και ετήσιων καλλιεργειών. Οι πολυετείς καλλιέργειες περιελάμβαναν τρία φυτά C4: switchgrass (*Panicum virgatum* L.), big bluestem (*Andropogon gerardii* Vitman) και miscanthus (*Miscanthus sacchariflorus*). Οι ετήσιες καλλιέργειες C4 ήταν καλαμπόκι (*Zea mays* L.) σε δύο εναλλαγές καλλιέργειας: συνεχείς και εναλλαγμένες με

σόγια [*Glycine max* (L.) Merr.]; και πέντε είδη σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] όλα εναλλαγμένα με σόγια.

Τα έντεκα χρόνια των αποτελεσμάτων αποδεικνύουν ότι οι ετήσιες καλλιέργειες καλαμποκιού και σόργου, καθώς και τα πολυετή χόρτα όπως ο μίσχανθος και το switchgrass θα μπορούσαν να διαδραματίσουν ρόλο ως δυνητική πρώτη ύλη βιοενέργειας σε διαφοροποιημένα συστήματα παραγωγής. Συγκεκριμένα, το καλαμπόκι, το σόργο διπλής χρήσης και οι κόκκοι σόργου παρήγαγαν σημαντικές αποδόσεις σιτηρών, παρέχοντας πρώτες ύλες για την ώριμη βιομηχανία αιθανόλης με βάση το άμυλο. Οι ετήσιες διακυμάνσεις της απόκρισης του καλαμποκιού και του σόργου στις καιρικές συνθήκες της συγκεκριμένης μελέτης καταδεικνύουν τη σημασία της στόχευσης αυτών των καλλιεργειών σε περιοχές και συστήματα παραγωγής που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις παραγωγής τους (Assefa et al. 2014). Αν και η δυνητική παραγωγή αιθανόλης από γλυκό σόργο ξεπέρασε εκείνη όλων των άλλων ετήσιων ή πολυετών καλλιεργειών στην μελέτη, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όσον αφορά τη μείωση της υλικοτεχνικής υποστήριξης και της αιθανόλης (Cifuentes et al. 2014). Η παραγωγή αιθανόλης από πολυετή είδη μέσω κυτταρινικών διαδρομών μετατροπής αντιμετωπίζει επίσης σημαντικές προκλήσεις (Humbird et al. 2011) εκτός του ότι είναι δυνητικά λιγότερο παραγωγικές από τις ετήσιες καλλιέργειες, όπως τεκμηριώνεται. Ωστόσο, τα πολυετή συστήματα διαθέτουν πιθανά σημαντικά οφέλη όσον αφορά τις εισροές ενέργειας, το ισοζύγιο άνθρακα και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Farrell et al. 2006, Mitchell et al. 2012), και έχει διεξαχθεί έρευνα για την αντιμετώπιση των οδοφραγμάτων προς υιοθέτηση (Clifton-Brown et al. 2019). Η εξισορρόπηση της προσφοράς πρώτων υλών βιοκαυσίμων μεταξύ αυτών των καλλιεργειών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση του λόγου των βιοκαυσίμων πρώτης και δεύτερης γενεάς, καθώς και του συνδυασμού πρακτικών του συστήματος καλλιέργειας που επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και το ισοζύγιο εδαφικού άνθρακα του κύκλου παραγωγής βιοκαυσίμων.



Εικ.28 Μέση ετήσια συνολική ξηρή βιομάζα (A) και εκτιμώμενες ετήσιες συνολικές αποδόσεις αιθανόλης (B) των καλλιιεργειών πρώτων υλών βιοκαυσίμων που καλλιεργούνται στο Μανχάταν, KS, 2007 έως 2017. Cont: συνεχής καλλιέργεια σόργου, R: εναλλαγμένη καλλιέργεια καλαμποκιού, BMR: καφέ μεσαία πλευρά σόργου, DP: διπλής χρήσης σόργο, PTS: φωτοευαίσθητο σόργο.

Πηγή: Roozeboom, K. L., Wang, D., McGowan, A. R., Prophet, J. L., Staggenborg, S. A., και Rice, C. W. (2019). Long-term biomass and potential ethanol yield of annual and perennial biofuel crops. *Agronomy Journal*. 111(1), 74-83.

Αποδόσεις δημητριακών

Οι Slade et al. (2014), αναφέρουν πως όλες οι μελέτες του δυναμικού βιομάζας προϋποθέτουν ότι θα ικανοποιηθεί η ζήτηση τροφίμων. Η ποσότητα γης που απαιτείται επηρεάζεται έντονα από τις προβλέψεις απόδοσης για τις καλλιέργειες δημητριακών. Τα σιτηρά είναι πρωταρχικής σημασίας, διότι περίπου τα δύο τρίτα της συνολικής ενέργειας στην ανθρώπινη διατροφή παρέχονται από τρεις μόνο καλλιέργειες (σιτάρι, ρύζι και αραβόσιτο), οι οποίες μαζί καταλαμβάνουν ήδη το 10% της παγκόσμιας έκτασης γης. Η κύρια πηγή προβλέψεων απόδοσης που χρησιμοποιούνται σε μελέτες βιομάζας μέχρι σήμερα είναι ο FAO, και ιδίως δύο εκθέσεις (που δημοσιεύθηκαν το 2003 από τον Bruinsma, J. με τίτλο *World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective* και επικαιροποιήθηκαν το 2006 από τους Alexandratos et al. με τίτλο *World agriculture: Towards 2030/2050. Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups*) που περιγράφουν την αύξηση της απόδοσης για τις κύριες καλλιέργειες σιτηρών που αυξάνονται λίγο πολύ γραμμικά στο 0,9% ετησίως έως το 2050 (0,9-1,4% ετησίως μεταξύ 1999-2030, 0,5-0,7% ετησίως μεταξύ

2030-2050, έναντι 1,6% ετησίως για την περίοδο 1967-1999). Υπάρχει ανησυχία, ωστόσο, ότι αυτές οι προβλέψεις μπορεί να είναι υπερβολικά αισιόδοξες και να δώσουν την εντύπωση ότι υπάρχει μεγαλύτερο περιθώριο αύξησης της παραγωγικότητας από ό,τι συμβαίνει στην πραγματικότητα. Οι Erb et al. 2009 στο άρθρο του *Eating the Planet: Feeding and Fuelling the World Sustainably, Fairly and Humanely*, προσδιορίζουν ότι οι βιολόγοι τείνουν να είναι μεταξύ των πιο σκεπτικιστών.

Η ανάλυση του FAO πραγματοποιήθηκε πριν από τις αυξήσεις των τιμών των βασικών προϊόντων το 2007/2008 και μία από τις βασικές υποθέσεις στην έκθεση του 2003 ήταν ότι το πετρέλαιο θα κόστιζε λιγότερο από 30 δολάρια (ΗΠΑ) ανά βαρέλι και θα μειωνόταν σε 21 δολάρια (ΗΠΑ) ανά βαρέλι μέχρι το 2015. Σε αυτό το σενάριο, το κόστος της ενέργειας δεν παρέχει κανέναν περιορισμό στη γεωργική παραγωγή. Μετά το 2007/2008, η ανησυχία για τις ταχέως αυξανόμενες τιμές αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον για την επισιτιστική ασφάλεια και δημιούργησε μια σειρά από σημαντικές αναθεωρήσεις εξετάζοντας κατά πόσον η αύξηση των αποδόσεων των τροφίμων θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ενός αυξανόμενου πληθυσμού. Ο FAO επικαιροποίησε επίσης την ανάλυσή του, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι αυξήσεις της απόδοσης των σιτηρών κατά 0,9% ετησίως έως το 2050 παραμένουν δυνατές, αλλά μόνο εάν αναμένονται επαρκείς επενδύσεις, με βάση τους Alexandratos και Bruinsma (2012). Η ευρεία συναίνεση αυτών των εκθέσεων ήταν πως, γίνεται τεχνικά δυνατή η παραγωγή επαρκών τροφίμων για τη διατροφή του παγκόσμιου πληθυσμού του 2050, αλλά δεν θα υπάρχει περιθώριο εφησυχασμού, ιδίως για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παγκόσμιας γεωργίας.

Κεφάλαιο 4. Βιοκαύσιμα

Γίνεται ολοένα και πιο σαφές ότι τα βιοκαύσιμα μπορούν να αποτελέσουν βιώσιμη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας σε αντίθεση με τον πεπερασμένο χαρακτήρα, τη γεωπολιτική αστάθεια και τις επιβλαβείς παγκόσμιες επιπτώσεις της ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Rodionova et al. 2017). Συνολικά, τα βιοκαύσιμα περιλαμβάνουν τυχόν χημικές ουσίες εμπλουτισμένες με ενέργεια που παράγονται απευθείας μέσω των βιολογικών διεργασιών ή προέρχονται από τη χημική μετατροπή από βιομάζα προηγούμενων ζωντανών οργανισμών. Κυρίως, τα βιοκαύσιμα παράγονται από φωτοσυνθετικούς οργανισμούς όπως φωτοσυνθετικά βακτήρια, μικροφύκη και μακροφύκη και αγγειακά χερσαία φυτά. Τα πρωτογενή προϊόντα βιοκαυσίμων μπορεί να είναι σε αέρια, υγρά ή στερεά μορφή. Αυτά τα προϊόντα μπορούν να μετατραπούν περαιτέρω με βιοχημικές, φυσικές και θερμοχημικές μεθόδους. Τα βιοκαύσιμα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: πρωτογενή και δευτερογενή βιοκαύσιμα. Τα πρωτογενή βιοκαύσιμα παράγονται απευθείας από την καύση ξυλώδους ή κυτταρινικού φυτικού υλικού και ξηρών ζωικών αποβλήτων. Τα δευτερογενή βιοκαύσιμα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις γενιές που παράγονται έμμεσα από φυτικά και ζωικά υλικά. Η πρώτη γενιά βιοκαυσίμων είναι η αιθανόλη που προέρχεται από καλλιέργειες τροφίμων πλούσιες σε άμυλο ή βιοντιζέλ που λαμβάνονται από απόβλητα ζωικών λιπών, όπως το λίπος μαγειρέματος. Η δεύτερη γενιά είναι η βιοαιθανόλη που προέρχεται από μη διατροφική κυτταρίνη και βιοντιζέλ που λαμβάνεται από πλούσιο σε πετρέλαιο φυτικούς σπόρους όπως σόγια ή *jatropha*. Η τρίτη γενιά είναι τα βιοκαύσιμα που παράγονται από κυανοβακτηρια, μικροφύκη και άλλα μικρόβια, η οποία είναι πιο ελπιδοφόρα προσέγγιση για την κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών απαιτήσεων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, οι μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες για την παραγωγή βιοκαυσίμων θα πρέπει να τεθούν σε αναζήτηση νέων ειδών παραγωγής βιοκαυσίμων, στη βελτιστοποίηση και βελτίωση των συνθηκών καλλιέργειας, στη γενετική μηχανική των ειδών παραγωγής βιοκαυσίμων, στην πλήρη κατανόηση των μηχανισμών παραγωγής βιοκαυσίμων και στις αποτελεσματικές τεχνικές μαζικής καλλιέργειας μικροοργανισμών.

Επιπροσθέτως, ο Aro (2016), στο άρθρο του *From first generation biofuels to advanced solar biofuels*, τοποθετείται στα βιοκαύσιμα τέταρτης γενιάς που επωφελούνται από τη συνθετική βιολογία των φυκών και των κυανοβακτηρίων το οποίο είναι ένας νέος αλλά έντονα εξελισσόμενος ερευνητικός τομέας. Η συνθετική βιολογία (SynBio) περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την κατασκευή νέων βιολογικών μερών, συσκευών και συστημάτων, καθώς και τον επανασχεδιασμό των υπαρχόντων, φυσικών βιολογικών συστημάτων για χρήσιμους

σκοπούς. Καθίσταται δυνατός ο σχεδιασμός ενός φωτοσυνθετικού/μη φωτοσυνθετικού πλαισίου, είτε φυσικού είτε συνθετικού, για την παραγωγή βιοκαυσίμων υψηλής ποιότητας με υψηλό PFCE (Photon-to-fuel conversion efficiency).

Ο όρος PFCE χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ποσοστό της ενέργειας των φωτονίων που χτυπούν τον οργανισμό, που μετατρέπονται σε χημική ενέργεια με φωτοσυνθετικές αντιδράσεις φωτός και στη συνέχεια, μέσω μιας σειράς διεργασιών, καταλήγουν στο καύσιμο. Από την άλλη, για τα βιοκαύσιμα πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς, η πρώτη ύλη είναι είτε βιομάζα είτε απόβλητα, και τα δύο είναι αποτελέσματα της «χθесισνής φωτοσύνθεσης» (αλλά όχι από ορυκτούς πόρους). Ενώ αυτά τα βιοκαύσιμα είναι συχνά πολύ χρήσιμα σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή χώρα, περιορίζονται πάντα από τη διαθεσιμότητα της αντίστοιχης οργανικής πρώτης ύλης, δηλαδή της βιομάζας, η οποία περιορίζει την εφαρμογή τους σε παγκόσμια κλίμακα.

Τα βιοκαύσιμα τέταρτης γενιάς μπορούν να βασιστούν σε πρώτες ύλες που είναι ουσιαστικά ανεξάντλητες, φθηνές και ευρέως διαθέσιμες. Ο διαχωρισμός του φωτοσυνθετικού νερού (οξειδωση νερού) στα συστατικά του από την ηλιακή ενέργεια μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην παραγωγή καυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα, τόσο με τεχνητή φωτοσύνθεση (Inganas and Sundstrom 2016) όσο και με άμεσες τεχνολογίες παραγωγής ηλιακών βιοκαυσίμων. Η παραγωγή υδρογόνου και η παραγωγή βιοκαυσίμων με μειωμένο άνθρακα είναι δυνατή με την ταυτόχρονη ενισχυμένη σταθεροποίηση του ατμοσφαιρικού CO₂ και τον καινοτόμο σχεδιασμό συνθετικών μεταβολικών οδών για την παραγωγή καυσίμων. Η δημιουργία «βακτηρίων σχεδιαστών» με νέες χρήσιμες ιδιότητες απαιτεί επαναστατικές επιστημονικές ανακαλύψεις σε διάφορους τομείς της θεμελιώδους έρευνας.

Τα βιοκαύσιμα τέταρτης γενιάς παράγονται από τα εξής:

- Φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς σχεδιαστών για την παραγωγή φωτοβιολογικών ηλιακών καυσίμων.
- Συνδυάζοντας φωτοβολταϊκά και μικροβιακή παραγωγή καυσίμου (ηλεκτροβιοφύσιμα)
- Εργαστάσια συνθετικών κυψελών ή συνθετικά οργανίδια ειδικά προσαρμοσμένα για την παραγωγή επιθυμητών χημικών ουσιών υψηλής αξίας (παραγωγή που επί του παρόντος βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα) και βιοκαυσίμων.

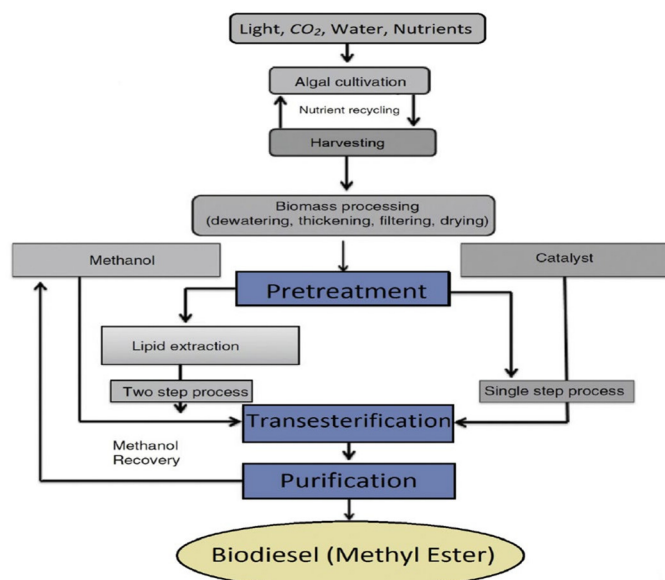
Οι Correa et al. (2019), συμπεραίνουν πως η παραγωγή βιοενέργειας αναμένεται να αυξηθεί από $9,7 \times 10^6$ σε $4,6 \times 10^7$ GJ μεταξύ το 2016 και 2040 και ο τρόπος παραγωγής των

βιοκαυσίμων θα καθορίσει τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους. Η εφαρμογή πιο βιώσιμων συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων, τα οποία περιλαμβάνουν απόβλητα βιώσιμη προέλευσης, εγγενείς πολυετείς καλλιέργειες και συστήματα παραγωγής μικροφυκών που παράγονται σε χαμηλή βιοποικιλότητα ή οι υποβαθμισμένες εκτάσεις θα μπορούσαν να μειώσουν το μέγεθος των διαφόρων κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων που ασκούν τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, κυρίως όσον αφορά τον μειωμένο ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων και τη βιοποικιλότητα. Η βιωσιμότητα αυτών και άλλων νέων εναλλακτικών λύσεων παραγωγής βιοκαυσίμων πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά πριν από την ευρεία έγκρισή τους, με βάση παγκόσμιους κοινωνικοοικονομικούς και περιβαλλοντικούς στόχους (π.χ. μείωση της φτώχειας, μετριασμός της κλιματικής αλλαγής, διατήρηση της βιοποικιλότητας, παροχή γλυκού υδάτος και μείωση του ευτροφισμού).

