



Sécurité Alimentaire et Biotechnologie en Afrique



Ce projet est financé par l'Union Européenne et mis en œuvre par le Secrétariat ACP

MODULE 2 BIOTECHNOLOGIE: HISTOIRE, ÉTAT DE L'ART, FUTUR.

NOTES DE COURS: UNITÉ 3 *LA BIOTECHNOLOGIE AGRICOLE :* *L'ÉTAT DE L'ART*

**Dr Marcel Daba BENGALY
Université Ouaga I Pr Joseph KI ZERBO**

Version finale, février 2017

Avertissement

Cette publication a été produite avec l'aide de l'Union Européenne. Le contenu de cette publication est la responsabilité exclusive des auteurs et ne peut en aucun cas être pris pour refléter les points de vue de l'Union Européenne.

*Cette **Unité 3 du Module 2** fait partie intégrante des six modules de cours de niveau de maîtrise (chacun de 20 heures) dans le domaine de la biotechnologie agricole, tel qu'élaboré par le projet EDULINK-FSBA (2013-2017) qui sont:*

- Module 1: Sécurité alimentaire, systèmes agricoles et biotechnologie*
- **Module 2: Biotechnologie: histoire, état de l'art, avenir***
- Module 3: Réponse du public à l'essor de la biotechnologie*
- Module 4: Réglementation et approches politiques de la biotechnologie*
- Module 5: éthique et vision du monde en rapport avec la biotechnologie*
- Module 6: Adapter la biotechnologie: vers la responsabilité sociale et les approches spécifiques au pays*

PRÉSENTATION DU MODULE 2

INTRODUCTION

La réalisation de la sécurité alimentaire dans sa totalité (disponibilité alimentaire, accès économique et physique à la nourriture, l'utilisation des aliments et la stabilité au fil du temps) continue d'être un défi non seulement pour les pays en développement, mais aussi pour le monde développé. La différence réside dans l'ampleur du problème en termes de gravité et de proportion de la population touchée. Selon les statistiques de la FAO, 842 millions de personnes en 2011-2013, soit environ une personne sur huit dans le monde, souffraient de faim chronique. Malgré les progrès globaux, les différences marquées entre les régions persistent. L'Afrique reste la région avec la plus forte prévalence de la sous-alimentation, avec plus d'une personne sur cinq estimée être sous-alimentée. L'une des causes sous-jacentes de l'insécurité alimentaire dans les pays africains est la croissance **rapide de la population** (la population de l'Afrique devrait atteindre 2,4 milliards en 2050) ce qui rend les perspectives de sécurité alimentaire inquiétantes. Selon certaines projections, l'Afrique produira suffisamment de nourriture pour environ un quart de sa population d'ici 2025. Comment l'Afrique pourrait-elle faire face à son défi de la sécurité alimentaire? La biotechnologie est-elle la clé de la sécurité alimentaire en Afrique?

La capacité de la biotechnologie à éliminer la malnutrition et la faim dans les pays en développement grâce à la production de cultures résistantes aux ravageurs et aux maladies, Ayant plus longtemps durées de conservation, des textures et des arômes raffinés, des rendements plus élevés par unité de terres et de temps, tolérantes aux conditions météorologiques et au sol, etc., a été examiné par plusieurs auteurs. Si la biotechnologie en soi n'est pas une panacée pour les problèmes de la faim et de la pauvreté dans le monde, elle offre des potentiels exceptionnels pour accroître l'efficacité de l'amélioration des cultures, afin d'améliorer la production et la disponibilité alimentaires mondiales de manière durable. Une idée

fausse très répandue étant la pensée que la biotechnologie est relativement nouvelle et ne comprend que l'ADN et le génie génétique. La biotechnologie agricole est donc particulièrement controversée dans le monde entier et en Afrique, et le débat public comporte des vues et des opinions polarisées. Par conséquent, travailler à l'introduction durable de la biotechnologie pour la sécurité alimentaire en Afrique nécessite une compréhension conceptuelle solide par l'apprenant (acteurs et acteurs futurs) de ce qu'est la biotechnologie.

OBJECTIF GENERAL DU MODULE:

L'objectif principal est d'offrir une vue d'ensemble de la biotechnologie, intégrant l'histoire, les applications globales actuelles et futures, de manière à ce que ses applications en Afrique et les développements attendus puissent être discutés sur la base de connaissances solides des processus et méthodes utilisées pour manipuler les organismes vivants ou les substances et produits de ces organismes à des fins médicales, agricoles et industrielles.

OBJECTIFS SPECIFIQUES:

A l'achèvement réussi de ce module, l'apprenant devrait pouvoir :

- Démontrer une connaissance des faits essentiels de l'histoire de biotechnologie et la description d'événements scientifiques clés dans le développement de biotechnologie
- Démontrez la connaissance des définitions et des principes de biotechnologies antiques, classiques et modernes.
- Décrire la théorie, la pratique et le potentiel de biotechnologie actuelle et future
- Décrire et commencer à évaluer les aspects actuelle et future de la recherche et des applications de la biotechnologie.
- Sélectionner et gérer correctement les informations tirées des livres et articles pour communiquer des idées efficacement par écrit, à l'oral et par des moyens visuels sur des questions de biotechnologie.
- Démontrez une appréciation de biotechnologie en Afrique particulièrement dans la réalisation de la sécurité alimentaire.

STRUCTURE DU COURSE

Le contenu du cours est organisé en cinq unités comme suit:

- Unité 1: Introduction à la Biotechnologie, histoire et définition des concepts
- Unit 2: La Révolution Verte: impacts, limites, et le chemin à suivre
- **Unit 3: La Biotechnologie agricole : l'état de l'art**
- Unit 4: Tendances futures et perspectives de la biotechnologie agricole
- Unit 5: Sécurité Alimentaire et Biotechnologie en Afrique: options et opportunités

UNITÉ 3:

LA BIOTECHNOLOGIE AGRICOLE :

L'ETAT DE L'ART

(05 HEURES)

PRESENTATION

Objectif

L'objectif de l'unité est de faire un examen approfondi des applications actuelles de la biotechnologie classique et moderne. Il met l'accent sur les fondamentaux et les principes des techniques biotechnologiques appliquées dans des domaines clés de la sécurité alimentaire tels que la biotechnologie dans l'agriculture, l'élevage et la transformation des aliments. Dans la dernière section de l'unité, un aperçu des autres applications (médicales et environnementales) de la biotechnologie est donné. Les connaissances / compétences anticipées à développer sont de connaître les principales applications de la biotechnologie en: Agriculture, élevage, traitement des aliments.

Contenu

L'unité est organisée en 3 sections comme suit:

1. Applications de la biotechnologie en agriculture (*Env. 02 heures*)
2. Applications de la biotechnologie en élevage (*Env. 01 heure*)
3. Autres applications de la biotechnologie (*Env. 02 heures*)

Prestation du cours

Diapositives de cours

Les diapositives utilisées dans le cours sont des résumés qui ont pour objectif principal de guider l'apprenant dans son travail personnel (principalement la lecture de la littérature sélectionnée).