Η ανάπτυξη αξιόπιστων αξιολογήσεων που εξετάζουν τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής βιοκαυσίμων είναι απαραίτητες για την ενημέρωση των επιλογών και την εφαρμογή πιο βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων παραγωγής βιοκαυσίμων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει, για παράδειγμα, την ανάπτυξη και τυποποίηση περιβαλλοντικών δεικτών, την ανάπτυξη τυποποιημένων αξιολογήσεων σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που ασκούν τα συστήματα παραγωγής βιοκαυσίμων, την ανάπτυξη λεπτομερών περιπτωσιολογικών μελετών που εξετάζουν πολλαπλούς κοινωνικοοικονομικούς και περιβαλλοντικούς στόχους, βελτιωμένες εκτιμήσεις της δυνητικής σκοπιμότητας και απόδοσης της παραγωγής βιοκαυσίμων και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων αξιολογήσεων για την κατανόηση των κοινωνικοοικονομικών και οικολογικών επιπτώσεων των εναλλακτικών λύσεων παραγωγής βιοκαυσίμων. Οι τεχνολογικές βελτιώσεις αναμένεται να βελτιώσουν την επάρκεια των πιο βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων παραγωγής βιοκαυσίμων με την πάροδο του χρόνου, οι οποίες επί του παρόντος υπολογίζονται μεταξύ \$19-62 (δολαρίων ΗΠΑ) για λιγνοκυτταρικές πρώτες ύλες και US \$ 13-8949 (δολαρίων ΗΠΑ) για συστήματα παραγωγής μικροφυκών. Εν τω μεταξύ, διάφορες πολιτικές (δηλαδή, εντολές, φορολογία, επιδοτήσεις, μηχανισμοί που βασίζονται στην αγορά και εφαρμοσμένες ερευνητικές συνεργασίες) μπορούν να προωθήσουν την ανάπτυξη και την υιοθέτηση πιο βιώσιμων συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων. Οι πολιτικές αυτές πρέπει να διατυπωθούν σε παγκόσμιο, εθνικό και περιφερειακό επίπεδο. Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς αποτελούν βασική τεχνολογία για την κάλυψη των μακροπρόθεσμων ενεργειακών απαιτήσεων μεταφοράς, μειώνοντας παράλληλα τις αλλαγές στη χρήση γης. Για παράδειγμα, στη Ρωσία, την Ινδία, τη Βραζιλία, τον Καναδά, το Μεξικό, την Ινδονησία, τη Σαουδική Αραβία, το Ιράν, την Αυστραλία, τη Νότια Αφρική και την Αίγυπτο, η καλλιέργεια μικροφυκών θα απαιτούσε λιγότερο από το 2% της χερσαίας

έκτασης κάθε χώρας για να ικανοποιήσει τις τρέχουσες ενεργειακές απαιτήσεις εσωτερικής μεταφοράς.

4.1 Διαδικασίες παραγωγής βιοντίζελ



Εικ.29 Παραγωγή βιοντίζελ με καλλιέργεια φυκών, Πηγή: Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., ... και Allakhverdiev, S. I. (2017). *Biofuel production: challenges and opportunities. International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450- 8461.

Οι Rodionova et al. (2017), στο άρθρο τους *Biofuel production: challenges and opportunities. International Journal of Hydrogen Energy* αναφέρονται στις πρόσφατες προόδους, συμπεριλαμβανομένων των προκλήσεων και των ευκαιριών στην παραγωγή μικροβιακής βιοκαυσίμων, καθώς και τις πιθανές εφαρμογές των μικροφυκών ως πλατφόρμα παραγωγής βιομάζας.

Συγκεκριμένα, το βιοντίζελ είναι μια εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα τις τελευταίες δεκαετίες και λαμβάνει όλο και περισσότερο την προσοχή παγκοσμίως. Μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμα βιολογικά υλικά και μπορεί να υποκαταστήσει τα καύσιμα πετρελαίου ντίζελ. Τα καύσιμα βιοντίζελ παράγονται μέσω της διεστεροποίησης διαφόρων ζωικών λιπών και φυτικών ελαίων συνήθως με μεθανόλη ή αιθανόλη. Μπορεί να παραχθεί από πολλά σπορέλαια, αλλά τα πιο συνηθισμένα είναι το κραμβέλαιο και το σογιέλαιο. Η ποιότητα του βιοντίζελ εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του. Το βιοντίζελ είναι σημαντικό για διάφορους λόγους: α) μπορεί να

παρέχει φθηνά και τοπικά καύσιμα για τις αγροτικές οικονομίες· β) είναι βιώσιμο και ανανεώσιμο και γ) η παραγωγή έχει ελάχιστα τοξικά απόβλητα με μεγάλο βαθμό βιοαποικοδομήσιμες εισροές και εκροές.

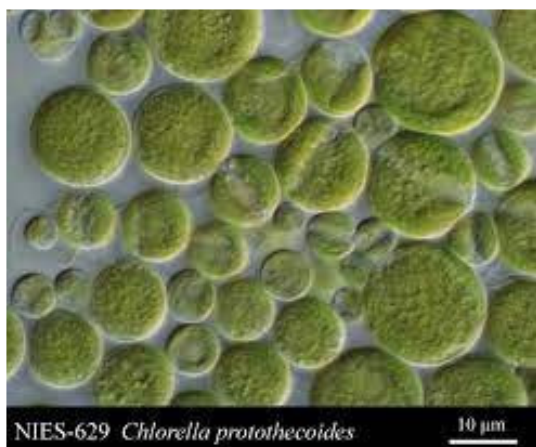
Επιπλέον, το βιοντιζέλ είναι φιλικό προς το περιβάλλον και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα. Είναι κατασκευασμένο από μη τοξικές χημικές ουσίες και η καύση δεν απελευθερώνει καυσαέρια πλούσια σε θειάφι και άζωτο, όπως και τα πετροχημικά. Η παραγωγή βιοντιζέλ είναι μια απλή διαδικασία σε δύο βήματα. Το πρώτο βήμα συνίσταται στην εκχύλιση λιπών ή ελαίων από ζωικούς ή φυτικούς ιστούς. Το δεύτερο βήμα είναι η διεστεροποίηση του κλάσματος λιπιδίων με αλκοόλες παρουσία καταλυτών για την παραγωγή βιοντιζέλ.

Το βιοντιζέλ είναι παρόμοιο με το ντίζελ που προέρχεται από αργό πετρέλαιο σε μήκος αλυσίδας, ιξώδες, ενεργειακή πυκνότητα και μπορεί να είναι μια «πτώση» καυσίμου που απαιτεί μικρή τροποποίηση των υφιστάμενων κινητήρων εσωτερικής καύσης. Οι εσπερίδες φυτικού ελαίου περιέχουν 10-11% οξυγόνο που μπορεί να επιταχύνει περισσότερη καύση από το ντίζελ με βάση το υδρογόνο. Επίσης, το βιοντιζέλ έχει μια μόνο ελαφρώς χαμηλότερη ογκομετρική ικανότητα θερμότητας από το ορυκτό ντίζελ. Η μετατροπή των τριγλυκεριδίων σε μεθυλεστέρες ή αιθυλεστέρες, μέσω της διαδικασίας διεστεροποίησης, μειώνει το μοριακό βάρος στο ένα τρίτο των τριγλυκεριδίων, μειώνει το ιξώδες κατά περίπου οκτώ και αυξάνει οριακά τη μεταβλητότητα. Μια άλλη ελκυστική πτυχή του βιοντιζέλ είναι η «ανακύκλωση διοξειδίου του άνθρακα».

Ένα από τα οικονομικότερα σημαντικά φυτά *Jatropha curcas* έχει αναγνωριστεί ως δυνητικότερη βιοντιζέλ παραγωγής. Μπορεί να αναπτυχθεί σε τροπική και υποτροπική ζώνη του κόσμου. Λόγω της ταχείας ανάπτυξής του και της υψηλής παραγωγικότητας των σπόρων, το φυτό έχει θεωρηθεί κατάλληλο υποψήφιο για βιοντιζέλ. Τα φυτά *J. curcas* είναι η πρώτη πηγή πετρελαίου επειδή περιέχουν 6.2% της υγρασίας, 18% της πρωτεΐνης, 38% του λίπους, 17% των υδατανθράκων, 15.5% των ινών και 5.3% της τέφρας.

Η τρίτη γενιά βιοκαυσίμων είναι τα μικροφύκη. Στις μέρες μας, η φωτοσυνθετική ικανότητα των μικροφυκών εμφανίζεται για να προσφέρει την καλύτερη ανταπόκριση στη ζήτηση της παγκόσμιας ενέργειας. Έχει υπολογιστεί ότι τα μικροφύκη έχουν την ικανότητα να παράγουν βιοντιζέλ 200 φορές πιο αποτελεσματικά από τις παραδοσιακές καλλιέργειες, καθώς τα μικροφύκη μπορούν να συγκομιστούν από αρκετές ώρες έως δέκα ημέρες καλλιέργειας. Η συγκομιδή των μικροφυκών είναι ευκολότερη και ταχύτερη διαδικασία από εκείνη των

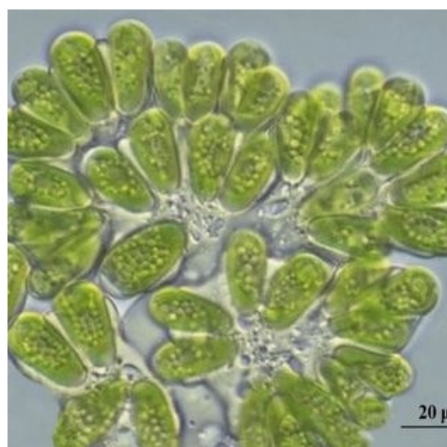
χερσαίων εγκαταστάσεων για την παραγωγή βιοκαυσίμων, και η ποιότητα των καλλιεργειών δεν είναι απαραίτητη για την παραγωγή βιομάζας μικροφυκών. Τα μικροφύκη χρησιμοποιούν ελαφριά ενέργεια για να μετατρέψουν το διοξείδιο του άνθρακα σε οργανικές ενώσεις πιο αποτελεσματικά από τα ανώτερα φυτά, υποστηρίζοντας ότι αποτελούν ανώτερη πηγή παραγωγής βιοκαυσίμων. Τα μικροφύκη, όπως τα *C. protothecoides*, μπορεί να περιέχουν το 55% των λιπιδίων όταν καλλιεργούνται ετεροτροφικά υπό περιορισμό αζώτου. Ένα άλλο πράσινο αποικιακό μικροφύκη *Botryococcus braunii* 765 παράγει βιοντίζελ, υδρογονάνθρακες και βιοκαύσιμο έλαιο κάτω των 25 °C. Το *Chlorella minutissima* παράγει περισσότερα λιπίδια στους 25 °C όταν καλλιεργηθεί σε βασικό μέσο. Το είδος του *C. minutissima* UTEX2341 είναι επίσης πηγή βιοντίζελ λόγω της παρουσίας λιπιδίων C16 και C18 στο σώμα του.



Εικ.30 Ετεροτροφικά μικροφύκη *Protothecoides*

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/D5ViJCAzNATiEzmr7>

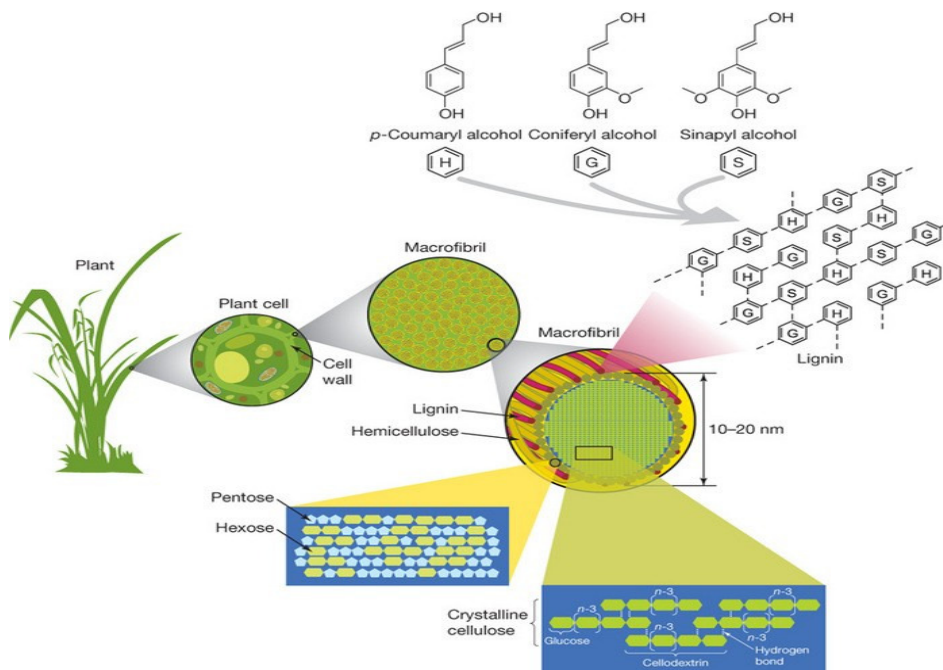


Εικ.31 Αποικιακό μικροφύκη *Botryococcus braunii*

Πηγή:

<https://images.app.goo.gl/8fq4d5Z9ZdL2n1dz8>

4.2 Η λιγνοκυτταρινική βιομάζα ως πηγή παραγωγής βιοκαυσίμων.



Εικ.32 Δομή της λιγνοκυτταρίνης Πηγή: <https://images.app.goo.gl/N3nJ1nVCT9Umq9FK7>

Οι Sindhu et al. (2016), στο άρθρο τους *Biological pretreatment of lignocellulosic biomass* αναφέρουν ότι η λιγνοκυτταρινική βιομάζα χρησιμεύει ως πιθανή πηγή παραγωγής βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς. Δεδομένου ότι η λιγνοκυτταρινική βιομάζα αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη, πρέπει να πραγματοποιείται κάποιο είδος προεπεξεργασίας για την απομάκρυνση των ημικυτταρινών και της λιγνίνης που συνδέονται με ομοιοπολικές διασταυρώσεις και μη ομοιοπολικές δυνάμεις. Η παρουσία υψηλού επιπέδου κυτταρίνης και ημικυτταρίνης στη λιγνοκυτταρινική βιομάζα είναι το κύριο πλεονέκτημα για τη χρήση τους για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Ένα άλλο κύριο πλεονέκτημα της λιγνοκυτταρινικής βιομάζας είναι η πλεονάζουσα διαθεσιμότητά τους και το σχετικά χαμηλό κόστος τους, καθώς και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Δεν ανταγωνίζεται την παραγωγή τροφίμων ή ζωοτροφών.

Κυτταρίνη

Η κυτταρίνη είναι το κύριο συστατικό του τοιχώματος των φυτικών κυττάρων που παρέχει δομική υποστήριξη και υπάρχει επίσης σε βακτήρια, μύκητες και φύκια. Όταν υπάρχει ως μη διακλαδισμένο, ομοπολυμερές, η κυτταρίνη είναι πολυμερές των τμημάτων β-D-γλυκοπυρανόζης που συνδέονται μέσω β-(1,4) γλυκοσιδικών δεσμών με καλά τεκμηριωμένα πολύμορφα. Ο βαθμός πολυμερισμού των αλυσίδων κυτταρίνης στη φύση κυμαίνεται από

10.000 μονάδες γλυκοπυρανόζης σε ξύλο έως 15.000 σε εγγενές βαμβάκι. Η επαναλαμβανόμενη μονάδα της αλυσίδας κυτταρίνης είναι η δισακχαριτική κυτταρίτιδα που αντιτίθεται στη γλυκόζη σε άλλα πολυμερή γλυκάνης (Desvaux 2005; Fengel και Wegener 1984). Οι αλυσίδες κυτταρίνης (20–300) είναι ομαδοποιημένες για να σχηματίσουν μικροΐνες, οι οποίες ομαδοποιούνται για να σχηματίσουν κυτταρίνη. Οι μικροΐνες κυτταρίνης είναι ως επί το πλείστον ανεξάρτητες, αλλά η υπερκατασκευή της κυτταρίνης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην παρουσία ομοιοπολικών δεσμών, δεσμών υδρογόνου και δυνάμεων Van der Waals. Η σύνδεση υδρογόνου μέσα σε μια μικροΐνη κυτταρίνης καθορίζει την «ευθύτητα» της αλυσίδας, αλλά οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ αλυσίδων ενδέχεται να εισαγάγουν τάξη (κρυσταλλική) ή διαταραχή (άμορφη) στη δομή της κυτταρίνης (Laureano-Perez et al. 2005).

Ημικυτταρίνη

Η ημικυτταρίνη είναι το δεύτερο πιο άφθονο πολυμερές (20-50% της βιομάζας λιγνοκυτταρίνης) και διαφέρει από την κυτταρίνη καθώς δεν είναι χημικά ομοιογενές. Οι ημικυτταρίνες είναι διακλαδισμένες, ετερογενή πολυμερή πεντόζων (ξυλόζη, αραβινόζη), εξάγωνες (μαννόζη, γλυκόζη, γαλακτόζη) και ακετυλιωμένα σάκχαρα. Έχουν χαμηλότερο μοριακό βάρος σε σύγκριση με την κυτταρίνη και τα κλαδιά με μικρές πλευρικές αλυσίδες που υδρολύονται εύκολα.