⇒ ***Lire les diapositives n'est pas un substitut suffisant pour ne pas assister au cours. Les diapositives ne contiennent rien que l'instructeur dit, écrit sur le tableau ou démontre pendant les conférences.***

Notes de cours

Les notes de cours offrent un aperçu d'un sujet (vous devrez compléter le détail) et des informations détaillées sur un sujet (vous devrez remplir le contexte). Il encourage à participer activement au cours en faisant des lectures de référence. ***Lire de préférence les documents techniques descriptifs avant le cours***

Pour continuer

L'apprenant peut être intéressé par :

- ⇒ Module 1 du cours FSBA sur “*Sécurité alimentaire, systèmes agricoles et biotechnologie*”
- ⇒ Module 3 du cours FSBA sur “*Adapter la biotechnologie: vers la responsabilité sociale et les approches spécifiques au pays Adapter la biotechnologie: vers la responsabilité sociale et les approches spécifiques au pays*”

APPLICATIONS DE LA BIOTECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

Cette section présente un aperçu des principaux développements et applications de la biotechnologie en agriculture. Il met l'accent sur le potentiel des techniques classiques d'amélioration des plantes, la culture des tissus et la micropropagation, la sélection moléculaire ou sélection assistée par marqueurs, le génie génétique et les cultures GM. Des outils de diagnostic moléculaire pour améliorer la productivité des cultures, la protection des cultures et la valeur nutritionnelle sont également abordés

Méthodes conventionnelles d'amélioration des plantes

Depuis 1900, les lois génétiques de Mendel ont fourni la base scientifique pour l'amélioration des plantes. Les méthodes conventionnelles peuvent être considérées comme la manipulation de la combinaison des chromosomes. Les principales procédures sont :

1. Les traits désirés peuvent être sélectionnés et utilisés pour la reproduction et la culture (sélection)
2. Les traits désirés trouvés dans différentes lignes de plantes peuvent être combinés ensemble (hybridation).
3. La polyploïdie peut contribuer à l'amélioration des cultures.
4. Une nouvelle variabilité génétique peut être introduite par des mutations spontanées ou induites artificiellement

Sélection

La sélection est la procédure basique la plus ancienne en sélection végétale. Il s'agit généralement de trois étapes distinctes. Premièrement un grand nombre de sélections sont faites à partir de la population originale génétiquement variable. Deuxièmement, les lignées de progéniture sont cultivées à partir des sélections de plantes individuelles à des fins d'observation. Après une élimination évidente, les sélections sont cultivées sur plusieurs années pour permettre des observations de performances dans différentes conditions environnementales pour faire des éliminations supplémentaires. Enfin, les lignées sélectionnées et consanguines sont comparées aux variétés commerciales existantes dans leurs performances de rendement et d'autres aspects d'importance agronomique.

Hybridation

Le but de l'hybridation est de rassembler les traits souhaités trouvés dans les différentes lignées de plantes dans une ligne de plante via la pollinisation croisée. La première étape consiste à générer des lignées homozygotes consanguines. Cela se fait normalement en utilisant des plantes

auto-pollinisatrices où le pollen de fleurs mâles pollinise les fleurs femelles des mêmes plantes. Une fois qu'une ligne pure est générée, elle est décroisée, c'est-à-dire combinée avec une autre ligne consanguine. Ensuite, la progéniture résultante est sélectionnée pour la combinaison des caractères souhaités.

Polyplôidie

La plupart des plantes sont diploïdes. Les plantes avec trois ou plusieurs lots complets de chromosomes sont communes et sont appelées polyplôïdes. L'augmentation des lots de chromosomes par cellule peut être artificiellement induite en appliquant la colchicine, ce qui conduit à un doublement du nombre de chromosomes. En général, l'effet principal de la polyplôidie est l'augmentation de la taille et de la variabilité génétique. D'autre part, les plantes polyplôïdes ont souvent une fertilité plus faible et croissent plus lentement.

Mutation induite

Au lieu de s'appuyer uniquement sur l'introduction de la variabilité génétique à partir du pool génétique des espèces sauvages ou d'autres cultivars, une alternative est l'introduction de mutations induites par des produits chimiques ou des rayonnements. Les mutants obtenus sont testés et sélectionnés en outre pour les caractères désirés. Le site de la mutation ne peut pas être contrôlé lorsque des produits chimiques ou des rayonnements sont utilisés comme agents de mutagenèse. Vu que la grande majorité des mutants portent des traits indésirables, cette méthode n'a pas été largement utilisée dans les programmes de sélection.

Culture des tissus et micropropagation

La **culture des tissus** végétaux, plus connu techniquement sous le nom **micropropagation**, peut être généralement défini comme étant un ensemble de méthodes utilisées pour produire un grand nombre de cellules végétales *in vitro* dans un environnement aseptique et étroitement contrôlée. Cette technique est efficace parce que presque toutes les cellules végétales sont totipotentes - chaque cellule possède l'information génétique et les machines cellulaires nécessaires pour générer un organisme entier. La micropropagation peut donc être utilisée pour produire un grand nombre de plantes qui sont génétiquement identiques à une plante mère et entre elles (voir Fig. 1/3 pour la culture des tissus et Fig. 2/3 pour des illustrations de micropropagation).