Μεταξύ των βασικών συστατικών της λιγνοκυτταρίνης, οι ημικυτταρίνη είναι οι πιο θερμοχημικά ευαίσθητες. Οι ημικυτταρίνες εντός των τοιχωμάτων των φυτικών κυττάρων πιστεύεται ότι «επικαλύπτουν» τα ινίδια κυτταρίνης και έχει προταθεί ότι τουλάχιστον το 50% της ημικυτταρίνης πρέπει να αφαιρεθεί για να αυξηθεί η πεπτικότητα της κυτταρίνης. Ωστόσο, οι παράμετροι σοβαρότητας πρέπει να βελτιστοποιηθούν προσεκτικά ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός προϊόντων αποικοδόμησης της ημικυτταρίνης, όπως φουρφουράλες και υδροξυμεθυλοφουρφουράλη, τα οποία έχουν αναφερθεί ότι αναστέλλουν τη διαδικασία ζύμωσης. Για το λόγο αυτό, οι συνθήκες σοβαρότητας της προεπεξεργασίας είναι συνήθως ένας συμβιβασμός για τη μεγιστοποίηση της ανάκτησης σακχάρου και ανάλογα με το είδος της μεθόδου προεπεξεργασίας που χρησιμοποιείται η ημικυτταρίνη θα μπορούσε να ληφθεί είτε ως στερεό κλάσμα είτε ως συνδυασμός τόσο των στερεών όσο και υγρών κλασμάτων.

Λιγνίνη

Η λιγνίνη είναι το τρίτο πιο άφθονο πολυμερές στη φύση. Υπάρχει στα τοιχώματα των φυτικών κυττάρων και παρέχει μια άκαμπτη, αδιαπέραστη, αντοχή σε μικροβιακή επίθεση και οξειδωτικές στρες. Η λιγνίνη είναι ένα άμορφο δίκτυο μονάδων φαινυλοπολυμερούς προπανίου(p-coumaryl, coniferyl και sinaryl alcohol) που συγκρατείται από διαφορετικούς δεσμούς (Hendricks και Zeeman 2009). Η λιγνίνη είναι γενικά αποδεκτή ως η «κόλλα» που συνδέει τα διάφορα συστατικά της λιγνοκυτταρικής βιομάζας μαζί, καθιστώντας την έτσι αδιάλυτη στο νερό. Λόγω της στενής σχέσης της με τις μικροΐνες κυτταρίνης, η λιγνίνη έχει αναγνωριστεί ως σημαντικό αποτρεπτικό μέσο για την ενζυμική και μικροβιακή υδρόλυση της λιγνοκυτταρικής βιομάζας (Avgerinos και Wang 1983). Οι Chang και Holtzapple 2000 στο βιβλίο τους *Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity* έδειξαν ότι η πεπτικότητα της βιομάζας ενισχύεται με την αύξηση της αφαίρεσης λιγνίνης. Εκτός από το ότι αποτελούν φυσικό φραγμό, οι επιβλαβείς επιδράσεις της λιγνίνης περιλαμβάνουν:

- i) την προσρόφηση υδρολυτικών ενζύμων σε "κολλώδη" λιγνίνη,
- ii) παρεμβολή και μη παραγωγική δέσμευση κυτταρολυτικών ενζύμων σε σύμπλοκα λιγνίνης-υδατανθράκων
- iii) τοξικότητα παραγώγων λιγνίνης σε μικροοργανισμούς.

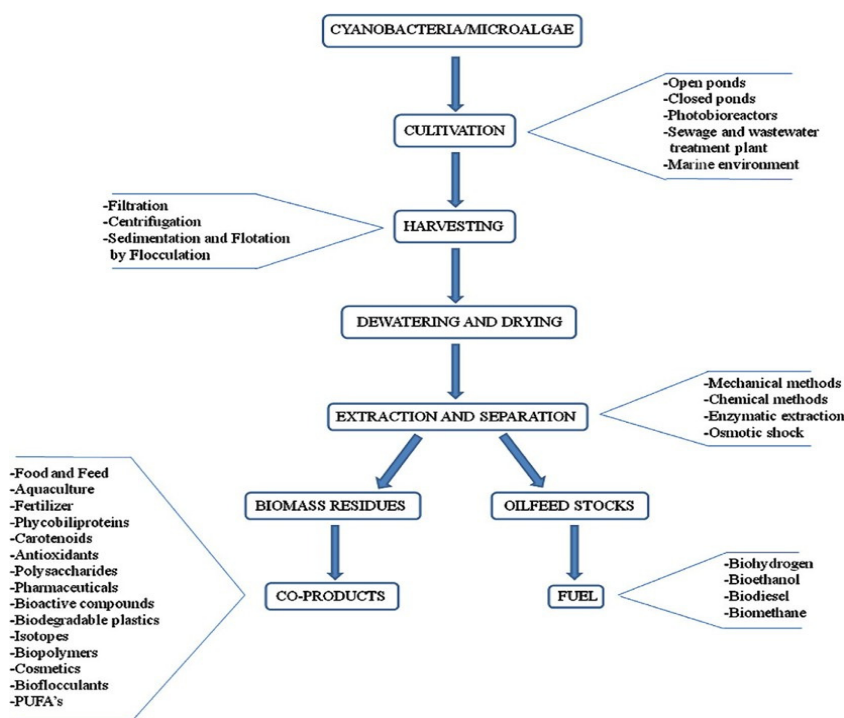
Οι Agbor et al. (2011), αναφέρουν ότι οι διαφορετικές πρώτες ύλες περιέχουν διαφορετική ποσότητα λιγνίνης που πρέπει να αφαιρεθεί μέσω προεπεξεργασίας για την ενίσχυση της πεπτικότητας της βιομάζας. Η λιγνίνη πιστεύεται ότι λιώνει κατά τη διάρκεια της προεπεξεργασίας και ενώνεται κατά την ψύξη έτσι ώστε να μεταβάλλονται οι ιδιότητές της. Μπορεί στη συνέχεια να κατακρημνιστεί. Το σύστημα Deligni (εκχύλιση λιγνίνης από χημικές ουσίες) προκαλεί οίδημα βιομάζας, διαταραχή της δομής της λιγνίνης, αυξήσεις στην εσωτερική επιφάνεια και αυξημένη προσβασιμότητα των κυτταρολυτικών ενζύμων στις φιάλες κυτταρίνης. Αν και δεν οδηγούν όλες οι προεπεξεργασίες σε σημαντική ανάλυση, η δομή της λιγνίνης μπορεί να μεταβληθεί χωρίς εκχύλιση λόγω αλλαγών στις χημικές ιδιότητές της. Η προεπεξεργασία βιομάζας γίνεται πιο εύπεπτη από την ακατέργαστη βιομάζα, παρόλο που μπορεί να έχει περίπου την ίδια περιεκτικότητα σε λιγνίνη με τη μη προεπεξεργασμένη βιομάζα.

4.3 Η παραγωγή βιοκαυσίμων με πρώτες ύλες τα Μικροφύκη και τα Κυανοβακτήρια.

Οι Parmar et al. (2011), αναφέρουν πως η έρευνα για τα βιοκαύσιμα δεν είναι μόνο θέμα εύρεσης του σωστού τύπου βιομάζας και μετατροπής της σε καύσιμα, αλλά πρέπει επίσης να βρει ορθές περιβαλλοντικές και οικονομικές χρήσεις για τα υποπροϊόντα της παραγωγής βιοκαυσίμων. Τα βιοκαύσιμα στοχεύουν σε μια πολύ μεγαλύτερη αγορά καυσίμων και, ως εκτού, στο μέλλον θα διαδραματίζουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στη διατήρηση της ενεργειακής ασφάλειας. Οι περισσότερες επιλογές βιοενέργειας αποτυγχάνουν και στις δύο μετρήσεις όμως αρκετές επιλογές που βασίζονται σε μικροοργανισμούς έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χωρίς διαταραχές. Τα κυανοβακτήρια και οι ανώτερες δυνατότητες φωτοσύνθεσης μπορούν να μετατρέψουν έως και το 10% της ηλιακής ενέργειας σε βιομάζα, σε σύγκριση με το 1% που καταγράφεται από συμβατικές ενεργειακές καλλιέργειες όπως καλαμπόκι ή ζαχαροκάλαμο, ή το 5% που επιτυγχάνεται από τα φύκια. Φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί όπως τα κυανοβακτήρια και τα μικροφύκη μπορούν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων με οικονομικά αποτελεσματικό και περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο και με ρυθμούς αρκετά υψηλούς ώστε να αντικαταστήσουν ένα επουσιώδες κλάσμα της χρήσης ορυκτών καυσίμων από την κοινωνία μας (Li et al. 2008).

Τα κυανοβακτήρια είναι οξυγονωτικά φωτοσυνθετικά βακτήρια που έχουν σημαντικούς ρόλους στην παγκόσμια βιολογική δέσμευση άνθρακα, την παραγωγή οξυγόνου και τον κύκλο του αζώτου. Τα κυανοβακτήρια μπορούν να αναπτυχθούν ως ένα εξαιρετικό εργοστάσιο μικροβιακών κυττάρων που μπορεί να συλλέξει ηλιακή ενέργεια και να μετατρέψει το ατμοσφαιρικό CO₂ σε χρήσιμα προϊόντα. Απολιθώματα κυανοβακτηρίων ισχυρίζονται ότι έχουν βρεθεί από περίπου 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, και πιθανότατα διαδραμάτισαν βασικό ρόλο στο σχηματισμό ατμοσφαιρικού οξυγόνου και πιστεύεται ότι έχουν εξελιχθεί σε σημερινούς χλωροπλάστες φυκών και πράσινων φυτών (Tamagnini et al. 2007). Τα κυανοβακτήρια, επίσης γνωστά ως μπλε-πράσινα φύκια, παρουσιάζουν ποικιλομορφία στο μεταβολισμό και τη δομή μαζί με τη μορφολογία και τον οικότοπο. Επιπλέον, τα κυανοβακτήρια και τα μικροφύκη έχουν απλές απαιτήσεις ανάπτυξης και χρησιμοποιούν αποτελεσματικά το φως, το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα ανόργανα θρεπτικά συστατικά. Τα κυανοβακτήρια και τα μικροφύκη είναι οι μόνοι οργανισμοί που είναι γνωστοί μέχρι στιγμής και είναι ικανοί τόσο για οξυγονωτική φωτοσύνθεση όσο και για παραγωγή υδρογόνου. Η φωτο-βιολογική παραγωγή του H₂ από μικροοργανισμούς παρουσιάζει μεγάλο δημόσιο ενδιαφέρον, διότι υπόσχεται έναν φορέα ανανεώσιμης ενέργειας από τους πιο άφθονους πόρους της φύσης: την ηλιακή ενέργεια και το νερό. Έχουν διερευνηθεί για την παραγωγή διαφορετικών αποθεμάτων ζωοτροφών για την παραγωγή ενέργειας όπως το

υδρογόνο (με άμεση σύνθεση σε κυανοβακτήρια), λιπίδια για την παραγωγή βιοντίζελ και καυσίμων αεριωθούμενων αεροπλάνων, υδρογονάνθρακες και ισοπρενοειδή για την παραγωγή βενζίνης και υδατάνθρακες για την παραγωγή αιθανόλης. Πέρα από αυτό, η πλήρης βιομάζα φυκιών μπορεί επίσης να υποβληθεί σε επεξεργασία για παραγωγή syngas ακολουθούμενη ή όχι από μια διαδικασία fischer-tropsch (συλλογή χημικών αντιδράσεων, όπου το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο, μετατρέπονται σε υγρούς υδρογονάνθρακες), υδροθερμική αεριοποίηση για την παραγωγή υδρογόνου ή μεθανίου, παραγωγή μεθανίου με αναερόβια χώνευση και συν-καύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, τα κυανοβακτηριακά και μικροφυκτικά συστήματα θα μπορούσαν να συμβάλουν σε μια βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας. Ωστόσο, πρέπει να ξεπεραστούν οι διαφορετικές βιοτεχνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές προκλήσεις προτού μπορέσουν να εισέλθουν στην αγορά ενεργειακά προϊόντα από αυτά τα συστήματα.



Εικ.33 Σχήμα διαγράμματος ροής που αντιπροσωπεύει την καλλιέργεια, την κατάντη επεξεργασία και την παραγωγή βιοκαυσίμων μαζί με τα παραπροϊόντων κυανοβακτηρίων και μικροφυκών. Πηγή: Parmar, A., Singh, N. K., Pandey, A., Gnansounou, E., και Madamwar, D. (2011). Cyanobacteria and microalgae: a positive prospect for biofuels. *Bioresource technology*, 102(22), 10163-10172.

4.3.1 Η ευκαιρία των κυανοβακτηρίων και μικροφυκών προς βιοκαύσιμα

Το συνολικό σύστημα παραγωγής βιοκαυσίμων περιλαμβάνει την ανάπτυξη πρωτογενούς βιομάζας και την επεξεργασία βιομάζας. Έρευνα τις τελευταίες έξι δεκαετίες έχει δείξει ότι τα κυανοβακτήρια και τα φύκια παράγουν μια ποικιλία χημικών ενδιάμεσων προϊόντων και υδρογονανθράκων, πρόδρομων αγωγών για τα βιοκαύσιμα (Parmar et al. 2011). Ως εκ τούτου, τα κυανοβακτήρια προς καύσιμα προσφέρουν υπόσχεση ως δυνητικό υποκατάστατο των προϊόντων που προέρχονται επί του παρόντος από ορυκτά καύσιμα.

Η κυανοβακτηριακή βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως πηγή τροφής ή διάφορες πρώτες ύλες. Μπορούν να ληφθούν διάφορα σημαντικά βιομόρια όπως αντιοξειδωτικά, χρωστικές ουσίες, φαρμακευτικά προϊόντα και βιοδραστικές ενώσεις. Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιομεθάνιο (βιοαέριο) σε αναερόβια πέψη. Το κυανοβακτηριακό φωτοσυνθετικό σύστημα είναι σε θέση να αποκλίνει τα ηλεκτρόνια που αναδύονται από δύο πρωτογενείς αντιδράσεις, απευθείας στην παραγωγή του H_2 . Ο κύκλος Calvin οδηγεί στην παραγωγή υδατανθράκων, πρωτεϊνών, λιπιδίων και λιπαρών οξέων. Οι υδατάνθρακες μπορούν να μετατραπούν σε βιοαιθανόλη με ζύμωση. Τα λιπίδια μπορούν να μετατραπούν σε βιοντίζελ. Τα λιπαρά οξέα σε ζύμωση σχηματίζουν οξικό, βουτυρικό και προπιονικό που κατά την σταθεροποίηση σχηματίζουν μεθάνιο, υδρογόνο και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια.

4.3.2 Βιοκαύσιμα από κυανοβακτήρια και μικροφύκη

Βιοϋδρογόνο

Το αέριο υδρογόνο θεωρείται μελλοντικός φορέας ενέργειας λόγω του γεγονότος ότι είναι ανανεώσιμο, δεν εξελίσσει το «αέριο θερμοκηπίου» CO_2 στην καύση, απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας ανά μονάδα βάρους στην καύση. Η βιολογική παραγωγή υδρογόνου έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της παραγωγής υδρογόνου με φωτοηλεκτρικές ή θερμοχημικές διεργασίες. Η βιολογική παραγωγή υδρογόνου από φωτοσυνθετικούς μικροοργανισμούς, για παράδειγμα, απαιτεί τη χρήση ενός απλού ηλιακού αντιδραστήρα, όπως ένα διαφανές κλειστό κουτί, με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, ενώ η παραγωγή ηλεκτροχημικού υδρογόνου μέσω ηλιακής διάσπασης νερού που βασίζεται σε μπαταρίες από την άλλη πλευρά, απαιτεί τη χρήση ηλιακών μπαταριών με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Τα κυανοβακτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μοριακού υδρογόνου (H_2), ενός πιθανού μελλοντικού φορέα ενέργειας, έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών αναθεωρήσεων (Levin et al. 2004;

Sakurai και Masukawa, 2007; Tamagnini et al. 2007). Τα κυανοβακτήρια είναι σε θέση να αποκλίνουν τα ηλεκτρόνια που αναδύονται από τις δύο πρωτογενείς αντιδράσεις της οξυγονικής φωτοσύνθεσης απευθείας στην παραγωγή του H₂, καθιστώντας τα ελκυστικά για την παραγωγή ανανεώσιμου H₂ από ηλιακή ενέργεια και νερό. Στα κυανοβακτήρια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο φυσικές οδοί για την παραγωγή H₂: πρώτον, H₂-παραγωγή ως υποπροϊόν κατά τη στερέωση αζώτου από νιτρογενάσες και δεύτερον, H₂-παραγωγή απευθείας με αμφίδρομη υδρογενάση (ένζυμο που καταλύει την αναστρέψιμη οξείδωση του H₂)(Angermayr et al. 2009). Οι νιτρογενάσες απαιτούν ATP, ενώ οι αμφίδρομες υδρογονάσες δεν απαιτούν ATP για την παραγωγή H₂, καθιστώντας τις ως εκ τούτου πιο αποτελεσματικές και ευνοϊκές για την παραγωγή H₂ με πολύ υψηλότερο κύκλο εργασιών.

Βιοαιθανόλη

Η διαδικασία θα εξαλείψει ουσιαστικά την ανάγκη διαχωρισμού της βιομάζας από το νερό και εξαγωγής και επεξεργασίας των ελαίων. Ο καθηγητής R. Malcolm Brown Jr. και ο Dr. David Nobles Jr. στο άρθρο τους *Production and secretion of glucose in photosynthetic prokaryotes (Cyanobacteria)* δήλωσαν ότι «το κυανοβακτήριο είναι δυνητικά μια πολύ φθηνή πηγή σακχάρων για χρήση προς την αιθανόλη» και υπέθεσαν ότι θα μπορούσαν να παράγουν ίση ποσότητα αιθανόλης χρησιμοποιώντας μια έκταση μισού μεγέθους με βάση τα κυανοβακτήρια σχετικά με τα τρέχοντα επίπεδα παραγωγικότητας στο εργαστήριο, αλλά προειδοποιούν ότι υπάρχει πολλή δουλειά μπροστά προτού τα κυανοβακτηρίδια μπορούν να παρέχουν τέτοια καύσιμα στον τομέα. Η εργασία με φωτοβιοαναδραστικές εργαστηριακής κλίμακας έχει δείξει τη δυνατότητα 17πλάσιας αύξησης της παραγωγικότητας. Αλλά αυτό θα είναι σημαντικό μόνο εάν μπορεί να επιτευχθεί επί τόπου και σε μεγάλη κλίμακα.

Βιομεθάνιο

Οργανικό υλικό όπως η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας πέψης και ζύμωσης (Hankamer et al. 2007). Τα βιολογικά βιοπολυμερή (π.χ. υδατάνθρακες, λιπίδια και πρωτεΐνες) υδρολύονται και διασπώνται σε μονομερή, τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε αέριο πλούσιο σε μεθάνιο μέσω ζύμωσης. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το δεύτερο κύριο συστατικό που βρίσκεται στο βιοαέριο (περίπου 25- 50%) και, όπως και άλλες παρεμβαλλόμενες ακαθαρσίες, πρέπει να αφαιρεθούν πριν από τη χρήση του μεθανίου (Hankamer et al. 2007). Το μεθάνιο με τη μορφή συμπιεσμένου φυσικού αερίου χρησιμοποιείται ως καύσιμο οχήματος και φέρεται να είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον από

τα ορυκτά καύσιμα, όπως η βενζίνη και το ντίζελ. Οι Converti et al. (2009), αναφέρθηκαν στην παραγωγή βιοαερίου και στον καθαρισμό από ένα βιολογικό σύστημα δύο βημάτων σε κλίμακα πάγκου, το οποίο αποτελείται από αναερόβια χώνευση αναερόβιας τροφοδοσίας με παλμό, ακολουθούμενη από εμπλουτισμό μεθανίου βιοαερίου με τη χρήση του κυανοβακτηρίου *Arthrospira platensis*. Η σύνθεση του βιοαερίου ήταν σχεδόν σταθερή και ταποσοστά μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα κυμαίνονταν μεταξύ 70,5-76,0% και 13,2- 19,5%, αντίστοιχα. Τα στοιχεία της απομάκρυνσης διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο αποκάλυψαν την ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ των ρυθμών ανάπτυξης της *A. platensis* και της απομάκρυνσης διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο και επέτρεψαν τον υπολογισμό της απόδοσης χρήσης άνθρακα για την παραγωγή βιομάζας σχεδόν 95% (Converti et al. 2009). Η Chynoweth (2005) στο άρθρο της *Renewable biomethane from land and ocean energy crops and organic wastes* ανέφερε ότι η *Laminaria sp.* παράγει απόδοση μεθανίου 0,26-0,28 m³ kg⁻¹. Οι Otsuka και Yoshino (2004) χρησιμοποίησαν σταθερή θερμοκρασία (μεσοφιλική) για αναερόβια πέψη του *Ulva sp.* και βρήκαν 180 ml/g απόδοσης μεθανίου.

Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ παράγεται συνήθως από ελαιώδεις καλλιέργειες, όπως κραιβόσπορο, σόγια, ηλίανθο και από φοίνικα, με μονο-αλκοολική διεστεροποίηση, στην οποία τα τριγλυκερίδια αντιδρούν με μια μονο-αλκοόλη (συνηθέστερα μεθανόλη ή αιθανόλη) με την κατάλυση ενζύμων (Hankamer et al. 2007; Li et al. 2008). Ωστόσο, η χρήση μικροφυκών και κυανοβακτηρίων μπορεί να είναι μια κατάλληλη εναλλακτική λύση, επειδή τα φύκια είναι ο πιο αποτελεσματικός βιολογικός παραγωγός πετρελαίου στον πλανήτη και μια ευέλικτη πηγή βιομάζας και μπορεί σύντομα να είναι μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες ανανεώσιμων καυσίμων της Γης (Liet al. 2008). Το βιοντίζελ από τα φωτοσυνθετικά φύκια που αναπτύσσονται με CO₂ έχει μεγάλες δυνατότητες ως βιοκαύσιμο. Αυτοί οι οργανισμοί θεωρούνται σοβαρά ως υποκατάστατο των φυτικών ελαίων για την παραγωγή βιοντίζελ. Η παραγωγή βιοντίζελ από φύκια παρέχει την υψηλότερη καθαρή ενέργεια, επειδή η μετατροπή του φυτικού ελαίου σε βιοντίζελ είναι λιγότερο ενεργοβόρα από τις μεθόδους μετατροπής σε άλλα καύσιμα. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει κάνει το βιοντίζελ το αγαπημένο τελικό προϊόν από φύκια. Η παραγωγή βιοντίζελ από φύκια απαιτεί την επιλογή στελεχών υψηλής περιεκτικότητας σε λάδι και την επινέση οικονομικά αποδοτικών μεθόδων συγκομιδής, εξόρυξης πετρελαίου και μετατροπής του πετρελαίου σε βιοντίζελ.

4.3.3 Γενετική μηχανική κυανοβακτηρίων και μικροφυκών

Μεταξύ των περίπου 10.000 ειδών φυκιών που πιστεύεται ότι υπάρχουν, μόνο μερικές χιλιάδες φυλάσσονται σε συλλογές, μερικές εκατοντάδες διερευνώνται για χημική περιεκτικότητα και μόνο ελάχιστα καλλιεργούνται σε βιομηχανικές ποσότητες (Spolaore et al. 2006). Αν και μερικά από αυτά τα φύκια καλλιεργούνται εμπορικά για μεγάλο χρονικό διάστημα, η μεταβολική μηχανική αυτών των φυκών φαίνεται τώρα απαραίτητη για την ενίσχυση της παραγωγικότητας, την επίτευξη των πλήρων δυνατοτήτων επεξεργασίας τους και τη βελτίωσή τους για καλλιέργεια και συγκομιδή.

Στις μεγάλης κλίμακας καλλιέργεια γενετικά τροποποιημένων στελεχών φυκών, οι κίνδυνοι διαφυγής και μόλυνσης του περιβάλλοντος και διέλευσης με αυτόχθονα στελέχη είναι υπαρκτοί. Επιπλέον, το τροποποιημένο στέλεχος θα μπορούσε να μεταφερθεί στον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις και να επιβιώσει από μια ποικιλία σκληρών συνθηκών σε αδρανές στάδιο. Έτσι, η καλλιέργεια γενετικά τροποποιημένων στελεχών μπορεί να έχει ακούσιες συνέπειες για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Οι ανησυχίες αυτές πρέπει να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό συστημάτων παραγωγής μεγάλης κλίμακας που λειτουργούν με τροποποιημένες καλλιέργειες. Ωστόσο, η ανάπτυξη μιας σειράς διαγονιδιακών στελεχών φυκιών που διαθέτουν ανασυνδυασμένη πρωτεϊνική έκφραση, μηχανική φωτοσύνθεση (χρήση τεχνικών γενετικής μηχανικής, επιδρώντας στην φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών) και ενισχυμένο μεταβολισμό, ενθαρρύνουν τις προοπτικές των κατασκευασμένων μικροφυκών, όπως αναφέρει οι Rosenberg et al. (2008).

4.4 Βιωσιμότητα της παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη.

Οι Medipally et al. (2015), αναγνωρίζουν τα μικροφύκη ως βιώσιμη ανανεώσιμη ενέργεια και πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Τα βιοκαύσιμα μικροφυκών που ανήκουν στον τύπο τρίτης γενιάς, τα οποία θεωρούνται εναλλακτική πηγή ενέργειας για τα ορυκτά καύσιμα χωρίς τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τα βιοκαύσιμα πρώτης και δεύτερης γενιάς. Γενικότερα, τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς προέρχονται από φυτικά φυτά, όπως σόγια, καλαμπόκι, αραβόσιτο, ζαχαρότευτλα και ζαχαροκάλαμο· φοινικέλαιο, κραμβέλαιο, φυτικά έλαια και ζωικά λίπη. Αυτοί οι τύποι βιοκαυσίμων έχουν δημιουργήσει πολλές διαφωνίες λόγω των αρνητικών επιπτώσεών τους στην επισιτιστική ασφάλεια, τις παγκόσμιες αγορές

τροφίμων, την λειψυδρία και την αποψίλωση των δασών. Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς που προέρχονται από μη βρώσιμα έλαια (*Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata*, *Simarouba glauca* κ.λπ.), βιομάζα λιγνοκυτταρίνης και υπολείμματα δασών επαναλαμβάνουν τεράστιες εκτάσεις γης διαφορετικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τροφίμων. Η παραγωγή βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς στερείται επίσης αποδοτικών τεχνολογιών για την εμπορική εκμετάλλευση αποβλήτων ως πηγή παραγωγής βιοκαυσίμων. Με βάση τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα που συνδέονται με τα βιοκαύσιμα πρώτης και δεύτερης γενιάς, τα βιοκαύσιμα μικροφυκών φαίνεται να αποτελούν βιώσιμη εναλλακτική πηγή ενέργειας για την αντικατάσταση ή τη συμπλήρωση των ορυκτών καυσίμων.

Διάφορα είδη μικροφυκών, όπως *botryococcus braunii*, *Nannochloropsis* sp., *Dunaliella primolecta*, *Chlorella* sp., και *Cryptocodinium cohnii*, παράγουν μεγάλες ποσότητες υδρογονανθράκων και λιπιδίων. Το *Botryococcus braunii*, το αποικιακό πράσινο μικροφύκη, έχει τη δυνατότητα να παράγει μεγάλο αριθμό υδρογονανθράκων σε σύγκριση με τη βιομάζα του και συνθέτει επίσης άλλες εμπορικά σημαντικές ενώσεις όπως τα καροτενοειδή και οι πολυσακχαρίτες. Το επίπεδο παραγωγής της περιεκτικότητας σε λάδι σε είδη μικροφυκών φτάνει έως και το 80% και τα επίπεδα από 20 έως 50% είναι αρκετά κοινά. Το *microalga Chlorella* έχει έως και 50% λιπίδια και το *B. braunii* παράγει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε λάδι περίπου 80%.

Πίνακας2: Σύγκριση της περιεκτικότητας σε λάδι, της απόδοσης λαδιού και της παραγωγικότητας των μικροφυκών βιοντίζελ με την πρώτη και τη δεύτερη πηγή πρώτων υλών βιοντίζελ. Πηγή: Medipally, S. R., Yusoff, F. M., Banerjee, S., και Shariff, M. (2015). *Microalgae as sustainable renewable energy feedstock for biofuel production. BioMed research international. 2015.*

Πηγή πρώτων υλών	Περιεκτικότητα σε λάδι (% έλαιο ανά wt. στη βιομάζα)	Απόδοση λαδιού (λάδι σε λίτρα/εκτάριο/έτος)	Παραγωγικότητα βιοντίζελ (kg /ha/έτος)
Φοινικέλαιο	36	5366	4747
Αραβόσιτος	44	172	152
Φυσικό καρύδι	41–59	741	656
Καστορέλαιο	48	1307	1156
Μικροφύκη με χαμηλή περιεκτικότητα σε λάδι	30	58,700	51,927
Μικροφύκη με μέτρια περιεκτικότητα σε λάδι	50	97,800	86,515
Μικροφύκη με υψηλή περιεκτικότητα σε λάδι	70	136,900	121,104

Η παραγωγή βιοκαυσίμων μικροφυκών είναι εμπορικά βιώσιμη επειδή είναι ανταγωνιστική ως προς το κόστος με τα ορυκτά καύσιμα, δεν απαιτεί επιπλέον εδάφη, βελτιώνει την ποιότητα του αέρα απορροφώντας ατμοσφαιρικό CO₂ και χρησιμοποιεί ελάχιστο νερό. Ωστόσο, τα βιοκαύσιμα μικροφυκών έχουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η χαμηλή παραγωγή βιομάζας, η χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπίδια στα κύτταρα και το μικρό μέγεθος των κυττάρων που καθιστούν τη διαδικασία συγκομιδής πολύ δαπανηρή.

Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να ξεπεραστούν με τη βελτίωση των τεχνολογιών συγκομιδής, ξήρανσης και γενετικής μηχανικής των μεταβολικών οδών για υψηλό ρυθμό ανάπτυξης και αυξημένη περιεκτικότητα σε λιπίδια. Η αρχική αξιολόγηση των μικροφυκών ως δυνητικής πηγής παραγωγής βιοκαυσίμων άρχισε το 1970, αλλά τέθηκε προσωρινά στο ράφι λόγω τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων. Αργότερα, μεταγενέστερες μελέτες από το 1980 και μετά έδειξαν υψηλό δυναμικό στην παραγωγή βιοκαυσίμων μικροφυκών.

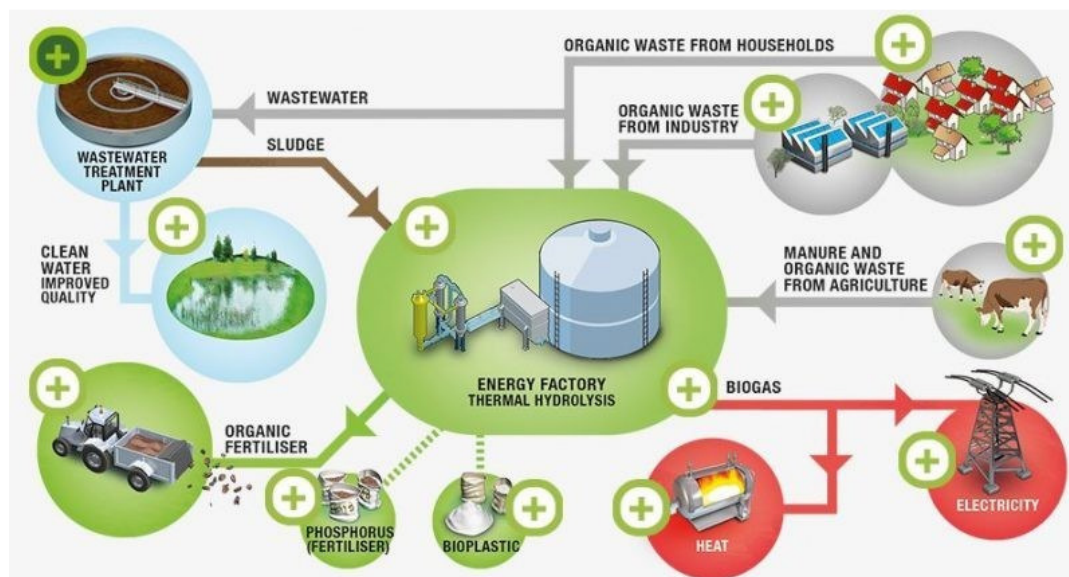
4.5 Περιορισμοί της παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη

Εκτός από πολλά πλεονεκτήματα, τα βιοκαύσιμα μικροφυκών έχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Οι κύριοι περιορισμοί που εμπλέκονται στην παραγωγή βιοκαυσίμων μικροφυκών είναι η χαμηλή συγκέντρωση βιομάζας στην καλλιέργεια και η χαμηλή περιεκτικότητα σε πετρέλαιο. Επιπλέον, το μικρό μέγεθος των κυττάρων μικροφυκών καθιστά τη διαδικασία συγκομιδής αρκετά δαπανηρή. Η συγκομιδή και ξήρανση βιομάζας μικροφυκών από μεγάλο όγκο ύδατος είναι μια διαδικασία που καταναλώνει ενέργεια. Σε σύγκριση με τη συμβατική γεωργική πρακτική, η γεωργία μικροφυκών είναι πιο δαπανηρή και περίπλοκη. Αυτές οι δυσκολίες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν ή να ξεπεραστούν από τη βελτίωση της τεχνολογίας συγκομιδής. Ορισμένες από τις οικονομικά αποδοτικές τεχνολογικές στρατηγικές που ακολουθούνται για την ανάπτυξη της παραγωγής βιοκαυσίμων από μικροφύκη είναι οι εξής:

1. Η ανάπτυξη στρατηγικής βιοδιύλισης ή συμπαραγωγής.
2. Ο σχεδιασμός φωτοβιοαντιδραστήρων υψηλής αποδοτικότητας στην φωτοσύνθεση.
3. Η ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών για τη συλλογή και ξήρανση βιομάζας.
4. Η ανάπτυξη τεχνολογίας γενετικής μηχανικής για την τροποποίηση των μεταβολικών οδών για την παραγωγή βιομάζας και λιπιδίων μικροφυκών.

5. Κατανόηση των συμβιωτικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μικροφυκών και βακτηρίων που επηρεάζουν επίσης την παραγωγή βιομάζας και λιπιδίων σε μικροφύκη.

4.6 Βιοδιύλιστήριο



Εικ.34 Γεωργία και Βιοδιύλιστήριο Πηγή: <https://images.app.goo.gl/P3Azv8KTgSxdysgy8>

Η έννοια του βιοδιύλιστηρίου είναι η βέλτιστη χρήση όλων των διαφορετικών φυτικών ενώσεων. Στην έννοια αυτή, η βέλτιστη χρήση της βιομάζας είναι ο πρωταρχικός στόχος και όχι η παραγωγή ενέργειας. Οι τεχνικές επιλογής πρώτων υλών, εφοδιαστικής και οι τεχνικές βιοεπεξεργασίας χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση της αξίας των διαθέσιμων λειτουργιών και της χρήσης βιομάζας (Liu et al. 2012).

Μετά από πολλά χρόνια παραγωγής βιολογικών χημικών προϊόντων που προέρχονται από λάδι (φυτικά έλαια), υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την έννοια του βιοδιύλιστηρίου που χρησιμοποιεί καύσιμα και χημικά προϊόντα που προέρχονται από τη βέλτιστη χρήση των τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων (Bridgwater, 2006). Σύμφωνα με τους Bessou et al. (2011), στο άρθρο *Biofuels, greenhouse gases and climate change, Sustainable Agriculture Volume2*, η ισχύς της έννοιας του βιοδιύλιστηρίου υποστηρίζεται από την οικονομία κλίμακας και από την αποτελεσματική χρήση των βιολογικών πόρων εισόδου.