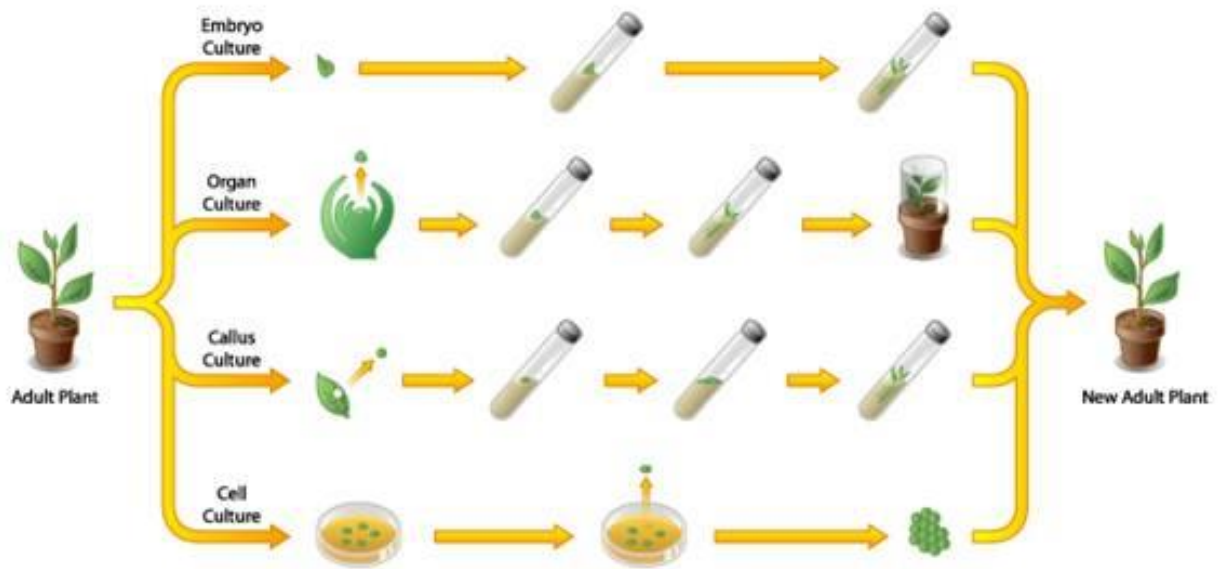


Fig. 1/3: Différents types de culture des tissus

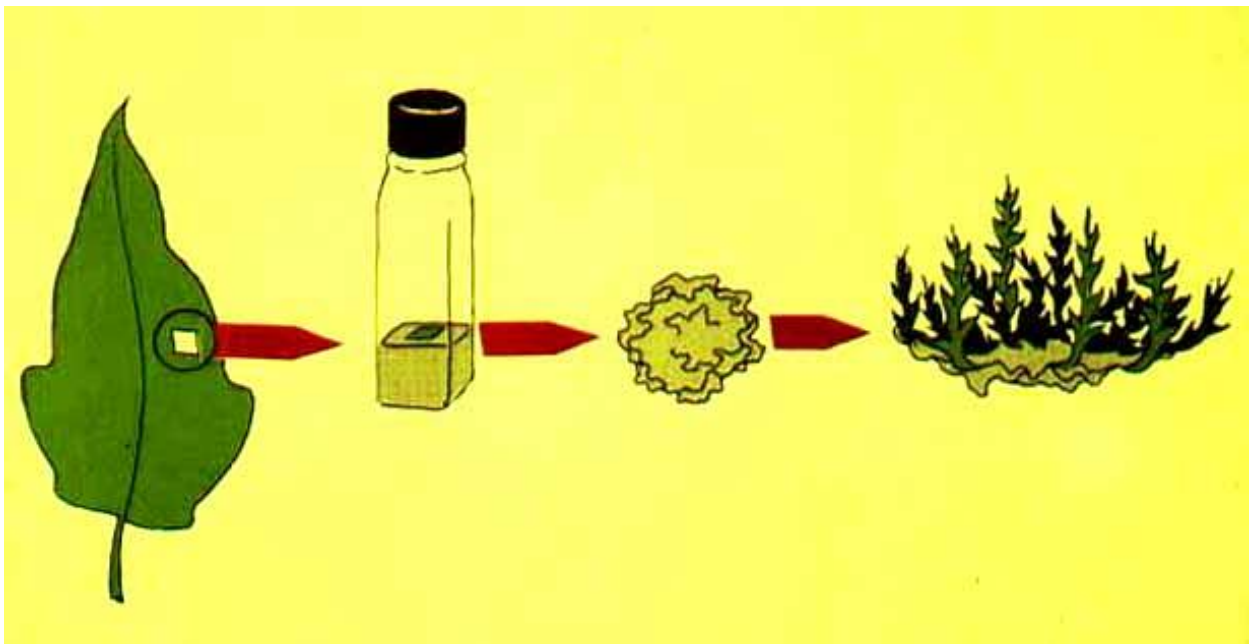


Fig. 2/3: Micropropagation

Ingénierie génétique

Le génie génétique est un terme utilisé pour la manipulation dirigée de gènes (transfert de gènes entre organismes ou changements dans la séquence d'un gène). Dans l'amélioration des plantes, la méthode la plus importante et déjà largement utilisée de ce type est le polymorphisme de longueur des fragments de restriction ou RFLP (*Restriction Fragment Long Polymorphism*).

D'autres méthodes sont: transfert de gène, expression transgénique, sélection et régénération végétale.

Polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP)

Le RFLP utilise des endonucléases de restriction. Après traitement d'un génome végétal par des endonucléases de restriction, l'ADN végétal est découpé en morceaux de longueur différente, en fonction du nombre de sites de reconnaissance sur l'ADN. Ces fragments peuvent être séparés en fonction de leur taille par électrophorèse sur gel. Comme deux génomes ne sont pas identiques même à l'intérieur d'une espèce donnée en raison de mutations, le nombre de sites de restriction et donc la longueur et le nombre de fragments d'ADN diffèrent, ce qui donne un motif de bande différent sur le gel d'électrophorèse. Cette variabilité a été appelée polymorphisme de longueur de fragment de restriction (RFLP).

Transfert de Gènes

Dans la reproduction conventionnelle, le pool de gènes disponibles et les traits qu'ils codent est limité en raison de l'incompatibilité sexuelle avec d'autres lignées de la culture en question et avec leurs parents sauvages. Cette restriction peut être surmontée en utilisant les méthodes de génie génétique qui permettent en principe d'introduire dans le génome de n'importe quelle plante des caractères précieux codés par des gènes spécifiques de n'importe quel organisme (autres plantes, bactéries, champignons, animaux, virus). Les premières expériences de transfert de gènes avec des plantes ont eu lieu au début des années 1980. Normalement, les transgènes sont insérés dans le génome nucléaire d'une cellule végétale.

Des plantes transgéniques ont été obtenues en utilisant un transfert d'ADN médié par *Agrobacterium* et un transfert direct d'ADN, ce dernier comprenant des procédés tels que le bombardement de particules, l'électroporation et la perméabilisation par polyéthylène glycol.

Voir plus sur:

Transfert d'ADN médié par *Agrobacterium*:

<http://rubisco.ugr.es/fisiofar/pagwebinmalcb/contenidos/Tema26/agrobacterium.pdf>

Bombardement de particules:

<http://www.hos.ufl.edu/sites/default/files/faculty/gamoore/ACCELL.pdf>

Electroporation et entrée directe d'ADN dans les protoplastes:

http://www.sonidel.com/NEPA21/Direct_Gene_Transfer_into_Plant_Mature_Seeds_via_Electroporation_After_Vacuum_Treatment.pdf

Sélection et régénération des plantes

Dans une expérience de transformation, la proportion de cellules transformées est généralement faible par rapport au nombre de cellules qui restent inchangées. Afin de sélectionner uniquement

les cellules qui ont réellement incorporé les nouveaux gènes, les gènes codant pour le caractère souhaité sont fusionnés à un gène qui permet la sélection de cellules transformées, ce que l'on appelle des gènes marqueurs. L'expression du gène marqueur permet aux cellules transgéniques de croître en présence d'un agent sélectif, habituellement un antibiotique ou un herbicide, tandis que les cellules sans le gène marqueur meurent. L'un des gènes marqueurs les plus couramment utilisés est le gène bactérien aminoglycoside-3 'phosphotransférase (APH (3') II), également appelé néomycine.

Voir plus sur la sélection et la régénération végétale à :

<https://ecommons.usask.ca/bitstream/handle/10388/etd-09162010-220916/chammi.pdf?sequence=1>

Génie génétique pour la protection des plantes

Les stratégies utilisant le génie génétique pour obtenir des plantes résistantes aux maladies et ravageurs ont obtenu différents degrés de résistance contre les insectes, les virus, les champignons et les bactéries avec différentes espèces de cultures comme :

- Résistance aux insectes phytophages

Voir plus à:

http://cdn.intechopen.com/pdfs/37968/InTech-Biotechnological_approaches_for_the_control_of_insect_pests_in_crop_plants.pdf

- Protection contre les infections virales

Voir plus à:

<http://www.iisc.ernet.in/currsci/feb102003/341.pdf>

- Résistance aux fongiques pathogènes

Voir plus à:

<http://www.isb.vt.edu/news/2011/nov/cropfungalsresistance.pdf>

- Résistance aux bactéries pathogènes

Voir plus à:

http://arquivo.ufv.br/dbv/pgfvg/bve684/htms/pdfs_revisao/estresse/transgenicapproaches.pdf

Culture biofortifiée en micronutriments

Les carences en micronutriments touchent plus de la moitié de la population mondiale, en particulier dans les pays en développement. Des efforts concertés internationaux et nationaux de fortification et de supplémentation pour lutter contre le fléau de carence en micronutriments ont eu un impact positif, toutefois, sans atteindre les objectifs fixés par les organisations internationales. La biofortification, la fourniture de micronutriments via des cultures denses en micronutriments, offre une approche rentable et durable, complétant ces efforts en atteignant les populations rurales.

➤ *Exemple de HarvestPlus: HarvestPlus est entrain de biofortifier sept cultures vivrières qui peuvent aider à réduire la malnutrition en micronutriments (faim cachée) en Asie et en Afrique (voir Tableau 1/3).*

Tableau 1/3: Cultures biofortifié en micronutriments de *HarvestPlus* en Asie et en Afrique

Haricot	Fer	RD Congo, Rwanda	2012
Manioc	Vitamine A	RDCongo, Nigeria	2011
Maïs	Vitamine A	Nigeria, Zambie	2012
Petit Mil	Fer	Inde	2012
Riz	Zinc	Bangladesh, Inde	2013
Patate douce	Vitamine A	Mozambique, Uganda	2007
Blé	Zinc	Inde, Pakistan	2013

Voir plus sur Cultures biofortifié de HarvestPlus à:

- a) <http://www.harvestplus.org/what-we-do/crops>
- b) <http://iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/1606.pdf>

APPLICATIONS DE LA BIOTECHNOLOGIE EN ELEVAGE

La biotechnologie animale englobe un large éventail de techniques pour l'amélioration génétique des espèces animales domestiquées, bien que le terme soit de plus en plus associé aux technologies les plus controversées du clonage et du génie génétique. Malgré les nombreuses applications potentielles de ces deux biotechnologies, aucune entité publique ou privée n'a encore livré un produit agroalimentaire génétiquement modifié au marché mondial. L'industrie de la biotechnologie animale est confrontée à diverses questions scientifiques, réglementaires, éthiques et d'acceptation du public. Une communication efficace et responsable entre les intervenants scientifiques, communautaires, industriels et gouvernementaux est nécessaire pour parvenir à un consensus sociétal sur les utilisations acceptables du clonage animal et du génie génétique.