Οι αλλαγές στους βασικούς βιομηχανικούς πόρους, από την ορυκτή ενέργεια έως τη βιομάζα, απαιτούν την ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων βιοδιύλιση που είναι ανάλογα με τα διυλιστήρια πετρελαίου και βασίζονται σε γεωργική ή δασική χρήση γης. Στην περίπτωση αυτή, η βιομάζα διαχωρίζεται σε διαφορετικά κλάσματα για την παραγωγή καυσίμων μεταφοράς, ηλεκτρικής ενέργειας και διαφόρων χημικών προϊόντων (Liu et al. 2012). Η ανάπτυξη βιοδιύλιση θα καθοριστεί με την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού βιομάζας χρησιμοποιώντας όλο το φάσμα των οργανικών μακρομορίων (υδατάνθρακες, έλαια, πρωτεΐνες και λιγνίνη) και άλλα χημικά συστατικά της βιομάζας, όπως αντιοξειδωτικά και χρωστικές ουσίες. Συνεπώς, η μεγιστοποίηση της χρήσης της βιομάζας θα οδηγήσει στη βελτίωση της οικονομικής διαδικασίας και θα ελαχιστοποιήσει τα απόβλητα, σύμφωνα με τον Hatti-Kaul, (2010) στο άρθρο «*Biorefineries—a path to sustainability?*». Η εκμετάλλευση καθενός από αυτά τα συστατικά στοιχεία θα μπορούσε να οδηγήσει στην παραγωγή πλήθους προϊόντων, από χαμηλή αγοραία αξία μεγάλου όγκου έως χαμηλή αξία υψηλής αγοραίας αξίας. Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν καταναλωτικά προϊόντα (π.χ. βιοκαύσιμα και βιοϋλικά, βασικά χημικά προϊόντα (π.χ. γαλακτικά και ηλεκτρικά οξέα) και εξειδικευμένα χημικά προϊόντα (π.χ. βιοεπιφανειοδραστικών, βιολογικά λιπαντικά και λεπτών χημικών ουσιών).

Σε γενικές γραμμές, η ιδανική πρώτη ύλη για το βιοδιύλιση είναι τα οργανικά απόβλητα, τα οποία συσσωρεύονται σε αφθονία και έχουν ελάχιστο ή καθόλου όφελος ή θρεπτική αξία. Αυτά τα οργανικά απόβλητα περιλαμβάνουν υπολείμματα καλλιεργειών γεωργικών τροφίμων που χρησιμοποιούνται ως τρόφιμα και ζωοτροφές, ξυλεία και ξυλώδη υπολείμματα, πολυετή χόρτα, ενεργειακές καλλιέργειες και δέντρα, φυτά (συμπεριλαμβανομένων των υδρόβιων φυτών), ζωικά απόβλητα, αστικά απόβλητα και λύματα από γεωργικά ή βιομηχανικά κατάλοιπα (Hatti-Kaul, 2010).

Ο βιοκαθαρισμός των καλλιεργειών σε πολλαπλά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας, των χημικών προϊόντων και των υλικών, θα αυξήσει τη συνολική αξία της βιομάζας. Το μέγιστο δυναμικό βιοδιύλιση θα επιτευχθεί μέσω εξελίξεων στη βιοτεχνολογία, τη γενετική των φυτών, τις τεχνολογίες, τις χημικές διεργασίες και τη μηχανική. Για τη βιωσιμότητα και για να αποφευχθεί η αύξηση των τιμών των πρώτων υλών, το μέλλον των βιοκαλλιεργητικών εγκαταστάσεων πρέπει να επικεντρωθεί σε ανανεώσιμες πηγές χαμηλότερης ποιότητας, όπως χόρτα, υπολείμματα συγκομιδής και υποπροϊόντα και απόβλητα από τη βιομηχανία τροφίμων, τα δάση και την κοινωνία (αστικά απόβλητα). Επιπλέον, η ανακύκλωση των αποβλήτων μπορεί να είναι απαραίτητη για μια πλήρως ουδέτερη ως προς τον άνθρακα διαδικασία (Hatti-Kaul, 2010).

Κεφάλαιο 5. Η συμβολή της γενετικής βελτίωσης στα βιοκαύσιμα.

5.1 Ο ρόλος της Βελτίωσης των φυτών

Η Βελτίωση φυτών χαρακτηρίζεται ως την Τέχνη και την Επιστήμη στον τομέα της γενετικής αναβάθμισης στα φυτά (Ξυνιάς, 2014). Η ύπαρξη της υφίσταται από τα πολύ παλιά χρόνια όπου οι άνθρωποι πρωτοξεκίνησαν να επιλέγουν ένα μοναδικό τύπο φυτού ή σπόρου, με αποτέλεσμα την αποφυγή της τυχαίας επιλογής από τους ήδη υπάρχοντες πόρους της φύσης. Η επιθυμία της επιλογής έχει ως στόχο την κάλυψη ορισμένων αναγκών του ανθρώπου. Κατά συνέπεια, φέρει σαν αποτέλεσμα την διαμόρφωση αυξημένου αριθμού καλλιεργούμενων τύπων μέσα σε κάθε είδος. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη μεγάλης ποικιλομορφίας όσον αφορά μέγεθος/χρώμα των σπόρων και των φυτών, τον χρόνο συγκομιδής, αλλά και το άρωμα τους.

Όσα χρόνια και αν έχουν περάσει από την απαρχή της Βελτίωσης των φυτών και την τεχνολογική πρόοδο, η επιθυμία οπτικής αναγνώρισης των επιθυμητών σπόρων/φυτών, συνεχίζεται να ένα σημαντικό προσόν του σύγχρονου βελτιωτή. Ωστόσο, πλέον είναι εφικτό να υπάρχουν πιο αποτελεσματικά προγράμματα στον τομέα της γενετικής βελτίωσης, λόγω της εξέλιξης των επιστημονικών γνώσεων και της τεχνογνωσίας. Η παρατήρηση και η μελέτη της κληρονομικότητας των χαρακτηριστικών, αφενός συμβάλλει στην δημιουργία γενετικής παραλλακτικότητας, αφετέρου διασφαλίζει την ορθή επιλογή των υπέρτερων ατόμων. Τέλος, η επιτυχής εξέλιξη της Βελτίωσης των φυτών, θα εξασφαλιστεί όσο θα προοδεύει η επιστημονική έρευνα στην γενετική βάση της συμπεριφοράς των φυτών.

Από την πλευρά της βελτίωσης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, η επιλογή έχει ως κύριο στόχο την αναβάθμιση τους, ώστε να συνεισφέρει στην οικονομική σημασία του φυτικού είδους. Το εμπορικό ενδιαφέρον μπορεί να παρθεί με την εκμετάλλευση των φύλλων του φυτού, τη ρίζα, τα άνθη, τον καρπό ή το σπόρο, ακόμα και το στέλεχος. Επίσης, η επιλογή έχει διάφορους στόχους, όπως την απευθείας βελτίωση του επιθυμητού τμήματος του φυτού, είτε για τα χαρακτηριστικά που ορίζουν την αξιοπιστία της παραγωγής, την δυνατότητα στο στάδιο της συγκομιδής και την διάθεση στην αγορά.

Η διαδικασία της γενετικής αναβάθμισης πολλών φυτικών ειδών που καλλιεργούνται, δίνει μεγάλη βαρύτητα στα εξής γνωρίσματα:

- Απόδοση/Παραγωγικότητα
- Ποιότητα ως ζωοτροφή
- Συστατικά του σπόρου
- Προσαρμοστικότητα στην εκμηχάνιση της παραγωγής
- Ανθεκτικότητα σε βιοτικούς παράγοντες
- Ανθεκτικότητα σε αβιοτικούς παράγοντες
- Ανθεκτικότητα στο πλάγιασμα
- Αντίδραση στη φωτοπερίοδο

5.2 Σύντομο ιστορικό γενετικής βελτίωσης

Πίνακας3: Η εξέλιξη της γενετικής βελτίωσης από τέχνη σε επιστήμη. Πηγή: Ξυνιάς, Ι. Ν. (2014). Βελτίωση φυτών: θεωρία & ασκήσεις, Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, Αθήνα.

Ενότητα πριν από τη Γέννηση του Χριστού	Ενότητα μετά από τη Γέννηση του Χριστού
9000: Οι αρχικές αποδείξεις της εξημέρωσης φυτών σε λόφους στον ποταμό Τίγρη	1600-1800: Διάστημα που χαρακτηρίζεται ως το ξεκίνημα της μετάβασης, της γενετικής Βελτίωσης από τέχνη σε επιστήμη.
5000: Η εμφάνιση αγροτικών κοινοτήτων στην περιοχή της Μεσοποταμίας.	1801-1900: Χαρακτηρίζεται ως τα έτη που σμιλεύτηκε η «νέα» επιστήμη.
4000: Οι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν τη ζύμη για την παρασκευή κρασιού και άρτου.	1901-1952: Χαρακτηρίζεται ως τα έτη που σμιλεύτηκε η «νέα» επιστήμη.
3000: Η ολοκληρωμένη εξημέρωση όλων των σημαντικών καλλιεργειών στον «Παλαιό Κόσμο».	1953-Σήμερα: Το διάστημα αυτό έγινε γνωστή η ανακάλυψη της δομής του DNA και οι σπουδαίες ικανότητες της Μοριακής Γενετικής στον τομέα της Βελτίωσης φυτών, όμως και των επιπτώσεως της αλόγιστης χρήσης των γνώσεων.
2000: Οι Κινέζοι κατεργάστηκαν την τεχνική της ζύμωσης.	

1000: Η ολοκληρωμένη εξημέρωση όλων των σημαντικών καλλιεργειών στον «Νέο Κόσμο».	
700: Πραγματώθηκε η πρώτη τεχνητή επικονίαση(με ανθρώπινο χέρι)σε χουρμαδία από Βαβυλώνιους και Ασύριους.	

5.3 Μοριακή Βελτίωση για βελτιωμένη δεύτερη γενιά καλλιεργειών βιοενέργειας.

Οι Allwright et al. (2016), στο άρθρο *Molecular breeding for improved second generation bioenergy crops*, τονίζουν πως κατά την τελευταία δεκαετία χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο προηγμένες τεχνικές βελτίωσης για την ενίσχυση των εμπορικά σημαντικών χαρακτηριστικών των βασικών καλλιεργειών και των ζώων, καθώς οι παραγωγοί τροφίμων επιδιώκουν να βελτιώσουν την απόδοση, την οικονομία, την ανθεκτικότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των προϊόντων τους. Οι μεθοδολογίες αλληλουχησης επόμενης γενιάς (NGS), γονοτυπικής υψηλής απόδοσης και μοριακής βελτίωσης, όπως η υποβοηθούμενη επιλογή με δείκτη (MAS), η γονιδιωματική επιλογή (GS) και η γενετική τροποποίηση (GM) έχουν εφαρμοστεί σε μεγάλο αριθμό σημαντικών ειδών. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα σιτηρά όπως, το ρύζι (*Oryza sativa*), ο αραβόσιτος (*Zea mays*) και το κριθάρι (*Hordeum vulgare*) άλλες καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένης της πατάτας (*Solanum tuberosum*), το μήλο (*Malus domestica*) και η σόγια (*Glycine max*) και είδη κατοικίδιων ζώων, συμπεριλαμβανομένων βοοειδών και χοίρων. Συνολικά, περισσότερα από 100 γονιδιώματα φυτών έχουν αποκωδικοποιηθεί από το 2000 καθώς το κόστος της τεχνολογίας αλληλουχησης έχει μειωθεί κατακόρυφα και η ικανότητα των οργάνων έχει αυξηθεί κατά εκατομμύρια φορές. Οι επιθυμητοί φαινότυποι ποικίλλουν ανάλογα με τις προτεραιότητες βελτίωσης για ένα συγκεκριμένο είδος, αλλά τείνουν να επικεντρώνονται ευρέως στην ανθεκτικότητα στις ασθένειες, τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων, τη βελτίωση της διατροφικής ποιότητας, τη μείωση των αποβλήτων ή τη πρόκληση ανοχής σε πιο δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως, η ξηρασία και η αλατισμένη καταπόνηση. Πολλές από αυτές τις προσεγγίσεις αναπαραγωγής μπορεί να επιτρέψουν να γίνει αντιληπτό το «περισσότερο από λιγότερο» παράδειγμα που προτείνεται ως μέρος της βιώσιμης εντατικοποίησης της φυτικής παραγωγής. Σε αυτό το σημείο ο ορισμός από την Royal Society, (Βασιλική Επιστημονική Ακαδημία) για

τη βιώσιμη εντατικοποίηση ορίζεται ως σύστημα, «στο οποίο οι αποδόσεις αυξάνονται χωρίς δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και χωρίς την καλλιέργεια περισσότερης γης», δεδομένο που χρειάζεται να οδηγήσει την πρωτογενή παραγωγικότητα πρέπει να επικεντρωθείκ νέου προς αυτούς τους στόχους. Εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες καλύτερης εκμετάλλευσης των γενετικών πόρων, όπου η ανάπτυξη νέων καλλιεργειών επικεντρώνεται μακριά από την απόδοση αυτή καθαυτή και προς τη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος με μειωμένες εισροές και απόβλητα. Για τις καλλιέργειες βιοενέργειας, που έχουν επιλεγεί και εκτραφεί ελάχιστα στο παρελθόν, αυτό παρέχει ένα πλαίσιο για την ταχεία αξιοποίηση της δύναμης των νέων τεχνολογιών DNA για την παροχή υψηλότερων, πιο βιώσιμων αποδόσεων που έχουν μεγάλη αξία για την κοινωνία. Τέτοιες καλλιέργειες περιλαμβάνουν πολυετή δέντρα, όπως λεύκα (*Populus*) και ιτιά (*Salix*) και χόρτα όπως ο Μισχάνθος, Καλάμι και switchgrass (*Panicum virgatum*), που καλλιεργούνται για την λιγνοκυτταρική βιομάζα τους.

Η πρόοδος στον τομέα της βιοενέργειας παρεμποδίστηκε από τις διαμάχες σχετικά με τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς που προέρχονται από καλλιέργειες τροφίμων, με την αντίθεση του κοινού σχετικά με τον προτεινόμενο αντίκτυπό τους στην επισιτιστική ασφάλεια και τη συζήτηση ως προς την πραγματική έκταση του οφέλους που παρέχουν έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Τα λιγνοκυτταρινικά δεύτερης γενιάς θεωρούνται υποσχόμενα υποψηφία για την παραγωγή βιώσιμων, οικονομικά αποδοτικών πρώτων υλών βιοενέργειας, αλλά σε αντίθεση με τις καλλιέργειες τροφίμων, ένας σχετικά σύντομος χρόνος και περιορισμένη προσπάθεια επικεντρήθηκε στην αναπαραγωγή και τη βελτίωσή τους με πολύ μικρή εμπορική ανάπτυξη μέχρι σήμερα παρά τα σαφή πλεονεκτήματα που παρέχουν σε σχέση με την πρώτη γενιά. Το βασικό ερώτημα είναι κατά πόσον η ευκαιρία που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες DNA μπορεί να συμβάλλουν στην επιτάχυνση της ανάπτυξης καλύτερων λιγνοκυτταρικών καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες αυτές απαιτούν ερευνητική προσπάθεια για τη μεγιστοποίηση του εγγενούς δυναμικού τους για ανταγωνιστικές αποδόσεις, μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ευνοϊκό ενεργειακό ισοζύγιο σε σχέση με τη βιοενέργεια πρώτης γενιάς και τα ορυκτά καύσιμα που ελπίζεται ότι θα αντικαταστήσουν. Συνεπώς, ο κεντρικός στόχος της αναπαραγωγής βιοενέργειας πρέπει να είναι η βιώσιμη εντατικοποίηση της απόδοσης, δηλαδή αύξηση της παραγωγής βιομάζας ανά έκταση μονάδας γης χωρίς υποβάθμιση του περιβάλλοντος ή αυξημένες γεωργικές εισροές.

5.4 Μελέτες και εκτιμήσεις για την συμβολή της γενετικής βελτίωσης των ενεργειακών φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Η βελτίωση στην παραγωγή βιοκαυσίμων

Οι Vega-Sánchez et. al. (2010), αναφέρονται σε ερευνητικές προσπάθειες και ανάπτυξης για την παραγωγή βιοκαυσίμων που αποσκοπούν στη μετατροπή της βιομάζας των εγκαταστάσεων σε ανανεώσιμα υγρά καύσιμα. Τα κύρια εμπόδια για την παραγωγή βιοκαυσίμων περιλαμβάνουν την έλλειψη εξημέρωσης των καλλιεργειών βιοκαυσίμων, τις χαμηλές αποδόσεις πετρελαίου από τις μονάδες καλλιέργειας, καθώς και την απήχηση της λιγνοκυτταρίνης σε χημική και ενζυματική διάσπαση. Οι ερευνητές επεκτείνουν τους γενετικούς και γονιδιωματικούς πόρους που διατίθενται για τη βελτίωση των καλλιεργειών, αποσαφηνίζοντας το μεταβολισμό των λιπιδίων για να διευκολύνουν τη χειραγώγηση των βιοσυνθετικών οδών λιπαρών οξέων και μελετώντας πώς συντίθενται και συναρμολογούνται τα τοιχώματα των φυτικών κυττάρων. Οι γνώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της επόμενης γενιάς καλλιεργειών βιοκαυσίμων, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα και βελτιστοποιώντας την υδρόλυση των τοιχωμάτων φυτικών κυττάρων για την απελευθέρωση ζυμώσιμων σακχάρων.

Καμία από τις τρέχουσες και δυνητικές καλλιέργειες δεν έχει εξημερωθεί για βελτιωμένη εκχύλιση πολυσακχαρίτη ή ελαίου για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη έρευνα τους για τα βιοκαύσιμα επικεντρώνεται στην κατανόηση των χαρακτηριστικών και των χαρακτηριστικών της βιομάζας των φυτών που χρειάζεται να τροποποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Ο πλούτος των γενετικών και γονιδιωματικών πόρων σε πρότυπα φυτά όπως το ρύζι, η Αραβίδοψη (*Arabidopsis*) και το Βραχυπόδιο (*Brachypodium*) χρησιμοποιούνται για να απαντήσουν σε θεμελιώδη επιστημονικά ερωτήματα που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν άμεσα χρησιμοποιώντας πιθανές καλλιέργειες βιοκαυσίμων.

Οι μοριακοί γενετικοί, γονιδιωματικοί και βιοτεχνολογικοί πόροι για τις υποψήφιες καλλιέργειες βιοκαυσίμων είναι περιορισμένοι, αλλά αυξάνονται σε αριθμό. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι αξιόπιστου γενετικού μετασχηματισμού με τη χρήση του *Agrobacterium* για switchgrass, *Jatropha*, λεύκα και *Brachypodium*, ανοίγοντας το δρόμο για προσεγγίσεις γενετικής μηχανικής στη βελτίωση των καλλιεργειών. Για παράδειγμα, η επιτυχής μηχανική ενός λειτουργικού μεταβολικού μονοπατιού Για παράδειγμα, έχει αναφερθεί πρόσφατα η

επιτυχής κατασκευή μιας λειτουργικής μεταβολικής οδού για την παραγωγή πολυδροξυβουτυρικού εστέρα (PHB) σε διαγονιδιακό switchgrass, γεγονός που υποδηλώνει ότι πολύπλοκα χαρακτηριστικά μπορούν να κατασκευαστούν σε αυτήν την ειδική καλλιέργεια βιοκαυσίμων. Επιπλέον, έχει δημοσιευτεί ένα πρωτόκολλο για τη δημιουργία πρωτοπλαστών switchgrass για χρήση σε πειράματα παροδικής γονιδιακής έκφρασης, επιτρέποντας ενδεχομένως την ταχεία δοκιμή υποψήφιων γονιδίων για λειτουργικές αναλύσεις. Έχουν επίσης αναπτυχθεί τεχνικές καλλιέργειας ιστών για τη διάδοση των μοσχευμάτων *Miscanthus* και *Jatropha*. Τα γονιδιώματα του *Brachypodium*, της λεύκας, του σόργου και του αραβοσίτου έχουν υποβληθεί σε αλληλουχία πρόσφατα, ενώ τα έργα γονιδιώματος για το switchgrass και το φοινικέλαιο βρίσκονται σε εξέλιξη.

Ο Dias (2011), στο άρθρο του *Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement* αναλύει το παζλ της αλληλεπίδρασης ασφάλειας-τροφίμων-ενέργειας- περιβάλλοντος, στην οποία τα βιοκαύσιμα αποτελούν μέρος της λύσης. Παρουσιάζει και συζητά τη συμβολή της γενετικής βελτίωσης στα βιοκαύσιμα, σε σχέση με την παραγωγή πρώτων υλών (αλκοολούχα είδη και είδη ελαιοπαραγωγών) και προβάλλει προοπτικές, ευκαιρίες, κινδύνους και προκλήσεις, με έμφαση στο σενάριο της Βραζιλίας.

Η βιοαιθανόλη είναι ένα ενοποιημένο βιοκαύσιμο χάρη σε μεγάλο βαθμό, στα προγράμματα αναπαραγωγής ζαχαροκάλαμου. Τα προγράμματα αυτά ήταν υπεύθυνα για την απελευθέρωση 111 ποικιλιών ζαχαροκάλαμου και για αύξηση της απόδοσης βιοαιθανόλης κατά 20,8 % (σε $m^3 ha^{-1}$) κατά την περίοδο 2000-2009. Το βραζιλιάνικο πρόγραμμα παραγωγής βιοντίζελ, που ξεκίνησε το 2005, είχε ισχυρή ετήσια ανάπτυξη 10% και η χώρα έχει υπάρξει ως ο τέταρτος μεγαλύτερος παραγωγός στον κόσμο. Ωστόσο, η συμβολή της βελτίωσης στην παραγωγή βιοντίζελ εξακολουθεί να είναι μέτρια, λόγω της σπανιότητας των ειδικών για το πετρέλαιο προγραμμάτων αναπαραγωγής.

Η αγροενέργεια (Agroenergy) ανοίγει ένα ευρύ νέο παράθυρο ευκαιρίας σε έναν γιγαντιαίο τομέα που φαινόταν να μην έχει τίποτα περισσότερο να προσφέρει. Αρκετές εκτιμήσεις από τους Dias et al. (2009), υποδεικνύουν την αγροενέργεια ως μέρος της λύσης στο παζλ, ιδιαίτερα του ενεργειακού ζητήματος. Η αγροενέργεια συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα συγκριτικά πλεονεκτήματα: είναι καθαρή, ασφαλής, ανανεώσιμη, δημοκρατική, κοινωνικά αποδεκτή και βιώσιμη. Από την άλλη πλευρά, αφενός, η καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών σημαίνει μείωση των περιφερειακών οικονομικών ασυμμετριών, απομόνωση του άνθρακα, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συμβάλλοντας στον μετριασμό των επιπτώσεων της

υπερθέρμανσης του πλανήτη, αφετέρου, για πολλές χώρες σημαίνει ανταγωνισμό με τη γη και τις εισροές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων. Όπως υποστηρίζουν οι Dias et al. (2009), αυτό το σοβαρό δίλημμα δεν ισχύει για τη Βραζιλία, καθώς η χώρα μπορεί να παράγει τόσο ενέργεια όσο και τρόφιμα σε αφθονία χωρίς να ανταγωνίζεται η μία την άλλη. Η απόδειξη είναι ότι μεταξύ 1976 και 2007 η παραγωγικότητα των κύριων βραζιλιάνικων καλλιεργειών σιτηρών, 14 συνολικά, υπερδιπλασίασε την παραγωγή. Κατά τη διάρκεια των ίδιων 30 ετών, η έκταση καλλιέργειας αυτών των καλλιεργειών αυξήθηκε μόνο κατά 27%, ενώ οι αποδόσεις αυξήθηκαν κατά 124%. Όπως δήλωσαν αυτοί οι συγγραφείς, αυτή η δραματική αύξηση της παραγωγικότητας που προέκυψε από την ανάπτυξη και τη χρήση μεγάλης γεωργικής τεχνολογίας, πραγματοποιήθηκε παράλληλα με την αύξηση της παραγωγής βιοαιθανόλης την ίδια περίοδο. Μεταξύ αυτών των τεχνολογιών, υπάρχει γενετική αναπαραγωγή, υπεύθυνη για μεγάλο μέρος της επιτυχίας της παραγωγής τροφίμων.

Βελτίωση στην καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου

Οι Mirajkar, S.J. et al. (2019) στο άρθρο τους *Sugarcane (Saccharum spp.): breeding and genomics. In Advances in plant breeding strategies: industrial and food crops* έχουν αναφερθεί στις εφαρμογές βιοτεχνολογίας για τη βελτίωση των ζαχαροκάλαμων που ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1960 με τη δημιουργία και τη βελτίωση συστημάτων καλλιέργειας και αναγέννησης *in vitro*. Στη συνέχεια, έγιναν εξελίξεις στους τομείς της τεχνολογίας μοριακών δεικτών, της δομικής και λειτουργικής γονιδιωματικής, καθώς και της γενετικής μηχανικής για την εισαγωγή νέων χαρακτηριστικών. Έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι στη βιοτεχνολογία ζαχαροκάλαμου που αφορά την καλλιέργεια και τη βελτίωση των καλλιεργειών, κυρίως για την καθιέρωση *in vitro* καλλιέργειας και αναγέννησης, διαγονιδιακών, μοριακών διαγνωστικών, ανάπτυξης γενετικών χαρτών και κατανόησης της μοριακής βάσης της συσσώρευσης σακχαρόζης (Lakshmanan et al. 2005; Suprasanna et al. 2011). Οι τεχνολογίες αυτές έχουν καταστεί χρήσιμες για την παράκαμψη των περιορισμών των συμβατικών στρατηγικών αναπαραγωγής ζαχαροκάλαμου.

Το διαθέσιμο γενετικό υλικό ζαχαροκάλαμου είναι μεγάλο, ποικίλο και αντιπροσωπεύει την άφθονη μεταβλητότητα που υπάρχει στους φυσικούς οικοτόπους. Το πεδίο αναπαραγωγής και γονιδιωματικής στα ζαχαροκάλαμα αντιπροσωπεύεται από ανεξάντλητους πλούσιους γενετικούς πόρους, αλλά η χρήση τους περιορίζεται λόγω της υβριδικής φύσης, της

ετεροζυγωτικότητας και της εξαιρετικά πολυπλοειδούς γονιδιωματικής περιεκτικότητάς της. Η αξιοποίηση του διαθέσιμου μικροπλάσματος πρέπει να επιταχυνθεί για να εξασφαλιστεί μια ευρύτερη γενετική βάση και να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και η προσαρμοστικότητα των μελλοντικών ποικιλιών. Η μεγάλη γενετική μεταβλητότητα που αντιπροσωπεύεται στα είδη *Saccharum* και τα σχετικά γένη και η απουσία σοβαρών εμποδίων διασταυρούμενης ικανότητας εντός του συμπλέγματος *Saccharum*, προσφέρουν τεράστιες δυνατότητες για τη δημιουργία γενετικού ανασυνδυασμού που θα καλύψει τις μελλοντικές ανάγκες ποικιλιών τόσο για τους τομείς της ζάχαρης όσο και για την ενέργεια. Με τις προόδους στις κυτταρικές και μοριακές προσεγγίσεις, η καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου και η βιοτεχνολογία κατέχουν μια γκάμα ευκαιριών και προκλήσεων.

Είναι σημαντικό η έρευνα να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων καλλιέργειας, αναγέννησης *in vitro* και διαγονιδιακών φυτών με επιθυμητά χαρακτηριστικά. Η διαγονιδιακή έρευνα έχει περάσει από τον εργαστηριακό πειραματισμό στις δοκιμές πεδίου. Η πρόοδος στη βιοτεχνολογία ζαχαροκάλαμου μπορεί να καταστεί αξιοσημείωτη τα επόμενα χρόνια, τόσο από την άποψη της βελτίωσης της παραγωγικότητας των φυτών όσο και από την άποψη των εμπορικών κερδών. Επιπλέον, τα μοναδικά πλεονεκτήματα του ζαχαροκάλαμου ως ανανεώσιμου πόρου για την παραγωγή βιοκαυσίμων μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που συνδέονται με την αναπαραγωγή ζαχαροκάλαμου στο πλαίσιο των υφιστάμενων προγραμμάτων αναπαραγωγής ζαχαροκάλαμου.

Οι Lam et al. (2009) στο άρθρο του *Improving sugarcane for biofuel: engineering for an even better feedstock* αναφέρθηκαν στην γενετική βελτίωση του ζαχαροκάλαμου (*Saccharum spp.*) για την παραγωγή βιοκαυσίμων ως μια καλύτερη πρώτη ύλη. Η παγκόσμια ζήτηση βιοκαυσίμων ως καθαρής ανανεώσιμης πηγής ενέργειας αυξάνεται ραγδαία για αυτό τον λόγο χρειάζεται η συμβολή της γενετικής βελτίωσης. Ο πλούσιος πόρος της γενετικής ποικιλομορφίας και η πλαστικότητα των αυτοπλοειδών γονιδιωμάτων προσφέρουν πληθώρα ευκαιριών για την εφαρμογή γονιδιωματικής και τεχνολογιών για την αντιμετώπιση θεμελιωδών ζητημάτων στο ζαχαροκάλαμο προς τη μεγιστοποίηση της παραγωγής βιομάζας. Στην συγκεκριμένη έρευνα των Lam et al. (2009) που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Rutgers, μεταξύ ερευνητών από τις ΗΠΑ και την Βραζιλία, εντόπισαν ερευνητικούς τομείς και αναδυόμενες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη βελτίωση των ζαχαροκάλαμων. Οι παραδοσιακές φυτικές φυσιολογικές μελέτες και ο τυποποιημένος φαινοτυπικός χαρακτηρισμός του ζαχαροκάλαμου είναι απαραίτητες για την ανάλυση των αναπτυξιακών διεργασιών και προτύπων γονιδιακής έκφρασης σε αυτό το σύνθετο

πολυπλοειδές είδος. Οι δείκτες DNA φιλικό για αναπαραγωγή που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά στόχου θα βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της επιλογής και θα συντομεύσουν τους μεγάλους κύκλους αναπαραγωγής. Η ενσωμάτωση της ψυχρής ανοχής από το *Saccharum spontaneum* και το *Miscanthus* έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει το γεωγραφικό φάσμα της παραγωγής ζαχαροκάλαμου από τροπικές και υποτροπικές περιοχές σε εύκρατες ζώνες. Οι έννοιες Flex-stock και mix-stock έχουν την ικανότητα να δίνουν λύσεις για τη διατήρηση τοπικών βιοκαυσίμων, όπου καμία μεμονωμένη πρώτη ύλη βιοκαυσίμων δεν θα μπορούσε να παρέχει σταθερές προμήθειες όλο το χρόνο. Οι συνεχώς αυξανόμενες ικανότητες της γονιδιοματικής και της βιοτεχνολογίας ανοίγουν το δρόμο για την πλήρη διερεύνηση αυτών των δυνατοτήτων βελτιστοποίησης των ζαχαροκάλαμων για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Οι Meena et al. (2020) στο άρθρο τους *Current breeding and genomic approaches to enhance the cane and sugar productivity under abiotic stress conditions* αναλύουν τις τρέχουσες προσεγγίσεις αναπαραγωγής και γονιδιοματικής για την ενίσχυση της παραγωγικότητας του ζαχαροκάλαμου και της ζάχαρης υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης. Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή αποτελεί σοβαρή απειλή για την παραγωγικότητα της γεωργίας και μπορεί να αμφισβητήσει την επισιτιστική και διατροφική ασφάλεια παγκοσμίως. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στην αναπαραγωγή φυτών, ιδίως στη μοριακή αναπαραγωγή, τη γονιδιοματική αναπαραγωγή παράλληλα με τη διαγενεακή προσέγγιση, διευκόλυναν αναμφίβολα την ανάπτυξη της ανοχής των ποικιλιών σε πολλαπλές πιέσεις και συνεισφέρει γενικότερα στις ανάγκες του αγροτικού τομέα.

Ειδικότερα, ο προσδιορισμός και ο χαρακτηρισμός του miRNA / γονιδίων που σχετίζονται με την απόκριση ενός φυτού στο στρες είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη νέων ποικιλιών με βελτιωμένη ανοχή. Τα miRNAs που σχετίζονται με αβιοτικές καταπονήσεις όπως η αλατότητα, η ξηρασία, το κρύο και η ανοχή στο νερό έχουν εντοπιστεί στην καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου, αν και σε πολύ μικρότερο βαθμό, λόγω της μη διαθεσιμότητας πληροφοριών ακολουθίας γονιδιώματος. Ωστόσο, η πρόσφατη πρόοδος στην αλληλουχία του μονοπλοειδούς γονιδιώματος στο ζαχαροκάλαμο καθιστά εύκολη την αποκρυπτογράφηση των γονιδίων και των μοριακών δεικτών που σχετίζονται με γεωπονικά σημαντικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για επιτυχημένα προγράμματα αναπαραγωγής ζαχαροκάλαμου. Η έλευση του NGS μαζί με τα εργαλεία βιοπληροφορικής έχουν επισπεύσει την ανακάλυψη νέων γονιδίων και ρυθμιστικών οδών που εμπλέκονται στην ανοχή στο στρες, οδηγώντας αναμφίβολα στη δημιουργία μιας ευκαιρίας να εξελιχθεί μια ανίκητη στρατηγική για τη

βελτίωση του ζαχαροκάλαμου με ανθεκτική αντοχή σε αβιοτικές πιέσεις. Επιπλέον, η τεχνολογία CRISPR/Cas9 (ή "πρωτεΐνη 9 που σχετίζεται με CRISPR ") έχει αναδειχθεί ως ένανέο εργαλείο για την τροποποίηση του γονιδιώματος ζαχαροκάλαμου λόγω της αποτελεσματικότητας και της ακριβούς επεξεργασίας του γονιδιώματος για τη δημιουργία νέων ποικιλιών με συγκεκριμένα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, πολλά γονίδια, χρήσιμα ή επιβλαβή για πολλά σημαντικά γεωπονικά χαρακτηριστικά μπορούν να χειραγωγηθούν εύκολα. Μολονότι ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στα ζαχαροκάλαμα είναι δύσκολο να προβλεφθεί και είναι πιθανό να είναι μεταβλητός ανάλογα με τις συνθήκες καλλιέργειας και περιβάλλοντος, η γενική άποψη είναι ότι η γονιδιωματική υποβοηθούμενη αναπαραγωγή θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στη μείωση των επιπτώσεων των αβιοτικών πιέσεων στα μελλοντικά σενάρια καλλιέργειας ζαχαροκάλαμου.

Βελτίωση στην παραγωγή βιοκαυσίμων από μικροφύκη.