Dans cette section, la contribution de la biotechnologie à la production animale en améliorant la composante environnementale des systèmes de production ainsi que la composition génétique du bétail est examinée. Suite à cet aperçu général, des sujets spécifiques tels que le transfert d'embryons, la fécondation transgénique, in vitro, le sexage des embryons, le clonage et le knock-out des gènes sont examinés

Alimentation, croissance et production

La biotechnologie peut augmenter la digestibilité du fourrage grossier de mauvaise qualité et modifier génétiquement les plantes pour améliorer leur valeur alimentaire, comme l'équilibre des

acides aminés. Il peut également fournir des hormones et d'autres substances qui augmentent la taille des animaux, la productivité et les taux de croissance. L'hormone synthétique bST (somatotropine bovine) était parmi les premières innovations disponibles sur le marché. Il peut augmenter le rendement du lait de 10 à 15 pour cent chez les vaches en lactation. Les efforts actuels de développement visent toute une gamme de gènes qui affectent la croissance et la production au sein de l'animal. Les façons d'engendrer génétiquement du bétail pour augmenter leur propre production d'hormones naturelles sont envisagées, ce qui élimine le besoin de bST synthétique. La somatotropine bovine recombinante produite localement (BST) est utilisée en Corée comme stimulant de croissance et pour une production de lait accrue chez les bovins. D'autres technologies importantes liées à l'alimentation et à la digestion sont les suivantes : additifs alimentaires, amélioration génétique des cultures fourragères et autres

Additifs alimentaires

Les produits à base de cellules de levure riches en protéines sont utilisés comme additif alimentaire pour les bovins, les porcs et la volaille. Hautement agréables et nutritifs, ces produits contribuent également à créer un équilibre sain des bactéries dans le tube digestif et à prévenir la diarrhée bactérienne. Une formule de phytase bactérienne, TRANSPHOS, est utilisée pour remplacer le coûteux phosphate minéral utilisé comme additif dans l'alimentation des animaux monogastriques en Corée. Aux Philippines, on produit une bactériocine qui possède des propriétés antibactériennes contre *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* et d'autres agents pathogènes trouvés dans l'alimentation du bétail et les aliments humains.

Le monohydrochlorure de L-lysine, une forme sûre et stable de lysine, est produit en Corée par la fermentation d'une souche spéciale de bactéries dans la mélasse brute. La lysine est l'un des acides aminés les plus essentiels. Les exigences en matière d'élevage ne sont guère satisfaites par la quantité présente dans les aliments naturels. La supplémentation en lysine améliore le bilan nutritionnel des aliments pour animaux et les taux de conversion des aliments pour animaux par le bétail.

Amélioration génétique des cultures fourragères

La culture des tissus est utilisée pour l'amélioration génétique des cultivars fourragers en Corée, y compris la luzerne et le dactyle pelotonné. Un système de bombardements de particules a été développé en Corée pour transférer des gènes utiles avec tolérance à la chaleur, tolérance à la sécheresse, etc. dans des cultures fourragères. Un produit d'ADN cloné de *Brassica campestris* confère une tolérance de chaleur à des cultures fourragères qui ne croissent généralement pas bien à des températures supérieures à 30°C. Cela améliorera la productivité des cultures

fourragères tropicales et contribuera également à éviter la dépression dans le rendement fourragé observé pendant l'été en Corée. Un autre gène utile qui est transféré dans des cultures fourragères donne une résistance au paraquat. Il s'agit d'un herbicide non sélectif qui tue toutes les plantes vertes. Si les cultures fourragères peuvent recevoir un gène résistant, le paraquat deviendra un moyen simple et efficace de maîtriser les mauvaises herbes dans les prairies.

Autres améliorations dans l'alimentation

Dans l'amélioration de l'ensilage, on sélectionne des souches de bactéries *Lactobillus planétarium* qui augmentent la teneur en lactate et réduisent le pH et la teneur en ammoniac-N. La nourriture Copra (fabriqué à partir de noix de coco séchée après extraction de l'huile) est inoculée avec un isolat de sol bactérien aux Philippines. La nourriture traitée est un aliment de bétail plus nutritif et digestible, avec une teneur en fibres inférieure, que le repas non traité.

Traitement des déchets

Une bactérie, *Rhodopseudomonas capsulata*, a la capacité de croître rapidement dans des milieux synthétiques simples. Il est utilisé dans les usines de pointe de traitement des déchets porcins au Japon et en Corée. Les acides gras à chaîne courte, l'une des principales sources de mauvaises odeurs de déchets porcins, ont considérablement diminué après le traitement. Les résidus après traitement peuvent être utilisés comme engrais organique sûr.

Reproduction animale

La biotechnologie peut accélérer considérablement la vitesse à laquelle des caractéristiques souhaitables (par exemple, de meilleurs taux de croissance ou augmentation de la production de lait) peuvent être introduites chez les animaux. Même si l'élevage classique pour améliorer les traits des animaux fonctionne bien, il faut des décennies pour produire des changements majeurs. Grâce à la biotechnologie, un organisme peut être modifié directement en très peu de temps si le gène approprié a été identifié.

Une découverte récente de la reproduction animale est l'application combinée l'existante fertilisation *in vitro* et la technique de récupération des ovocytes transvaginales guidée par ultrasons (OPU) à la fine pointe de la technologie chez les bovins. Lorsque les génisses atteignent la puberté aux 11-12 mois, leurs ovocytes peuvent être récupérés chaque semaine ou même deux fois par semaine pour la production d'embryons et le transfert d'embryon.

Il existe même la possibilité d'appliquer cette technologie aux juvéniles. De cette façon, des veaux féminins de haute valeur peuvent être utilisés pour l'élevage bien avant qu'ils atteignent leur âge de reproduction normal.

Amélioration du taux de reproduction

En Corée, au Japon et en Taïwan, une gamme d'implants hormonaux et de traitements sont utilisés pour augmenter la production d'ovocytes et d'embryons de mammifères. Diverses techniques de refroidissement et de congélation ont été développées pour la préservation des ovocytes et / ou des embryons, y compris la congélation ultra-rapide par microscope électronique.

Le transfert d'embryon est utilisé sur des animaux recherché, de sorte que les ovocytes et les embryons provenant d'animaux de grande valeur sont transférés dans l'utérus des mères porteuses. En Corée et en Taïwan, un test de PCR (réaction en chaîne de la polymérase) a été développé pour établir le sexe des embryons de bétail. Ceci est très important, en particulier lorsqu'il est combiné avec le transfert d'embryon, puisqu'il permet le contrôle du sexe de la progéniture. Des tests similaires sont en cours d'élaboration pour d'autres types de bétail. Le test de gonflement hypo-osmotique a été développé pour évaluer la qualité du sperme bovin congelé et décongelé.

Amélioration des animaux transgéniques

En Taïwan, des porcs transgéniques ont été élevés avec un transgène de lactoferrine porcine. La lactoferrine est une protéine du lait qui favorise la croissance intestinale et prévient la diarrhée. Les truies avec ce gène maintiennent un niveau élevé de lactoferrine dans leur lait tout au long de la lactation. Les sangliers transgéniques peuvent transmettre ce gène à leur progéniture.

Des marqueurs génétiques pour les traits de production laitière ont été établis pour les bovins laitiers. Ce serait un excellent avantage pour identifier les meilleurs ascendants pour un troupeau de produits laitiers à haut rendement.