Οι Bharadwaj et al. (2020) αναφέρονται στις σύγχρονες τάσεις για την παραγωγή βιοκαυσίμων από μικροφύκη. Πρωταρχικός στόχος της συγκεκριμένης έρευνας είναι να συζητηθούν τα πρόσφατα στάδια της προσέγγισης της μεταβολικής μηχανικής για την ενίσχυση της παραγωγής βιοκαυσίμων και χημικών προϊόντων με τη χρήση διαφόρων μικροφυκών. Ειδικότερα, αναφέρουν πως οι περισσότεροι ειδικοί επί του κλίματος συμφωνούν ότι, η ανθρωπογενής δραστηριότητα οδηγεί τον πλανήτη μας προς την καταστροφή. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C πάνω από τα επίπεδα προβιομηχάνισης γίνεται αποδεκτή ως το ασφαλές όριο από τις κυβερνήσεις του κόσμου. Ωστόσο, αυτό το όριο είναι μόνο η αρχή για την πρόληψη της παγκόσμιας καταστροφής.

Συμπερασματικά, υπάρχει η επιτακτική ανάγκη να επινοηθούν μέθοδοι ενσωμάτωσης δεδομένων από διάφορες πηγές για την πλήρη αξιοποίηση των διαθέσιμων πληροφοριών για τη μεταβολική μηχανική των μικροφυκών ξενιστών. Η βιολογία των συστημάτων στοχεύει να επινοήσει ένα ποσοτικό μοντέλο κυτταρικού μεταβολισμού που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως πηγή για την συγκεκριμένη υπόθεση για μελλοντικά πειράματα. Αυτά τα μαθηματικά μοντέλα κυτταρικής έκφρασης λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική φύση του μεταβολισμού ενός κυττάρου. Έτσι, ένα καλό μοντέλο κυτταρικού μεταβολισμού πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει αξιόπιστα την επίδραση των περιβαλλοντικών πιέσεων. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να επιτρέψει την μελέτη σε *silico* (μελέτη σε υπολογιστή ή μέσω

προσομοίωσης υπολογιστή) την επίδραση των γονιδιακών «νοκ-άουτ» ή της υπερέκφρασης λίγων γονιδίων ή οποιασδήποτε άλλης γενετικής χειραγώγησης. Η δημιουργία υποθέσεων που βασίζονται σε μοντέλα μπορεί να βοηθήσει στην μείωση πολλών υγρών εργαστηριακών εργασιών, αλλά ένα μαθηματικό μοντέλο μπορεί να είναι αξιόπιστο μόνο όταν μεγάλα σύνολα δεδομένων από διάφορες πηγές ενσωματώνονται στο μοντέλο. Η προσέγγιση της μεταβολικής μηχανικής που βασίζεται στα omics σε συνδυασμό με τη βιολογία των συστημάτων αναμένεται να καταστήσει τα βιοκαύσιμα από μικροφύκη οικονομικά εφικτά και απλούστερα στην επεξεργασία.

Βελτίωση πολυετών καλλιεργειών βιομάζας (μίσκανθος, ιτιά, λεύκα, switchgrass)

Οι Clifton-Brown et al. (2019), τονίζουν ότι η γενετική βελτίωση είναι μία από τις βασικές προσεγγίσεις για την αύξηση της προσφοράς βιομάζας. Επίσης, τεκμηριώνουν την πρόοδο για τέσσερις πολυετείς καλλιέργειες βιομάζας (PBCs) που έχουν υψηλούς λόγους παραγωγής-ενέργειας εισόδου: δηλαδή *Panicum virgatum* (switchgrass), είδη του γένους *Miscanthus* (μίσκανθος), *Salix* (ιτιά) και *Populus* (λεύκα). Για κάθε καλλιέργεια, έχει αναφερθεί το μέγεθος των συλλογών βλαστόπλασμα, τις προσπάθειες για τον φαινότυπο και τον γονότυπο, την ποικιλομορφία που είναι διαθέσιμη για αναπαραγωγή και την κλίμακα των εργασιών αναπαραγωγής, όπως υποδεικνύεται από τον αριθμό των επιχειρούμενων σταυρών. Επίσης, έχει επιτευχθεί αναφορά στην ανάπτυξη ταχύτερης και ακριβέστερης αναπαραγωγής με τη χρήση μοριακών τεχνικών αναπαραγωγής.

Η αύξηση της βιώσιμης παραγωγής βιομάζας αποτελεί σημαντική συνιστώσα της μετάβασης από μια οικονομία βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα το Ηνωμένο Βασίλειο, οι Lovett, Sünnenberg και Dockerty (2014) πρότειναν ότι 1,4 εκατομμύρια εκτάρια οριακής γεωργικής γης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας χωρίς να διακυβεύεται η παραγωγή τροφίμων. Υποθέτοντας απόδοση ξηρής ύλης βιομάζας (DM) 10 Mg/ha και θερμογόνο δύναμη 18 GJ/MgDM, 1,4 εκατομμύρια εκτάρια θα αποφέρουν περίπου 28 TWh ηλεκτρικής ενέργειας (με απόδοση μετατροπής βιομάζας 40%), η οποία θα ήταν ~8% της πρωτογενούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο [336 TWh το 2017 (DUKES, 2017)]. Για να επιτευχθεί αυτό έως το 2050, θα χρειαστούν ποσοστά φύτευσης ~35.000 ha/έτος από το 2022, σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Evans (2017). Τα ετήσια ποσοστά φύτευσης στο Ηνωμένο

Βασίλειο είναι τάξεις μεγέθους που υπολείπονται αυτών των επιπέδων μόνο σε αρκετές εκατοντάδες εκτάρια ετησίως.

Προκειμένου οι πολυετείς καλλιέργειες βιομάζας (PBCs) να συμβάλουν πραγματικά στη βιώσιμη ανάπτυξη, θα πρέπει να καλλιεργούνται σε γεωργικές εκτάσεις που είναι λιγότερο κατάλληλες για καλλιέργειες τροφίμων (Lewandowski, 2015). Αυτή η οικονομικά "οριακή" γη χαρακτηρίζεται συνήθως από αβιοτικές καταπονήσεις (ξηρασία, πλημμύρες, πετρώματα, απότομες πλαγιές, έκθεση στον άνεμο και μη βέλτιστη πτυχή), χαμηλά θρεπτικά συστατικά ή/και μολυσμένα εδάφη (Tóth et al. 2016). Σε αυτά τα απαιτητικά περιβάλλοντα, τα PBC χρειάζονται χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας. Επιπλέον, χρειάζονται υψηλούς δείκτες εξόδου:εισόδου για την ενέργεια (συνήθως 20-50) για να προσφέρουν μεγάλη εξοικονόμηση άνθρακα. Η γη μπορεί επίσης να είναι οριακή λόγω της περιβαλλοντικής ευπάθειας. Μεγάλο μέρος της αξίας για την κοινωνία από τη γενετική βελτίωση αυτών των καλλιεργειών εξαρτάται από τις θετικές επιπτώσεις που προκύπτουν από εξαιρετικά παραγωγικά πολυετή συστήματα. Εκτός από την παραγωγή βιομάζας ως πηγής άνθρακα για την αντικατάσταση του ορυκτού άνθρακα, οι καλλιέργειες αυτές μειώνουν την έκπλυση νιτρικών αλάτων, καθιστώντας τους καλούς υποψηφίους για την εκπλήρωση της οδηγίας-πλαίσιου για τα ύδατα(2000/60/EC) και μπορούν να αυξήσουν την αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους.

Οι An et al. (2021) στο άρθρο τους *Opportunities and barriers for biofuel and bioenergy production from poplar*, αναφέρουν ότι τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζει η χρήση της λεύκας ως πόρου βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι η εγγενής απήχηση της λιγνοκυτταρικής βιομάζας και τονίζει την κατάσταση απόκρισης στη βελτίωση της απόδοσης βιομάζας και τις προσπάθειες για την ανάπτυξη αποτελεσματικών ποικιλιών λεύκας για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Για τη βελτίωση της παραγωγής βιοκαυσίμων και βιοενέργειας από λεύκα, η αύξηση της απόδοσης βιομάζας και η μείωση της απείθαρχης βιομάζας αποτελούν βασικά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν. Από τεχνική άποψη, η διαχείριση του πεδίου θα πρέπει να ενισχυθεί για να αυξηθεί η απόδοση βιομάζας λεύκας και θα πρέπει να βελτιστοποιηθούν μέθοδοι προεπεξεργασίας για τη μείωση της απείθειας βιομάζας λεύκας και την αύξηση της αποδοτικότητας μετατροπής της για την παραγωγή βιοενέργειας. Από την άποψη της αναπαραγωγής, η γενετική τροποποίηση είναι μια αποτελεσματική στοχευμένη μέθοδος για την προώθηση της παραγωγής βιομάζας και την τροποποίηση των συνθέσεων των κυτταρικών τοίχων για τη μείωση της απείθαρχης βιομάζας. Επιπλέον, με την ταχεία ανάπτυξη της

τεχνολογίας υψηλής απόδοσης, έχουν δημοσιοποιηθεί σημαντικά "μαζικά δεδομένα", τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν μέσω προηγμένης εξόρυξης δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων συνόλων δεδομένων πολυομικών, όπως μεταγραφή, πρωτέωμα, σύνολα δεδομένων μεταβολισμού και άλλα σύνολα δεδομένων θερμιδίων μεγάλου μεγέθους, συμπεριλαμβανομένων του SNP (single nucleotide polymorphism) από το GWAS (genome-wide association study) και της μελέτης ποσοτικού τύπου έκφρασης (eQTL, expression quantitative trait locus). Τέλος, ο συνδυασμός της αναπαραγωγής με προηγμένες λύσεις μηχανικής θα μπορούσε να δημιουργήσει μια ιδανική λεύκα για παραγωγή βιοκαυσίμων και βιοενέργειας.

Κεφάλαιο 6.

Συμπεράσματα

Η βιοενέργεια ήδη συμβάλλει ουσιαστικά στην κάλυψη της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας. Αυτή η συνεισφορά μπορεί να επεκταθεί σημαντικά στο μέλλον, παρέχοντας εξοικονόμηση αερίων θερμοκηπίου και άλλα περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς και συμβολή στην ενεργειακή ασφάλεια, βελτίωση των εμπορικών ισοζυγίων, παροχή ευκαιριών για κοινωνικά και οικονομική ανάπτυξη στις αγροτικές κοινότητες και βελτίωση της διαχείρισης των πόρων και των αποβλήτων.

Συγκεκριμένα, η πρόοδος στη γενετική, τη βιοτεχνολογία, τη χημική επεξεργασία και τη μηχανική σε συνδυασμό με τις γεωργικές πρακτικές, οδηγούν σε νέες έννοιες παραγωγής για τη μετατροπή της ανανεώσιμης βιομάζας σε πολύτιμα καύσιμα και άλλα προϊόντα, που γενικά αναφέρονται ως βιοδιυλιστήριο. Για αυτό τον λόγο υφίσταται ενδιαφέρον προς την χρήση των βιοκαυσίμων, διότι ο τομέας εξελίσσεται διαρκώς, υπάρχουν πολλές δυνατότητες για ανάπτυξη και βελτίωση σε όλα τα επίπεδα.

Από την πλευρά των ενεργειακών καλλιεργειών και ειδικά γενετικά βελτιωμένων καλλιεργειών είναι σημαντικό να ενσωματωθεί σε οικολογικά συστήματα γεωργίας για να μεγιστοποιηθεί ο αντίκτυπός τους στην ενίσχυση της βιώσιμης γεωργίας και της επισιτιστικής ασφάλειας.

Βιβλιογραφία

Adams, P., Bridgwater, T., Lea-Langton, A., Ross, A., & Watson, I. (2018). Biomass conversion technologies. In *Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems* (pp. 107-139). Academic Press.

Agbor, V. B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin, D. B. (2011). Biomass pretreatment: fundamentals toward application. *Biotechnology advances*, 29(6), 675-685.

Allwright, M. R., & Taylor, G. (2016). Molecular breeding for improved second generation bioenergy crops. *Trends in Plant Science*, 21(1), 43-54.

Alexandratos, N. & Bruinsma, J. *World Agriculture Towards 2030/ 2050 — The 2012 Revision* (FAO, 2012).

Alexandratos, N., Bruinsma, J., Boedeker, G., Schmidhuber, J., Broca, S., Shetty, P., & Ottaviani, M. G. (2006). *World agriculture: Towards 2030/2050. Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups.*

An, Y., Liu, Y., Liu, Y., Lu, M., Kang, X., Mansfield, S. D., ... & Zhang, J. (2021). Opportunities and barriers for biofuel and bioenergy production from poplar. *GCB Bioenergy*, 13(6), 905-913.

Angermayr, S. A., Hellingwerf, K. J., Lindblad, P., & de Mattos, M. J. T. (2009). Energy biotechnology with cyanobacteria. *Current opinion in biotechnology*, 20(3), 257-263.

Aro, E. M. (2016). From first generation biofuels to advanced solar biofuels. *Ambio*, 45(1), 24-31.

Assefa, Y., Roozeboom, K. L., Thompson, C., Schlegel, A., Stone, L., & Lingenfelter, J. (2013). *Corn and grain sorghum comparison: all things considered.*

Avgerinos, G. C., & Wang, D. C. (1983). Selective solvent delignification for fermentation enhancement. *Biotechnology and bioengineering*, 25(1), 67-83.

Bauen, Ausilio & Berndes, Göran & Junginger, H.M. & Londo, Marc & Vuille, F.. (2009). *Bioenergy - a sustainable and reliable energy source - a review of status and prospects.* IEA Bioenergy ExCo. 6.

Bessou, C., Ferchaud, F., Gabrielle, B., & Mary, B. (2011). Biofuels, greenhouse gases and climate change. *Sustainable Agriculture Volume 2*, 365-468.

- Bharadwaj, S. V., Ram, S., Pancha, I., & Mishra, S. (2020). Recent trends in strain improvement for production of biofuels from microalgae. In *Microalgae Cultivation for Biofuels Production* (pp. 211-225). Academic Press.
- Bhattacharya, S. C. (2017). State-of-the-art of utilizing residues and other types of biomass as an energy source. *International Energy Journal*, 15(1).
- Biancardi, E., McGrath, J. M., Panella, L. W., Lewellen, R. T., & Stevanato, P. (2010). Sugar beet. In *Root and tuber crops* (pp. 173-219). Springer, New York, NY.
- Bilek, M. A., Soolanayakanahally, R. Y., Guy, R. D., & Mansfield, S. D. (2020). Physiological response of *Populus balsamifera* and *Salix eriocephala* to salinity and hydraulic fracturing wastewater: potential for phytoremediation applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7641.
- Binford, L. R., Ho, C. K., Aigner, J. S., Alimen, M. H., Borrero, L. A., Cheng Te-K'un, ... & Yi, S. (1985). Taphonomy at a distance: Zhoukoudian, "the cave home of Beijing Man"?[and comments and reply]. *Current Anthropology*, 26(4), 413-442.
- Bioenergy, I. E. A. (2009). Bioenergy—a sustainable and reliable energy source. International Energy Agency Bioenergy, Paris, France.
- Brownell, H. H., & Saddler, J. N. (1987). Steam pretreatment of lignocellulosic material for enhanced enzymatic hydrolysis. *Biotechnology and bioengineering*, 29(2), 228-235.
- Bruinsma, J. (Ed.). (2003). *World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective*. Earthscan.
- Casler, M. D., Sosa, S., Hoffman, L., Mayton, H., Ernst, C., Adler, P. R., ... & Bonos, S. A. (2017). Biomass yield of switchgrass cultivars under high-versus low-input conditions. *Crop Science*, 57(2), 821.
- Casler, M. D. (2012). Switchgrass breeding, genetics, and genomics. In *Switchgrass* (pp. 29- 53). Springer, London.
- Caudullo, G., & de Rigo, D. (2016). *Populus alba* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*; San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A., Eds, 134-135.

- Chang, V. S., & Holtzapple, M. T. (2000). Fundamental factors affecting biomass enzymatic reactivity. In Twenty-first symposium on biotechnology for fuels and chemicals (pp. 5-37). Humana Press, Totowa, NJ.
- Chiaromonti, D., Prussi, M., Nistri, R., Pettorali, M., & Rizzo, A. M. (2014). Biomass carbonization: process options and economics for small scale forestry farms. *Energy Procedia*, *61*, 1515-1518.
- Chynoweth, D. P. (2005). Renewable biomethane from land and ocean energy crops and organic wastes. *Hortscience*, *40*(2), 283-286.
- Cifuentes, R., Bressani, R., & Rolz, C. (2014). The potential of sweet sorghum as a source of ethanol and protein. *Energy for Sustainable Development*, *21*, 13-19.
- Clifton-Brown, J., Harfouche, A., Casler, M. D., Dylan Jones, H., Macalpine, W. J., Murphy-Bokern, D., ... & Lewandowski, I. (2019). Breeding progress and preparedness for mass-scale deployment of perennial lignocellulosic biomass crops switchgrass, miscanthus, willow and poplar. *Gcb Bioenergy*, *11*(1), 118-151.
- Converti, A., Oliveira, R. P. S., Torres, B. R., Lodi, A., & Zilli, M. (2009). Biogas production and valorization by means of a two-step biological process. *Bioresource technology*, *100*(23), 5771-5776.
- CONVERSE, A. O. (1993). Substrate factors limiting enzymatic hydrolysis. *Bioconversion of forest and agricultural plant residues*, 93-106.
- Correa, D. F., Beyer, H. L., Fargione, J. E., Hill, J. D., Possingham, H. P., Thomas-Hall, S. R., & Schenk, P. M. (2019). Towards the implementation of sustainable biofuel production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *107*, 250-263.
- Creutzig, F., Ravindranath, N. H., Berndes, G., Bolwig, S., Bright, R., Cherubini, F., ... Masera, O. (2015). Bioenergy and climate change mitigation: An assessment. *GCB Bioenergy*, *7*(5), 916-944. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12205>
- Dahlberg, J., Berenji, J., Sikora, V., & Latković, D. (2012). Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica*, *56*(2).
- Dias, L. A. D. S. (2011). Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *11*(SPE), 16-26.