Santé animal

Un des avantages importants de la biotechnologie est le diagnostic des maladies du bétail et des maladies génétiquement transmises qui nuisent à la santé et à la productivité. Les techniques biologiques peuvent également produire des médicaments moins chers et plus efficaces. Dans les cas où un matériau source naturel est prohibitif, l'ingénierie génétique (dans les systèmes de culture microbienne ou tissulaire) peut être utilisée pour produire des médicaments de grande valeur pour les humains ou les animaux. Comme exemples on peut citer l'insuline, l'hormone de croissance humaine et l'activateur de plasminogène tissulaire (utilisé dans le traitement des maladies cardiaques).

Vaccins

Les vaccins sont utilisés pour stimuler le système immunitaire d'un animal pour produire les anticorps nécessaires pour prévenir l'infection. La technologie de l'ADN recombinant a fourni les moyens de produire de grandes quantités de vaccins peu coûteux, tandis qu'une meilleure compréhension du système immunitaire a contribué à la production de vaccins qui améliorent le fonctionnement du système immunitaire. Ces produits d'ingénierie sont plus sûrs que les vaccins traditionnels. Alors que les vaccins conventionnels reviennent parfois à des formes virulentes (causant des maladies), les nouveaux vaccins peuvent être conçus pour éliminer cette menace. La biotechnologie produit également une utilisation entièrement nouvelle pour les vaccins. Ils sont utilisés pour moduler les hormones pour augmenter les taux de croissance, améliorer l'efficacité de la conversion alimentaire, stimuler la production de lait, contribuer à améliorer la qualité de la carcasse et la viande maigre, et améliorer ou supprimer les fonctions de reproduction.

Certains développements récents incluent les éléments suivants:

- En Taiwan, un vaccin à ADN avec un gène cible codé est utilisé pour produire de nouveaux vaccins. Des tests ont montré que les vaccins à ADN induisaient systématiquement une réponse d'anticorps et étaient résistants à l'épreuve des toxines.
- Ils ont également d'autres avantages. Ils offrent une protection contre les maladies pour lesquelles aucun vaccin n'est actuellement disponible. Leur production n'a pas besoin d'agents infectieux dangereux. Avec la production en série, ils ne coûteront pas cher à la production. Vu qu'ils sont stables à température ambiante, les coûts de stockage seront également faibles.
- Des scientifiques coréens ont développé un vaccin combiné contre la pleuropneumonie, la pasteurellose pneumonique et la pneumonie enzootique chez les porcs. La biologie moléculaire a été utilisée pour produire un vaccin amélioré pour protéger les porcs contre la peste porcine. Aux Philippines, il a été utilisé pour développer un vaccin amélioré pour protéger les bovins et les buffles des indes contre la septicémie hémorragique. Cette maladie est la principale cause de décès chez ces animaux. Le nouveau vaccin offre une protection améliorée à un coût très faible. Un kit de terrain a également été développé pour diagnostiquer cette maladie à partir d'écouvillons de nez.
- Un certain nombre de vaccins améliorés pour la volaille ont également été développés aux Philippines pour protéger les oiseaux contre la maladie de Newcastle, le choléra aviaire et le coryza infectieux.

Diagnostic

Au Japon et à Taiwan, les tests d'ADN sont utilisés pour diagnostiquer les faiblesses héréditaires du bétail. Un test identifie le gène qui produit le syndrome du stress porcin chez les porcs. Les porcs avec ce gène ont tendance à produire une viande pâle et de mauvaise qualité lorsqu'ils subissent le stress du transport ou de l'abattage. Maintenant que les cochons avec ce gène peuvent être identifiés, ils peuvent être exclus des programmes d'élevage, de sorte que le gène deviendra moins commun.

L'ADN est également utilisé au Japon pour diagnostiquer une mutation du bétail Holstein qui cause une carence en adhésion au leucocyte. Le bétail avec cette affection souffre de maladies de la gomme, de la perte de dent et de la croissance rabougrie. Ils meurent habituellement avant d'avoir un an. Ce test identifiera les transporteurs et les éliminera des élevages. Les taureaux utilisés pour l'élevage peuvent être testés pour s'assurer qu'ils ne sont pas des transporteurs. Un autre test d'ADN identifie un état héréditaire qui produit une anémie et une croissance retardée chez les bovins noirs japonais.

Produits animaux

La biotechnologie peut conduire à des produits animaux nouveaux et améliorés. Par exemple, elle peut modifier la composition du lait ou la teneur en matière grasse de la viande. Les vaches transformées génétiquement peuvent produire des laits design avec des propriétés supérieures pour une utilisation dans divers produits laitiers. Les caséines ajoutées dans le lait, par exemple, peuvent améliorer la fabrication du fromage. L'augmentation du groupe phosphate dans la caséine peut augmenter le taux de calcium. L'élimination de la source d'intolérance au lactose dans le lait peut avoir un impact significatif sur le marché des produits laitiers, en particulier pour les 90% des personnes afro-asiatiques ou africaines intolérantes au lactose.

Certains produits nouveaux obtenus par la biotechnologie dans la région asiatique incluent:

- Présure microbienne qui peut être utilisée à la place d'une présure animale pour coaguler le lait lors de la fabrication du fromage;
- Nouvelle bactérie acide lactique produite par technique de fusion cellulaire;
- Agent antimicrobien sûr, composé de lait écrémé et de glucose, qui prolonge la durée de conservation du lait frais;
- Peptides biologiquement actifs extraits du sang d'animaux dans les abattoirs. Ceux-ci peuvent être utilisés comme additif dans les aliments fonctionnels pour améliorer la santé humaine;

- Colorant extrait du sang animal, pour remplacer partiellement le nitrite dans les produits à base de viande.

Voir plus de Biotechnologie en élevage à :

- a) https://www.abca.com.au/wp-content/uploads/2012/09/ABCA_InfoPaper_5_v2.pdf
- b) http://people.forestry.oregonstate.edu/steve-strauss/sites/people.forestry.oregonstate.edu/steve-strauss/files/VanEenennaam_2006_CalAg_AnBiotech.pdf

AUTRES APPLICATIONS DE LA BIOTECHNOLOGIE

La dernière section présente les applications non alimentaires de la biotechnologie avec une référence spécifique à la médecine et l'environnement. Un aperçu des progrès de la biotechnologie avec de nouvelles connaissances sur les causes des maladies et les possibilités de développement de nouvelles thérapies, de médicaments, d'outils de diagnostic et de recherche/instrumentation clinique est donné. L'état de l'art en biotechnologie environnementale (bioremédiation, biocapteur, biocarburants, écologie moléculaire) est également révisé. Divers sujets pertinents sont choisis pour illustrer chacun des principaux domaines de la biotechnologie environnementale.

Applications biotechnologiques dans l'environnement

L'application de la biotechnologie pour résoudre les problèmes environnementaux dans l'environnement et dans les écosystèmes est appelée biotechnologie environnementale. Selon la Société internationale pour la biotechnologie environnementale, la biotechnologie environnementale est définie comme un environnement qui aide à développer, à utiliser efficacement et à réguler les systèmes biologiques et à prévenir l'environnement de la pollution ou de la contamination de la terre, de l'air et de l'eau pour soutenir une société respectueuse de l'environnement. Les principaux types d'applications de biotechnologie environnementale sont:

1. Biomarqueurs ou produit chimique qui aide à mesurer le niveau des dommages causés ou l'exposition de la toxicité ou l'effet de la pollution
2. Bioénergie comme le Biogaz, biomasse, combustibles et hydrogène.
3. Bioremédiation pour le nettoyage des substances dangereuses par transformation en composés non toxiques ...
4. Biotransformation pour la modification du complexe / toxiques en composés non toxiques simples

Biomarqueurs

Les biomarqueurs sont caractérisés par un ordre unique dans leurs structures moléculaires et sont les premiers outils sentinelles pour les mesures des effets sensibles dans la qualité environnementale ou l'évaluation des processus biotechnologiques. La principale importance des biomarqueurs réside dans leur propriété à mesurer en utilisant différentes approches biochimiques et moléculaires. La récente application et / ou étude des biomarqueurs et sa corrélation à l'ère omique, a revalorisé les nouveaux rôles des biomarqueurs dans les biotechnologies environnementales. Certains des biomarqueurs communs utilisés réellement, à savoir les pigments, l'induction enzymatique du cytochrome P4501A, l'inhibition de

l'acétylcholinestérase, l'intégrité de l'ADN et les métallothionines sont analysés en même temps que les applications récentes des technologies Omics pour optimiser les réseaux métaboliques des biomes vivants. Les nouveaux développements sous l'égide des outils moléculaires indépendants de la culture appliqués aux analyses des associations microbiennes mixtes ont contribué à la compréhension du catabolisme à partir de contaminants dans des environnements extrêmes et fragiles. Ces approches ouvrent la place aux nouveaux biomarqueurs pour une augmentation de la biodiversité attendue d'env. 99% supérieur à la classification conventionnelle. Les gènes fonctionnels par les réseaux métagénomiques, amélioreront considérablement notre compréhension de l'interaction microbienne et du métabolisme pour faciliter le développement de stratégies de bioremédiation appropriées pour le nettoyage de l'environnement. Voir dans le Tableau 2/3 des applications particulières de biomarqueurs moléculaires.

Tableau 2/3: Biomarqueurs moléculaires particuliers des effets biologiques des contaminants sur les organismes aquatiques et la technique analytique respective de leurs mesures

Biomarqueurs	Détection/Application	Outils d'analyse
Pigments	Présence de photosynthèse Antioxydants spécifiques, Vit A	Fluorescence, HPLC, spectre de masse
Cytochrome P4501A	Présence de contamination organique certains HAP, PCB, PCDD, etc.	Activité enzymatique (fluorométrie et spectroscopie) et quantité (Elisa)
Dommmages d'ADN	Présence / endommagement des bio-biotiques organiques (HAP, PCB et PCDD)	Mesure des cassures simple brin de l'ADN.
AChE inhibition	Indicateur d'exposition au carbamate organo-phosphoreux, aux toxines, aux métaux (Cd, Pb, Cu, etc.).	Activité enzymatique (pH spectrophotomètre)
Métallothionéines	Indicateur d'exposition aux métaux (Zn, Cu, Cd et Hg). Dans: les vertébrés (mammifères) et les invertébrés (mollusques, poissons) Algues.	Protéines (polarographie des impulsions, chromatographie liquide)

Source: Paniagua-Michel J, Olmos-Soto J (2016)

Bioénergie

Le remplacement des combustibles fossiles par des sources plus neutres en carbone et renouvelables est devenu une nécessité essentielle du temps. La proposition selon laquelle l'énergie peut être obtenue à partir de la biomasse avec un bilan énergétique décisivement positif et à une échelle suffisamment importante pour avoir un impact important sur la durabilité et les objectifs de sécurité est soutenue par plusieurs études récentes. Développer une économie durable plus largement basée sur le carbone renouvelable et les bioprocédés éco-efficaces est l'un des principaux défis stratégiques pour le XXIe siècle.

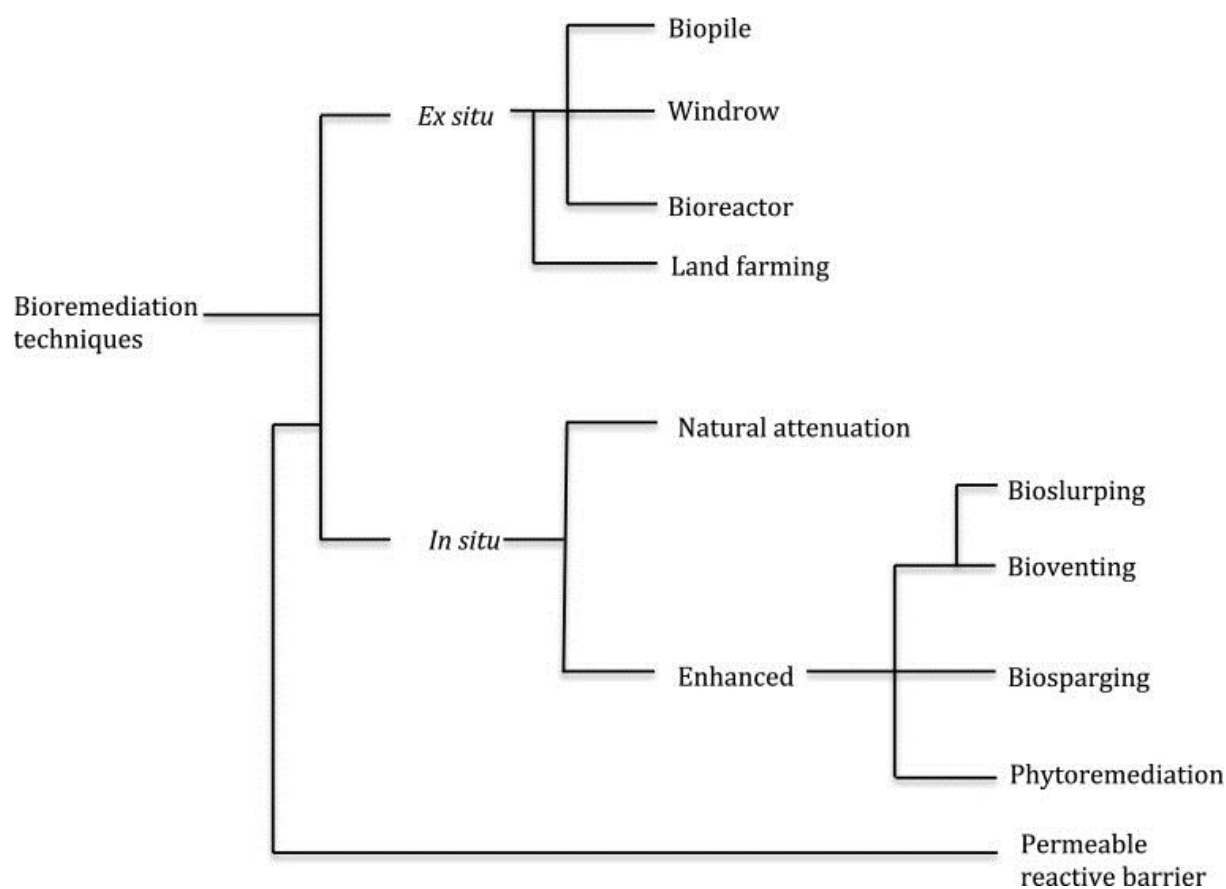
Il y a eu une croissance spectaculaire de la production de biocarburants ces derniers temps. La production mondiale de biocarburants a triplé entre 2000 et 2007, et les biocarburants représentaient environ 1,6% du carburant de transport mondial en 2012 (Agence internationale de l'énergie). En 2015, la production d'éthanol était de loin la plus grande contribution de la biotechnologie à la production d'énergie, avec un chiffre d'affaires de 40,9 milliards de dollars dans le monde en 2014 contre 3,8 milliards de dollars pour le biodiesel et de 0,019 milliard de dollars pour le bio-méthane. Il est logique d'imaginer la contribution future de la biotechnologie à la production mondiale d'énergie peut augmenter non seulement dans le domaine de la production de biocarburants, mais aussi dans la production pétrolière, l'amélioration du pétrole, la production de biogaz, la production chimique, l'amélioration des cultures, la bioremédiation, la corrosion microbiologiquement influencée, le voyage dans l'espace, et d'autres sujets.

Cependant, les contributions futures de la biotechnologie à l'industrie de l'énergie ne sont pas seulement influencées par les progrès techniques en biotechnologie, mais aussi par le prix des combustibles fossiles, le développement des énergies renouvelables en général, la politique, la croissance de la population mondiale et d'autres facteurs. Les préoccupations concernant l'utilisation des cultures pour la production alimentaire par rapport à la production de carburant, les effets environnementaux de l'utilisation des sols liés à la production de biocarburants, la baisse des prix du pétrole; les progrès croissants dans la génération et l'utilisation de l'énergie éolienne et solaire, et la volonté politique de promouvoir / subventionner le développement de l'énergie alternative influencent également les facteurs

Bioremédiation

L'environnement mondial est maintenant confronté à une situation très critique en raison de l'urbanisation rapide et de l'industrialisation ainsi que de l'augmentation de la population avec des ressources naturelles limitées. La croissance démographique reflète les changements drastiques du style de vie des personnes qui ont créé un stress anthropique sur l'environnement. Les systèmes de gestion environnementale hautement développés et la recherche de technologies biotechnologiques nécessitent l'élimination des matières contaminées et le rétablissement des ressources naturelles. La bioremédiation est maintenant considérée comme la méthode alternative la plus utile pour éradiquer la matière contaminée de la nature pour la gestion durable des déchets. Maintenant, avec l'avancée récente de l'approche génétique le processus de bioremédiation pour la protection de l'environnement naturel en recyclant les déchets multipliée.

La bioremédiation se réfère à l'utilisation productive de microorganismes pour éliminer ou détoxifier les polluants, habituellement en tant que contaminants des sols, de l'eau ou des sédiments qui menacent autrement la santé humaine. Le traitement biologique, la valorisation biologique et la restauration biologique sont les autres terminologies pour la bioremédiation. La bioremédiation n'est pas une nouvelle pratique. Les micro-organismes ont été utilisés pendant de nombreuses années pour éliminer les matières organiques et les produits chimiques toxiques provenant des rejets de déchets domestiques et industriels. La bioremédiation peut être effectuée ex situ ou in situ, en fonction de plusieurs facteurs, qui comprennent, mais sans limite de coût, les caractéristiques du site, le type et la concentration des polluants. (Voir Fig. 3/3 pour les techniques de bioremédiation).



Source: World J Microbiol Biotechnol. 2016; 32(11): 180.

Fig. 3/3: Techniques de Bioremédiation

Biotransformation

La biotransformation de divers polluants est un moyen durable de nettoyer les environnements contaminés. Ces méthodes de bioremédiation et de biotransformation exploitent la diversité catabolique microbienne naturelle pour dégrader, transformer ou accumuler une vaste gamme de composés comprenant des hydrocarbures (par exemple l'huile), des polychlorobiphényles (PCB),

des hydrocarbures polycycliques (HAP), des substances pharmaceutiques, des radionucléides et des métaux

Les dernières découvertes méthodologiques au cours des dernières années ont permis des analyses détaillées de génomique, de métagénomique, de protéomique, de bioinformatique et d'autres analyses performantes de microorganismes respectueux de l'environnement offrant des connaissances sans précédent sur la biotransformation et les voies biodégradantes et la capacité des organismes à s'adapter aux conditions environnementales changeantes.

Les processus biologiques jouent un rôle majeur dans l'élimination des contaminants et des polluants de l'environnement. Certains microorganismes possèdent une étonnante polyvalence catabolique pour dégrader ou transformer de tels composés. De nouvelles découvertes méthodologiques dans le séquençage, la génomique, la protéomique, la bioinformatique et l'imagerie fournissent de nombreuses quantités d'informations. Dans le domaine de la microbiologie de l'environnement, les études mondiales basées sur le génome ouvrent une nouvelle ère offrant des vues in silicotiques sans précédent sur les réseaux métaboliques et réglementaires, ainsi que des indices sur l'évolution des voies biochimiques pertinentes à la biotransformation et aux stratégies d'adaptation moléculaire aux conditions environnementales changeantes. Les approches fonctionnelles génomiques et métagénomiques augmentent notre compréhension de l'importance relative de différentes voies et réseaux réglementaires pour le flux de carbone dans des environnements particuliers et pour des composés particuliers et ils accélèrent le développement des technologies de bioremédiation et des processus de biotransformation. Il existe également une autre approche de la biotransformation appelée biotransformation enzymatique.

Voir plus de biotechnologie de l'environnement à:

- a) <https://www.omicsonline.org/open-access/modern-approaches-into-biochemical-and-molecular-biomarkers-keyroles-in-environmental-biotechnology-2155-952X-1000216.php?aid=68300&view=mobile>
- b) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4741079/>
- c) https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-81-322-2065-7_29
- d) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5026719/>

Applications de la biotechnologie en médecine

Des améliorations substantielles dans les soins de santé humains et la production d'espèces et races utiles de plantes et d'animaux ont déjà eu lieu et d'autres se produiront dans les années à venir. La médecine a déjà beaucoup bénéficié de nouvelles biotechnologies (l'insuline humaine, premier produit de la biotechnologie, a été mise en vente en 1982). De nos jours, la médecine utilise beaucoup les techniques biotechnologiques pour diagnostiquer et traiter différentes

maladies. Cela permet également aux gens de se protéger contre les maladies dangereuses. Le domaine de la biotechnologie, le génie génétique, a introduit des techniques telles que la thérapie génique, la technologie de l'ADN recombinant et la réaction en chaîne de la polymérase qui utilisent des gènes et des molécules d'ADN pour diagnostiquer les maladies et insérer des gènes nouveaux et sains dans le corps qui remplacent les cellules endommagées. Certaines applications de la biotechnologie jouent leur rôle dans le domaine de la médecine et donnent de bons résultats:

Biopharmaceutiques

En utilisant les techniques de biotechnologie, les médicaments biopharmaceutiques ont été développés. Il n'y a pas de produits chimiques impliqués dans la synthèse de ces médicaments, mais les microorganismes ont permis de les développer. De grandes molécules de protéines sont généralement la source de produits biopharmaceutiques. Ils sont ciblés dans le corps pour attaquer les mécanismes cachés de la maladie et les détruire. Maintenant, les scientifiques essaient de développer de tels médicaments biopharmaceutiques qui peuvent être traités contre les maladies comme l'hépatite, le cancer et les maladies cardiaques.

Ces médicaments sont fabriqués de plusieurs façons et une méthode de développement de ces médicaments est le bioréacteur. Le bioréacteur est un récipient utilisé pour cultiver des microorganismes sous la température spécifique et d'autres conditions requises. Ces microorganismes font ensuite des produits biopharmaceutiques. Bien que les plantes et les animaux génétiquement modifiés puissent également être utilisés pour fabriquer des produits biopharmaceutiques, il existe cependant diverses questions éthiques et juridiques concernant ces animaux et ces plantes.

Thérapie génique

La thérapie génique est une autre technique de biotechnologie utilisée pour traiter et diagnostiquer des maladies comme le cancer et la maladie de Parkinson. Le mécanisme de cette technique est que les gènes sains sont ciblés dans le corps qui détruit les cellules endommagées ou les remplacent. Dans certains cas, les gènes sains font des corrections dans l'information génétique et c'est ainsi que les gènes commencent à fonctionner en faveur du corps.

Pharmacogénomique

La pharmacogénomique est une autre technique génétiquement modifiée qui est utilisée pour étudier l'information génétique d'un individu. Il analyse la réponse du corps à certains

médicaments. C'est la combinaison de produits pharmaceutiques et de génomique. L'objectif de ce domaine est de développer de tels médicaments qui sont insérés dans l'individu en fonction de l'information génétique de l'individu.

Test génétique

Les tests génétiques sont une technique de génétique qui sert à déterminer les maladies génétiques chez les parents, le sexe et le dépistage des porteurs. La méthode de test génétique consiste à utiliser des sondes d'ADN qui ont des séquences similaires aux séquences mutées. Cette technique sert également à identifier les criminels et à tester la paternité de l'enfant.

☞ ***Des scientifiques travaillent dans le domaine de la recherche pour développer de nouveaux médicaments et vaccins et trouvent également des remèdes pour les maladies difficiles à traiter au cours de la dernière décennie. La biotechnologie est-elle un domaine de miracle ?***

Voir plus de biotechnologie en médecine à:

- a) http://www.irjabs.com/files_site/paperlist/r_1035_13081
- b) https://www.roche.de/en/innovation/grundlagen/biotechnology_new_ways_in_medicine.pdf
- c) <http://www.biotecharticles.com/Others-Article/Applications-of-Biotechnology-in-Medicine-134.html>

CONCLUSION

Certains scientifiques ont conclu qu'aucun domaine de la science ne peut réussir que s'il utilise les techniques de la biotechnologie. Il ne fait aucun doute que la biotechnologie peut apporter des améliorations dans l'agriculture, l'élevage, la santé et l'environnement. Elle peut le faire tout en conservant les ressources naturelles et l'environnement. Étant donné que la biotechnologie est si nouvelle, ces techniques peuvent ne pas être très avantageuses pour les petits exploitants. Sa contribution dans l'avenir pourrait être énorme, mais seulement si les scientifiques et les institutions travaillant dans ce domaine se concentrent sur les besoins des agriculteurs. Ils doivent s'assurer que la technologie est développée et étendue d'une manière qui profitera aux agriculteurs ordinaires. Les progrès de la biotechnologie nécessitent un personnel hautement qualifié et des équipements et installations à la fine pointe de la technologie. Il y a un danger que, dans les pays et entre les nations, les pauvres restent à la périphérie alors que les prospères prennent la plupart des bénéfices.

Références

1. Arthikala M, Nanjareddy K, Lara M, Sreevathsa R. Utility of a tissue culture-independent agrobacterium-mediated in planta transformation strategy in bell pepper to develop fungal disease resistant plants. *Scientia Horticulturae* 2014 5/7;170(0):61-9.
2. Ashraf M. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnol Adv* 2010 0;28(1):169-83.
3. Ashraf M, Akram NA. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: An analytical comparison. *Biotechnol Adv* 2009 0;27(6):744-52.
4. Awad MA. Promotive effects of a 5-aminolevulinic acid-based fertilizer on growth of tissue culture-derived date palm plants (*Phoenix dactylifera* L.) during acclimatization. *Scientia Horticulturae* 2008 9/2;118(1):48-52.
5. Boggess MV, Lippolis JD, Hurkman WJ, Fagerquist CK, Briggs SP, Gomes AV, Righetti PG, Bala K. The need for agriculture phenotyping: "Moving from genotype to phenotype". *Journal of Proteomics* 2013 11/20;93(0):20-39.
6. Bonneau M, Laarveld B. Biotechnology in animal nutrition, physiology and health. *Livest Prod Sci* 1999 6;59(2-3):223-41.
7. Bulfield G. Farm animal biotechnology. *Trends Biotechnol* 2000 1/1;18(1):10-3.
8. Carinhas N, Oliveira R, Alves PM, Carrondo MJT, Teixeira AP. Systems biotechnology of animal cells: The road to prediction. *Trends Biotechnol* 2012 7;30(7):377-85.
9. Carioca JOB, Hiluy Filho JJ, Leal MRLV, Macambira FS. The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil. *Biotechnol Adv* 2009 0;27(6):1043-50.
10. Cereghino GPL, Cregg JM. Applications of yeast in biotechnology: Protein production and genetic analysis. *Curr Opin Biotechnol* 1999 10/1;10(5):422-7.
11. Contran N, Chessa L, Lubino M, Bellavite D, Roggero PP, Enne G. State-of-the-art of the *Jatropha curcas* productive chain: From sowing to biodiesel and by-products. *Industrial Crops and Products* 2013 3;42(0):202-15.
12. Cummins JM. Cytoplasmic inheritance and its implications for animal biotechnology. *Theriogenology* 2001 4/1;55(6):1381-99.
13. Davies KM, Deroules SC. Prospects for the use of plant cell cultures in food biotechnology. *Curr Opin Biotechnol* 2014 4;26(0):133-40.
14. de Fossard RA. Tissue-culture guide: Plant tissue culture: Techniques and experiments (2nd edn). *Trends Plant Sci* 2001 2/1;6(2):85.
15. Eicher CK, Maredia K, Sithole-Niang I. Crop biotechnology and the African farmer. *Food Policy* 2006 12;31(6):504-27.
16. Faber DC, Molina JA, Ohlrichs CL, Vander Zwaag DF, Ferré LB. Commercialization of animal biotechnology. *Theriogenology* 2003 1/1;59(1):125-38.
17. Gaston C, Globerman S, Vertinsky I. Biotechnology in forestry: Technological and economic perspectives. *Technological Forecasting and Social Change* 1995 9;50(1):79-92.
18. Ghormade V, Deshpande MV, Paknikar KM. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnol Adv* 2011 0;29(6):792-803.
19. Griol A, Bellieres L, Hurtado J, Sánchez N, Riquez M, Ayúcar J, López-Royo F, Martí J. Nanophotonic structures for biotechnology applications. *New Biotechnology* 2012 9/23-26;29, Supplement(0):S65.
20. Jones DD, Cordle MK. Prospects for the genetic manipulation of dairy cattle: Opportunities beyond BST. *Biotechnol Adv* 1995;13(2):235-46.
21. Kane MT. A review of in vitro gamete maturation and embryo culture and potential impact on future animal biotechnology. *Anim Reprod Sci* 2003 12/15;79(3-4):171-90.

22. Káš J. Medicinal plant biotechnology: From basic research to industrial applications, vol. 1 and 2, O. kayser, W. quax, O. kayser, W. quax (eds.). WILEY-VCH, weinheim (2007), 571, ISBN: 978-3-527-31443-0. *Biotechnol Adv* 2010 0;28(2):281.
23. Kim B, Yalaz C, Pan D. Synthesis and characterization of membrane stable bis(arylimino)isoindole dyes and their potential application in nano-biotechnology. *Tetrahedron Lett* 2012 8/8;53(32):4134-7.
24. Konisky J. Methanogens for biotechnology: Application of genetics and molecular biology. *Trends Biotechnol* 1989 4;7(4):88-92.
25. Kvistgaard M, Olsen AM. Biotechnology and environment: A technology assessment of environmental applications and impacts of biotechnology. *Trends Biotechnol* 1986 5;4(5):112-5.
26. McCullum C, Benbrook C, Knowles L, Roberts S, Schryver T. Application of modern biotechnology to food and agriculture: Food systems perspective. *Journal of Nutrition Education and Behavior* 2003 0;35(6):319-32.
27. McKeever DJ, Rege JEO. Vaccines and diagnostic tools for animal health: The influence of biotechnology. *Livest Prod Sci* 1999 6;59(2-3):257-64.
28. Mittal AK, Chisti Y, Banerjee UC. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnol Adv* 2013 0;31(2):346-56.
29. Panesar PS, Kennedy JF. Environmental biotechnology: Concepts and applications, H.-J. jördening, J. winter (eds.). wiley-VCH verlag GmbH & co. KGaA, weinheim, germany (2005). *Int J Biol Macromol* 2006 11/15;39(4-5):323.
30. Russo D, Dassisti M, Lawlor V, Olabi AG. State of the art of biofuels from pure plant oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012 8;16(6):4056-70.
31. Shetty K. Metabolic innovations in food biotechnology for plant ingredients for human health applications. *J Biotechnol* 2008 10;136, Supplement(0):S715-6.
32. Tan T, Lu J, Nie K, Deng L, Wang F. Biodiesel production with immobilized lipase: A review. *Biotechnol Adv* 2010 0;28(5):628-34.
33. Vajta G, Gjerris M. Science and technology of farm animal cloning: State of the art. *Anim Reprod Sci* 2006 5;92(3-4):211-30.
34. Vázquez-Salat N, Salter B, Smets G, Houdebine L. The current state of GMO governance: Are we ready for GM animals? *Biotechnol Adv* 2012 0;30(6):1336-43.
35. Xu J, Ge X, Dolan MC. Towards high-yield production of pharmaceutical proteins with plant cell suspension cultures. *Biotechnol Adv* 2011 0;29(3):278-99.