Erb, K-H. et al. *Eating the Planet: Feeding and Fuelling the World Sustainably, Fairly and Humanely — A Scoping Study* (Institute of Social Ecology & PIK Potsdam, 2009).

Evans, A. M. (2017). Ecologically, socially, and economically responsible wood bioenergy. *Journal of Forestry*, 115(2), 134-135.

Ewunie, G. A., Lekang, O. I., Morken, J., & Yigezu, Z. D. (2021). Characterizing the potential and suitability of Ethiopian variety *Jatropha curcas* for biodiesel production: Variation in yield and physicochemical properties of oil across different growing areas. *Energy Reports*, 7, 439-452.

Farrell, A. E., Plevin, R. J., Turner, B. T., Jones, A. D., O'hare, M., & Kammen, D. M. (2006). Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science*, 311(5760), 506-508.

Fernández, J., Curt, M. D., & Aguado, P. L. (2006). Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. *Industrial crops and Products*, 24(3), 222-229.

Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and sustainable energy reviews*, 42, 712-725.

Gowlett, J. A. (2006). The early settlement of northern Europe: fire history in the context of climate change and the social brain. *Comptes Rendus Palevol*, 5(1-2), 299-310.

Haberl, H., Beringer, T., Bhattacharya, S. C., Erb, K. H., & Hoogwijk, M. (2010). The global technical potential of bio-energy in 2050 considering sustainability constraints. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(5-6), 394-403.

Hall, D. O., Rosillo-Calle, F., & De Groot, P. (1992). Biomass energy: lessons from case studies in developing countries. *Energy policy*, 20(1), 62-73.

Hankamer, B., Lehr, F., Rupprecht, J., Mussgnug, J. H., Posten, C., & Kruse, O. (2007). Photosynthetic biomass and H₂ production by green algae: from bioengineering to bioreactor scale-up. *Physiologia plantarum*, 131(1), 10-21.

Hatti-Kaul, R. (2010). Biorefineries—a path to sustainability?. *Crop science*, 50, S-152.

Hayat, U., Jilani, M. I., Rehman, R., & Nadeem, F. (2015). A Review on *Eucalyptus globulus*: A new perspective in therapeutics. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 8, 85-91.

- Hazell, P. B., & Pachauri, R. K. (Eds.). (2006). *Bioenergy and agriculture: promises and challenges*. Washington: IFPRI.
- Hendriks, A. T. W. M., & Zeeman, G. (2009). Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource technology*, 100(1), 10-18.
- Humbird, D., Davis, R., Tao, L., Kinchin, C., Hsu, D., Aden, A., ... & Dudgeon, D. (2011). Process design and economics for biochemical conversion of lignocellulosic biomass to ethanol: dilute-acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover (No. NREL/TP- 5100-47764). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Inganäs, O., & Sundström, V. (2016). Solar energy for electricity and fuels. *Ambio*, 45(1), 15-23.
- Issariyakul, T., & Dalai, A. K. (2014). Biodiesel from vegetable oils. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 446-471.
- Jaradat, A. A. (2010). Genetic resources of energy crops: biological systems to combat climate change. *Australian Journal of Crop Science*, 4(5), 309-323.
- Jonas, M., Ketlogetswe, C., Gandure, J., 2020. Variation of *Jatropha Curcas* seed oil content and fatty acid composition with fruit maturity stage. *Heliyon* 6, e03285-e.
- Kaffka, S. R., & Grantz, D. A. (2014). *Sugar crops*.
- Karp, A., & Shield, I. (2008). Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytologist*, 179(1), 15-32.
- Kaya, Y., Jovic, S., & Miladinovic, D. (2012). Sunflower. In *Technological Innovations in Major World Oil Crops*, Volume 1 (pp. 85-129). Springer, New York, NY.
- Kaya, Y., G. Evcı, S. Durak, V. Pekcan, T. Gucer, and I.M. Yilmaz. 2007a. The development of high oleic sunflower inbred lines and hybrids. p. 433-436. In: Proc. 7th Turkish Field Crops Congr., June 25-29, Erzurum, Turkey.
- Kaya, Y., G. Evcı, V. Kaya, and M. Kaya. 2007b. Oleic type sunflower production and future directions.p. 133-140. 1st National Oil Crops and Biodiesel Symposium. May 28-31, Samsun, Turkey.

- Lakshmanan, P., Geijskes, R. J., Aitken, K. S., Grof, C. L., Bonnett, G. D., & Smith, G. R. (2005). Sugarcane biotechnology: the challenges and opportunities. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 41(4), 345-363.
- Lam, E., Shine Jr, J., Da Silva, J., Lawton, M., Bonos, S., Calvino, M., ... & Ming, R. (2009). Improving sugarcane for biofuel: engineering for an even better feedstock. *Gcb Bioenergy*, 1(3), 251-255.
- Levin, D. B., Pitt, L., & Love, M. (2004). Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. *International journal of hydrogen energy*, 29(2), 173-185.
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., & Huisman, W. (2000). Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 209-227.
- Lewandowski, I., Scurlock, J. M., Lindvall, E., & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and bioenergy*, 25(4), 335-361.
- Lewandowski, I. (2015). Securing a sustainable biomass supply in a growing bioeconomy. *Global Food Security*, 6, 34-42.
- Lopez-Bellido, L., Wery, J., & Lopez-Bellido, R. J. (2014). Energy crops: prospects in the context of sustainable agriculture. *European journal of agronomy*, 60, 1-12.
- López-Bellido, R. J., & López-Bellido, L. (2012). Cropping systems: shaping nature. In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer Science London.
- López-Bellido, R. J., Fontán, J. M., López-Bellido, F. J., & López-Bellido, L. (2010). Carbon sequestration by tillage, rotation, and nitrogen fertilization in a Mediterranean Vertisol. *Agronomy Journal*. 102(1), 310-318.
- Lovett, A., Sünnerberg, G., & Dockerty, T. (2014). The availability of land for perennial energy crops in Great Britain. *Gcb Bioenergy*, 6(2), 99-107.
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Van Zyl, W. H., & Pretorius, I. S. (2002). Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and molecular biology reviews*, 66(3), 506-577.

- Mariani, C., Cabrini, R., Danin, A., Piffanelli, P., Fricano, A., Gomarasca, S., ... & Soave, C. (2010). Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax* L.): a promising weedy energy crop. *Annals of Applied Biology*, 157(2), 191-202.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, 83(1), 37-46.
- Meena, M. R., Kumar, R., Chinnaswamy, A., Karuppaiyan, R., Kulshreshtha, N., & Ram, B. (2020). Current breeding and genomic approaches to enhance the cane and sugar productivity under abiotic stress conditions. *3 Biotech*, 10(10), 1-18.
- Medipally, S. R., Yusoff, F. M., Banerjee, S., & Shariff, M. (2015). Microalgae as sustainable renewable energy feedstock for biofuel production. *BioMed research international*. 2015.
- Mirajkar, S. J., Devarumath, R. M., Nikam, A. A., Sushir, K. V., Babu, H., & Suprasanna, P. (2019). Sugarcane (*Saccharum* spp.): breeding and genomics. In *Advances in plant breeding strategies: industrial and food crops* (pp. 363-406). Springer, Cham.
- Milovanović J., Babović N., Dorđević A., Spasić S., Marišova E., Končekova L., Kotrla M., Tothova M. (2011) External and internal factors influencing the growth and biomass production of short rotation woods genus *Salix* and perennial grass *Miscanthus*. Faculty of Applied Ecology FUTURA Singidunum University, Belgrade, 178 p.
- Mitchell, R., Vogel, K. P., & Uden, D. R. (2012). The feasibility of switchgrass for biofuel production. *Biofuels*, 3(1), 47-59.
- Mola-Yudego B. (2011) Trends and productivity improvements from commercial willow plantations in Sweden during the period 1986-2000. *Biomass and bioenergy*, 35, pp. 446-453.
- Nobles Jr, D. R., & Brown Jr, R. M. (2010). Production and secretion of glucose in photosynthetic prokaryotes (Cyanobacteria) (No. 7,803,601). The University of Texas (Austin, TX).
- Parmar, A., Singh, N. K., Pandey, A., Gnansounou, E., & Madamwar, D. (2011). Cyanobacteria and microalgae: a positive prospect for biofuels. *Bioresource technology*, 102(22), 10163-10172.
- Parrish, D. J., Casler, M. D., & Monti, A. (2012). The evolution of switchgrass as an energy crop. In *Switchgrass* (pp. 1-28). Springer, London.

- Pelka, N., Buchholz, M., & Musshoff, O. (2015). Competitiveness of energy crop rotations with and without sugar beets for biogas production considering the individual risk tolerance. *Berichte über Landwirtschaft*, 93(1).
- Penín, L., López, M., Santos, V., Alonso, J. L., & Parajó, J. C. (2020). Technologies for Eucalyptus wood processing in the scope of biorefineries: A comprehensive review. *Bioresource Technology*, 123528.
- Polunin, O., & Huxley, A. (1987). *Flowers of the Mediterranean*—London.
- Pučka, I., & Lazdiņa, D. (2013). Review about investigations of *Salix* spp. in Europe. In *Annual 19th International Scientific Conference Proceedings (Vol. 2, p. 13)*.
- Ramesh, M. (2016). Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) fibre based bio-materials: A review on processing and properties. *Progress in Materials Science*, 78, 1-92.
- Ragauskas, A. J., Williams, C. K., Davison, B. H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C. A., ...& Tschaplinski, T. (2006). The path forward for biofuels and biomaterials. *science*, 311(5760),484-489.
- Reid, W. V., Ali, M. K., & Field, C. B. (2020). The future of bioenergy. *Global change biology*, 26(1), 274-286.
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., ... & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461.
- Rockwood, D. L., Rudie, A. W., Ralph, S. A., Zhu, J. Y., & Winandy, J. E. (2008). Energy product options for Eucalyptus species grown as short rotation woody crops. *International journal of molecular sciences*, 9(8), 1361-1378.
- Rosenberg, J. N., Oyler, G. A., Wilkinson, L., & Betenbaugh, M. J. (2008). A green light for engineered algae: redirecting metabolism to fuel a biotechnology revolution. *Current opinion in Biotechnology*, 19(5), 430-436.
- Roozeboom, K. L., Wang, D., McGowan, A. R., Propheter, J. L., Staggenborg, S. A., & Rice, C. W. (2019). Long-term biomass and potential ethanol yields of annual and perennial biofuel crops. *Agronomy Journal*. 111(1), 74-83.
- Rubin, E. M. (2008). Genomics of cellulosic biofuels. *Nature*, 454(7206), 841-845.

Sakurai, H., & Masukawa, H. (2007). Promoting R & D in photobiological hydrogen production utilizing mariculture-raised cyanobacteria. *Marine biotechnology*, 9(2), 128-145.

Sartori, F., Lal, R., Ebinger, M. H., & Parrish, D. J. (2006). Potential soil carbon sequestration and CO₂ offset by dedicated energy crops in the USA. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(5), 441-472.

Scott, M. P., & Emery, M. (2016). Maize: overview. *Encyclopedia of food grains*, 99-104.

Sindhu, R., Binod, P., & Pandey, A. (2016). Biological pretreatment of lignocellulosic biomass—An overview. *Bioresource technology*, 199, 76-82.

Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Inda, C.S., Sharma, S., Sharma, P.K., et al. 2021. A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: *Jatropha curcas*. *Fuel* 285, 119110-28.

Slade, R., Bauen, A., & Gross, R. (2014). Global bioenergy resources. *Nature Climate Change*, 4(2), 99-105.

Sotolongo, J.A., Beatón, P., Díaz, A., Oca, S.M., Valle, Y., Pavón, S.G., et al. 2007. *Jatropha Curcas* L. As a source for the production of biodiesel: a Cuban experience. In: 15th European Biomass Conference & Exhibition. Berlin, Germany. pp. 2631-2633.

Suprasanna, P., Patade, V. Y., Desai, N. S., Devarumath, R. M., Kavar, P. G., Pagariya, M. C., ... & Babu, K. H. (2011). Biotechnological developments in sugarcane improvement: an overview. *Sugar Tech*, 13(4), 322-335.

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87-96.

Tamagnini, P., Leitão, E., Oliveira, P., Ferreira, D., Pinto, F., Harris, D. J., ... & Lindblad, P. (2007). Cyanobacterial hydrogenases: diversity, regulation and applications. *FEMS microbiology reviews*, 31(6), 692-720.

Tentscher, W. and Yu Shao Gong (1992), Evaluation of European Biogas Plants through a Static Database, Final Report, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

The Royal Society, U.K. (2009) Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture, The Royal Society UK.

Tóth, G., Hermann, T., Szatmári, G., & Pásztor, L. (2016). Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *Science of the total environment*, 565, 1054-1062.

Turinayo, Y.K., Kalanzi, F., Mudoma, J.M., Kiwuso, P., Asimwe, G.M., Esegu, J.F.O., et al. 2015. Physicochemical characterization of *Jatropha Curcas* linn oil for biodiesel production in nebbi and mokono districts in uganda. *J. Sustain.*

Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., & Vassilev, V. S. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel*, 158, 330-350.

Vannozzi, G.P. 2006. The perspectives of use of high oleic sunflower for oleochemistry and energy raws. *Helia* 29:44, 1-24.

Vega-Sánchez, M. E., & Ronald, P. C. (2010). Genetic and biotechnological approaches for biofuel crop improvement. *Current Opinion in Biotechnology*, 21(2), 218-224.

Wang, R., Hanna, M.A., Zhou, W.W., Bhadury, P.S., Chen, Q., Song, B.A., et al. 2011. Production and selected fuel properties of biodiesel from promising non-edible oils: *Euphorbia lathyris* L. *Sapium sebiferum* L. and *Jatropha Curcas* l. *Bioresour. Technol.* 102, 1194–1199.

Wilhelm, W. W., Johnson, J. M., Karlen, D. L., & Lightle, D. T. (2007). Corn stover to sustain soil organic carbon further constrains biomass supply.

Yadav, N., Kumar, R., Rawat, L., Gupta, S., 2014. Physico-chemical properties of before and after anaerobic digestion of *jatropha* seed cake and mixed with pure cow dung. *J. Chem. Eng. Process Technol.* 05.

Yuan, J. S., Tiller, K. H., Al-Ahmad, H., Stewart, N. R., & Stewart Jr, C. N. (2008). Plants to power: bioenergy to fuel the future. *Trends in plant science*, 13(8), 421-429.

Zicari, S., Zhang, R., & Kaffka, S. (2019). Sugar Beet. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products* (pp. 331-351). Academic Press.

Zohary M. (1962) *Plant Life of Palestine: Israel and Jordan*. New York: Ronald Press.

Γκαλάκης, Χ. (2008). Βελτίωση φυτών με στόχο την παραγωγή βιοενέργειας με μοντέλο εφαρμογής την καλλιέργεια βιοενεργειακών φυτών στην Περιφέρεια Αν. Μακεδονίας και Θράκης (Bachelor's thesis).

Ξυνιάς, Ι. Ν. (2014). Βελτίωση φυτών: θεωρία & ασκήσεις, Εκδόσεις ΕΜΒΡΥΟ, Αθήνα.

Σκαράκης, Γ. Ν., Κορρές, Ν., & Παυλή, Ο. Ι. (2008). Ενεργειακές καλλιέργειες–Βιοκαύσιμα. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Εικόνα εξωφύλλου: <https://images.app.goo.gl/euA4MzARwaYgfMKA7>

Παράρτημα συντομογραφιών

GHG	Green house gas (θερμοκηπιακά αέρια)
CHP	Combined heat and power (Συνδυασμένη θερμότητα και ισχύς)
HTC	Hydrothermal Carbonization (υδροθερμική ανθρακοποίηση)
HTL	Hydrothermal liquefaction (υδροθερμική υγροποίηση)
e ⁻	Ηλεκτόνιο
SNG	Substitute natural gas (Υποκατάστατο φυσικού αερίου)
HTG	Hydrothermal Gasification (Υδροθερμική αεριοποίηση)
SCWG	Super critical water gasification (Υπερκρίσιμη αεριοποίηση νερού)
LHV	Lower heating value (Χαμηλότερη τιμή θέρμανσης)
PFCE	Photon-to-fuel conversion efficiency (Απόδοση μετατροπής φωτονίου σε καύσιμο)
FAO	Food and Agriculture organization (Διεθνής οργάνωσης τροφίμων και γεωργίας)
PBC	Perennial biomass crops (πολυετείς καλλιέργειες βιομάζας)
eQTL	Expression quantitative trait locus
GWAS	Genome-wide association study
SNP	Single nucleotide polymorphism
DM	Dry matter (ξηρή ύλη)
AD	Anaerobic Digestion (Αναερόβια πέψη)
NGS	Next-Generation Sequencing (Αλληλουχία επόμενης γενιάς)
PHB	Polyhydroxybutyrate (Πολυϋδροξυβουτυρικό)
MAS	Marker-assisted selection (υποβοηθούμενη επιλογή με δείκτη)
GS	Genomic selection (γονιδιωματική επιλογή)
GM	Genetic modification (γενετική τροποποίηση)

Παράρτημα μονάδων

Μονάδες μέτρησις ενέργειας, έργου ή ποσότητας θερμότητας στο Διεθνές σύστημα μονάδων(SI): EJ (Exajoule), GJ (Gigajoule), J (Joule), kJ (Kilojoule), MJ (Megajoule)

TWh (Terawatt-hour): Είναι μονάδα ενέργειας στο Διεθνές σύστημα μονάδων (SI) και χρησιμοποιείται συχνά για τη μέτρηση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση.