

CÁC CÔNG NGHỆ ĐỊNH HÌNH NGÀNH NÔNG NGHIỆP CÔNG NGHỆ CAO TRONG TƯƠNG LAI

MỤC LỤC

GIỚI THIỆU	1
I. TOÀN CẢNH LƯƠNG THỰC THẾ GIỚI TRONG 10 NĂM TỚI	2
1.1. Tiêu thụ	2
1.2. Sản xuất	5
1.3. Thương mại.....	8
1.4. Giá cả	10
II. CÁC CÔNG NGHỆ CAO ĐỊNH HÌNH NGÀNH NÔNG NGHIỆP	13
2.1. Công nghệ nâng cao năng suất cây trồng	13
2.1.1. Công nghệ phân tử nhân giống cây trồng.....	14
2.1.2. Công nghệ chuyển gen cây trồng	16
2.1.3. Công nghệ kiểm soát sinh học.....	19
2.2. Công nghệ tạo giống và sức khỏe vật nuôi.....	20
2.2.1. Công nghệ chọn lọc dựa trên chỉ dấu trong tạo giống vật nuôi.....	20
2.2.2. Kỹ thuật di truyền (sửa gen) cho vật nuôi	21
2.3. Công nghệ quản lý nước tưới	22
2.3.1. Công nghệ tưới tiêu tiên tiến	23
2.3.2. Nông nghiệp nhà kính	25
2.3.3. Tiết kiệm nước với kỹ thuật biến đổi gen cây trồng.....	26
2.4. Công nghệ quản lý đất trồng	27
2.4.1. Công nghệ cố định ni-tơ cho thực vật không thuộc họ đậu.....	28
2.4.2. Công nghệ biến đổi vi sinh vật đất	29
2.5. Công nghệ trong nuôi trồng thủy sản.....	30
2.6. Công nghệ nông nghiệp chính xác	33
2.6.1. Các thành phần cơ bản: Lập bản đồ và quản lý.....	34
2.6.2. Các hệ thống tích hợp đầu tiên: theo dõi năng suất.....	36
2.6.3. Các công nghệ mới nổi: Canh tác thay đổi theo vùng và chỉ dẫn tự động	36
2.6.4. Công nghệ trong tương lai: Robot nông trại và cánh đồng thông minh.....	37
2.7. Công nghệ nhiên liệu sinh học	39
2.7.1. Ethanol xenlulô.....	40
2.7.2. Dầu diesel sinh học từ sinh khối.....	42
2.7.3. Butanol sinh học	42
2.7.4. Nhiên liệu sinh học drop-in	43
2.7.5. Quang hợp nhân tạo.....	45
2.8. Công nghệ chế biến sau thu hoạch	45
2.8.1. Các công nghệ sơ chế	46
2.8.2. Đóng gói trong không khí thay đổi.....	46
KẾT LUẬN	48
Tài liệu tham khảo.....	48

GIỚI THIỆU

Nông nghiệp toàn cầu đang đối mặt với một số thách thức lớn trong những năm tới: tăng dân số nhanh chóng trên toàn thế giới, biến đổi khí hậu, tăng nhu cầu năng lượng, khan hiếm nguồn lực, tốc độ đô thị hóa gia tăng, thay đổi chế độ ăn uống, dân số già ở các vùng nông thôn ở các nước phát triển, cạnh tranh gia tăng trên thị trường thế giới, và khó khăn trong tiếp cận tín dụng và đất ở nhiều nước đang phát triển.

Công nghệ chắc chắn sẽ là một trong những phương tiện chính để cải thiện sản xuất nông nghiệp cần thiết để đáp ứng nhu cầu của dân số thế giới ngày càng tăng. Ngành nông nghiệp ở nhiều nơi trên thế giới đang ở bước ngoặt quan trọng. Việc áp dụng công nghệ số hóa ngày càng cao trong hoạt động nông nghiệp làm cho nó có thể sản xuất các sản phẩm động, thực vật với hiệu quả ngày càng cao hơn và tác động môi trường thấp hơn.

Các công nghệ sẽ có tác động lớn nhất đến năng suất nông nghiệp trong 10 năm tiếp theo bao gồm việc sử dụng cây trồng biến đổi gen hiện có, quản lý đất và nước, kiểm soát dịch hại, và chế biến sau thu hoạch. Đổi mới công nghệ trong nông nghiệp rất phức tạp bởi sự đa dạng của các thông số ảnh hưởng đến năng suất của cây trồng hay đàn vật nuôi. Điều này có nghĩa rằng không có một đột phá công nghệ nào có thể đảm bảo tăng năng suất nông nghiệp thế giới. Những cải tiến trong di truyền thực vật và động vật cần được lồng ghép một cách hiệu quả chi phí với các công nghệ mới trong quản lý sâu bệnh, đất, dinh dưỡng động vật, và nước. Hơn nữa những phát triển công nghệ phải được thích nghi với các điều kiện nông nghiệp địa phương rất đa dạng.

Tổng luận **Các công nghệ định hình ngành nông nghiệp công nghệ cao trong tương lai** gồm 2 phần: 1) Dự báo ngành nông nghiệp thế giới trong 10 năm tới; và 2) Các công nghệ cao định hình ngành nông nghiệp đến 2040, được Cục Thông tin khoa học và công nghệ quốc gia tổng hợp từ các nghiên cứu của các tổ chức quốc tế với hy vọng giúp người đọc định hình được các xu hướng phát triển nông nghiệp thế giới trong những thập niên tới, đóng góp cho việc xây dựng một nền nông nghiệp công nghệ cao của nước nhà.

Xin trân trọng giới thiệu.

**CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ QUỐC GIA**

I. TOÀN CẢNH LƯƠNG THỰC THẾ GIỚI TRONG 10 NĂM TỚI

Các hệ thống thực phẩm và nông nghiệp đảm nhiệm một loạt chức năng sống còn cho hạnh phúc của nhân loại. Là trung tâm của an ninh lương thực toàn cầu, các hệ thống này được kỳ vọng sẽ cung cấp đầy đủ và tin cậy cho thế giới các nguồn thực phẩm an toàn, lành mạnh và bổ dưỡng. Chúng cũng đặc biệt quan trọng cho đời sống của hàng tỷ người, trong đó có nhiều người nghèo nhất thế giới, cung cấp việc làm và thu nhập trực tiếp và góp phần vào sự phát triển kinh tế và nông thôn nói chung. Để tiếp tục thực hiện những vai trò quan trọng này, sản xuất nông nghiệp phải gia tăng một cách bền vững.

1.1. Tiêu thụ

Động lực chính của tiêu thụ thực phẩm toàn cầu

Động lực chính của nhu cầu hàng hóa nông nghiệp toàn cầu trong thập kỷ tới sẽ là tăng dân số ở các nước đang phát triển. Dân số thế giới dự kiến sẽ tăng từ 7,4 tỷ người năm 2016 lên 8,1 tỷ năm 2025, với 95% mức tăng diễn ra ở các nước đang phát triển. Đến năm 2025, thế giới sẽ có 6,7 tỷ người sống ở các nước đang phát triển và 1,4 tỷ ở các nước phát triển. Điều này có nghĩa rằng từ năm 2005 đến năm 2025 dân số ở nước đang phát triển sẽ gia tăng tương đương với toàn bộ dân số ở các nước phát triển. Sự tăng trưởng nhanh nhất trong dân số sẽ xảy ra vùng Hạ Sahara châu Phi (SSA), với mức tăng từ 0,96-1,22 tỷ, tương đương 2,7% mỗi năm trong khoảng năm 2016 và 2025.

Yếu tố quyết định thứ hai là thu nhập gia tăng, qua đó bổ sung vào mức tiêu thụ của mỗi người. Một lần nữa, động lực chính cho tăng trưởng tiêu thụ sẽ đến từ các nước đang phát triển do tốc độ tăng trưởng thu nhập bình quân đầu người dự kiến cao hơn. Ngoài ra, người nghèo có xu hướng dành một phần lớn hơn thu nhập tăng thêm của họ cho thực phẩm. Ví dụ, phần thu nhập tăng thêm sẽ được chi cho thực phẩm ở Trung Quốc và Hoa Kỳ trong năm 2025 dự kiến sẽ tương ứng với 3,4% mức tăng thu nhập ở Trung Quốc và chỉ có 1,1% trong gia tăng thu nhập tại Hoa Kỳ.

Tăng thu nhập bình quân đầu người có liên quan đến yếu tố thứ ba: thay đổi thói quen tiêu dùng. Khi các nước phát triển, họ trải qua một sự "quá độ dinh dưỡng", theo đó thu nhập cao hơn trước tiên chuyển dịch thành nhu cầu calo nhiều hơn, và sau đó thành nhu cầu protein nhiều hơn (thường là từ các nguồn động vật) cũng như các chất dinh dưỡng khác từ trái cây và rau. Xu hướng này đi kèm với tiêu thụ nhiều đường, dầu và chất béo, và tiêu thụ thực phẩm chế biến nhiều hơn. Nhiều nước đang phát triển có cơ cấu tiêu thụ phức tạp, trong đó có những người suy dinh dưỡng (không có đủ calo), quá dinh dưỡng (có quá nhiều) và thiếu dinh dưỡng (thường là do chế độ ăn uống không lành mạnh). Các nước

phát triển chủ yếu có chế độ thực phẩm ổn định hơn, với thu nhập tăng chậm hơn và mô hình tiêu thụ ít ảnh hưởng với thay đổi thu nhập.

Tiêu thụ lương thực ở các nước đang phát triển chủ yếu là ngũ cốc

Tăng dân số, tăng thu nhập và thói quen tiêu dùng thay đổi được tích hợp vào các định hướng tiêu thụ lương thực bình quân đầu người. Trong năm 2025, các nước phát triển vẫn sẽ tiêu thụ khối lượng thực phẩm cao nhất tính theo đầu người. Tuy nhiên, khoảng cách giữa các nước phát triển và đang phát triển (trừ SSA) đang thu hẹp và mức tiêu thụ bình quân đầu người ở một số nước đang phát triển đã vượt mức trung bình của các nước phát triển. Mặt khác, tiêu thụ tính theo đầu người ở SSA vẫn thấp hơn 20% so với ở các nước đang phát triển khác, với khoảng một nửa số calo là từ tiêu thụ ngũ cốc.

Trong cả ba nhóm nước, ngũ cốc là thành phần chính trong các khẩu phần ăn tính theo đầu người nhưng tầm quan trọng tương đối của chúng đang giảm nhẹ. Người tiêu dùng ở các nước phát triển sẽ tiếp tục giảm lượng ngũ cốc và chuyển sang nguồn năng lượng khác. Tiêu thụ ngũ cốc làm thực phẩm theo đầu người sẽ chỉ tăng nhẹ ở các nước đang phát triển (trừ SSA), nhưng dự kiến sẽ tăng 4,9% ở khu vực SSA. Điều thú vị là tiêu thụ lúa gạo ở SSA sẽ có tốc độ tăng trưởng lớn nhất trong số ngũ cốc (8,3%), từ 25,8 lên 27,9 kg/người/năm sau 10 năm. Rễ và củ, cụ thể là sắn, vẫn là một thành phần quan trọng trong chế độ ăn ở SSA, với mức tiêu thụ bình quân đầu người 53 kg năm 2025.

Tiêu thụ thịt bình quân đầu người trong năm 2025 ước đạt 69,7 kg trọng lượng bán lẻ (RWT) ở các nước phát triển; nhiều hơn gấp đôi các nước đang phát triển khác (32 kg RWT), và gần bảy lần so với SSA (11,3 kg RWT). Ở các nước phát triển, thịt cho thấy có sự tăng trưởng mạnh chủ yếu là do nhu cầu tăng chắc chắn ở Bắc Mỹ.

Tiêu thụ cá bình quân đầu người trong năm 2025 ở các nước đang phát triển dự kiến sẽ vẫn thấp hơn so với các nước phát triển (21,5 kg sống (lw) so với 23,3 kg lw). Tuy nhiên, nếu không tính SSA, thì tiêu thụ cá bình quân đầu người năm 2025 ở các nước đang phát triển sẽ là 24,3 kg lw và vượt mức tiêu thụ ở các nước phát triển.

Tiêu thụ các sản phẩm sữa bình quân đầu người ở các nước đang phát triển (không bao gồm SSA) sẽ tăng 21% so với giai đoạn cơ sở và được định hướng chủ yếu vào các sản phẩm sữa tươi so với các sản phẩm sữa chế biến. Sự gia tăng mức tiêu thụ bình quân đầu người lớn nhất của các sản phẩm sữa tươi sẽ diễn ra ở Ấn Độ, Pakistan, Thổ Nhĩ Kỳ và Uruguay. Ở các nước phát triển, tiêu thụ bình quân đầu người dự kiến sẽ tăng nhanh hơn trong thập kỷ tới so với thập kỷ trước. Tăng trưởng nhu cầu sẽ được thúc đẩy chủ yếu bởi người tiêu dùng ở Ukraine và

Liên bang Nga, nơi lệnh cấm nhập khẩu dự kiến sẽ được dỡ bỏ năm 2017. SSA dự kiến sẽ chỉ tăng nhẹ trong tiêu thụ sữa bình quân đầu người.

Xét về tổng thể, việc tiêu thụ nhiều thịt, cá và các sản phẩm sữa sẽ dẫn đến chế độ ăn đa dạng hơn và lượng protein hấp thụ bình quân đầu người cao hơn. Trên quy mô toàn cầu, xu hướng tiêu thụ thịt tăng cùng với thu nhập sẽ vượt xu hướng giảm tiêu thụ thịt ở các nước có mức tiêu thụ bình quân đầu người đã cao.

Các nước đang phát triển tăng nhu cầu đối với đường và dầu thực vật

Ở các nước đang phát triển, tiêu thụ đường của con người sẽ tăng hơn 15% theo đầu người. Điều này có nghĩa tăng từ 20 kg lên 23 kg bình quân đầu người ở các nước đang phát triển (không bao gồm SSA) từ nay đến 2025 và từ 11 kg lên 12 kg trong SSA.

Để giúp các nước xác định lượng đường phù hợp với một chế độ ăn uống lành mạnh, WHO khuyến cáo năm 2015 rằng lượng đường hấp thụ bình quân đầu người hàng ngày không được vượt quá 10% tổng năng lượng hấp thụ, ngụ ý rằng tiêu thụ đường dự kiến tỷ lệ với tổng lượng calo hấp thụ. Thực hiện Hướng dẫn của WHO sẽ không chỉ có tác động về mặt nhu cầu mà còn về phía sản xuất.

Nhu cầu tiêu thụ dầu thực vật ở các nước đang phát triển sẽ tăng đáng kể, nhưng vẫn thấp hơn so với các nước phát triển. Đến năm 2025, các nước đang phát triển (trừ SSA) sẽ tiêu thụ 23,5 kg bình quân đầu người, gần bằng ở các nước phát triển (25,5 kg), còn tiêu thụ trong SSA sẽ tăng lên 12,8 kg. Khi thu nhập tăng, tiêu thụ dầu thực vật cũng tăng lên. Ấn Độ và Thái Lan dự kiến sẽ có tốc độ tăng trưởng đặc biệt cao về tiêu thụ dầu thực vật làm thực phẩm theo đầu người, tương ứng 55% và 49%.

Tiêu thụ nông sản hàng hóa tổng thể sẽ tăng trưởng nhanh hơn ở các nước đang phát triển

Gia tăng tiêu thụ lương thực bình quân đầu người kết hợp với tăng dân số tạo ra sự gia tăng tổng thể về tiêu thụ lương thực. Một phần ngũ cốc và hạt có dầu sử dụng cho thức ăn gia súc và sản xuất nhiên liệu sinh học, vì vậy thực tế là tổng tăng trưởng tiêu thụ vượt quá tăng trưởng dân số không nhất thiết có nghĩa tăng mức tiêu thụ thực phẩm trên đầu người.

Trong số các nước phát triển, Hoa Kỳ và Liên minh châu Âu là các động lực lớn nhất về nhu cầu nhiên liệu sinh học. Các nước đang phát triển (trừ SSA) có tốc độ tăng tiêu thụ mạnh đối với tất cả nhóm hàng hóa. Nhóm này nước này gồm các quốc gia đông dân nhất cũng như các nền kinh tế mới nổi được dự kiến sẽ có sự tăng trưởng lớn nhất về kinh tế và thu nhập. Sự gia tăng tiêu thụ trong SSA cao hơn đối với hầu hết các loại hàng hóa so với ở các nước đang phát triển khác.

1.2. Sản xuất

Nhu cầu cao và dự trữ thấp dẫn đến giá nông sản tăng cao trong những năm gần đây. Cùng với đó, các cải cách chính sách ở nhiều nước đưa ra các ưu đãi kinh tế và tạo điều kiện thuận lợi cho gia tăng sản xuất nông nghiệp toàn cầu. Nhìn chung, ngành này đã phát triển ở mức 2,5% mỗi năm trong thập kỷ qua.

Trong thập kỷ tới, sản xuất nông nghiệp phải đối mặt với một loạt thách thức khác nhau. Giá hàng hóa bắt đầu giảm trong năm 2013, dự trữ đã được bổ sung và tăng trưởng kinh tế ở các nước sản xuất chính dự kiến chậm lại. Như đã nêu ở trên, tăng trưởng nhu cầu toàn cầu khác nhau giữa các loại hàng hóa, nhưng tổng thể được dự báo là chậm hơn so với thập kỷ trước. Kết quả này làm suy yếu các thị trường nông sản, khiến cho ngành kém hấp dẫn đầu tư, hạn chế tăng trưởng sản lượng nông nghiệp ở mức 1,6% trung bình hàng năm trong giai đoạn dự báo. Sau khi tăng mạnh trong những năm gần đây, sản lượng cây trồng dự kiến sẽ tăng khoảng 1,5% hằng năm trong thập kỷ tới.

Đông và Nam Á: sản xuất tăng bất chấp những hạn chế tài nguyên

Khu vực Đông và Nam Á là nơi sản xuất các sản phẩm nông nghiệp lớn nhất thế giới. Trong giai đoạn cơ sở 2013-15, khu vực này sản xuất khoảng 40% lượng ngũ cốc và thịt của thế giới và gần 60% các loại dầu thực vật, chủ yếu là cọ. Ngành nông nghiệp ở đây đang phải đối mặt với những hạn chế ngày càng tăng về diện tích và nước cũng như tình trạng thiếu lao động.

Chủ yếu nhờ tăng cường sản xuất và nâng cao hiệu quả, sản lượng nông nghiệp trong khu vực dự kiến sẽ tăng gần 20% trong thập kỷ tới. Ngành chăn nuôi sẽ đóng góp khoảng 40% vào sự phát triển này, trong khi trồng trọt sẽ đóng góp 33% và thủy sản 27%.

Do vị trí thống trị và cải thiện năng suất mạnh, 89% gia tăng trong sản lượng gạo toàn cầu sẽ ở các nước Đông và Nam Á, chủ yếu ở Ấn Độ, Indonesia và Bangladesh. Sản lượng ngô, cây trồng quan trọng thứ hai tại khu vực sẽ tăng chủ yếu ở Trung Quốc. Sản xuất đậu tương ở khu vực sẽ tăng khoảng 30% từ mức thấp, tập trung chủ yếu ở Trung Quốc, Ấn Độ và Indonesia. Ngoài việc là nhà nhập khẩu hàng đầu, Trung Quốc cũng là một trong những nước lớn nhất sản xuất các loại hạt có dầu khác (chủ yếu là dầu hạt cải và lạc), nhưng sản lượng không gia tăng nhiều. Bên cạnh sản xuất bột protein và dầu thực vật từ các loại hạt có dầu, các nước Đông và Nam Á cũng dẫn thế giới sản xuất dầu cọ.

Việc đáp ứng nhu cầu tăng nhanh trong nước về thịt, sữa và cá vẫn còn là thách thức đối với ngành chăn nuôi trong khu vực. Sản lượng thịt sẽ tăng 1,8 triệu tấn hàng năm đến 2025, tăng 17% so với giai đoạn cơ sở. Trong đó thịt lợn và gia cầm sẽ chiếm số lượng lớn. Trung Quốc tiếp tục là nước sản xuất gia súc quan trọng nhất của khu vực, đặc biệt là thịt lợn. Các nước Đông và Nam Á được dự

báo sẽ tiếp tục thống trị nuôi trồng thủy sản nói chung, với Trung Quốc, Ấn Độ, Indonesia và Việt Nam chiếm đa số tăng trưởng trong thập kỷ tới.

Đô thị hóa và thu nhập tăng nhanh ở Đông và Nam Á củng cố sự phát triển của ngành sữa. Sản lượng sữa được xác định tăng 20% đến năm 2025. Nhờ phát triển 47%, Ấn Độ sẽ trở thành nhà sản xuất sữa lớn nhất thế giới vào năm 2020.

Châu Mỹ: tăng trưởng nhanh và hướng xuất khẩu

Bắc Mỹ, Mỹ La tinh và vùng Caribê hiện đang chiếm ưu thế trong sản xuất hạt có dầu, với tỷ lệ gần 90% toàn cầu và có tỷ lệ sản xuất đáng kể khoảng 30% các loại ngũ cốc, thịt và sữa. Ngũ cốc tập trung nhiều ở Bắc Mỹ, đặc biệt là ngô, trong khi miền Nam tập trung hơn vào hạt có dầu và đặc biệt đậu nành.

Sản lượng cây trồng ở Bắc Mỹ tăng 10%, dẫn đầu là ngô và đậu tương. Sản xuất gạo tại Hoa Kỳ trong quá trình phục hồi; lúa mì vẫn là một cây trồng quan trọng, nhưng diện tích tiếp tục giảm và năng suất chỉ tăng không nhiều.

Mỹ Latinh vẫn là nguồn mở rộng diện tích nông nghiệp quan trọng nhất của thế giới, với tổng diện tích cây trồng tăng 24% và đậu nành là động lực tăng chính. Brazil sẽ trở thành nhà sản xuất đậu nành quan trọng nhất vào năm 2025, với sản lượng đạt 135 tấn. Cây mía và bông tiếp tục là một nguồn phát triển cho nông nghiệp Brazil thông qua tăng sản lượng và diện tích. Triển vọng cho nuôi trồng thủy sản đặc biệt tốt với tăng trưởng dự kiến 40% đến năm 2025.

Hoa Kỳ và Brazil vẫn là hai nước sản xuất ethanol lớn nhất. Tuy nhiên, tăng trưởng của họ dự kiến sẽ khác nhau, khi Brazil dự kiến sẽ tăng sản lượng thêm 25% trong suốt giai đoạn dự chủ yếu là do nhu cầu trong nước, còn sản xuất của Hoa Kỳ dự kiến giảm do nhu cầu trong nước và quốc tế yếu.

Hạ Sahara Châu Phi: tiềm năng lớn, nhưng những hạn chế nghiêm trọng

Do tăng trưởng sản xuất trong quá khứ được củng cố bằng việc mở rộng diện tích, nên trong 10 năm tới, tăng trưởng khu vực sẽ chậm, trong đó phần tăng trưởng do cải thiện năng suất tăng lên. Nhìn chung, tổng sản lượng nông nghiệp dự kiến sẽ tăng 2,6% mỗi năm trong thập kỷ tới.

Đông Âu và Trung Á: nhân tố toàn cầu về ngũ cốc

Đông Âu và Trung Á đã trải qua sự phát triển nhanh chóng sản lượng nông nghiệp trong thập kỷ trước, với sản lượng cây trồng tăng 42%. Khu vực này đã sản xuất 10% lượng ngũ cốc toàn cầu năm 2013-15, chủ yếu là lúa mì. Tuy nhiên, các điều kiện thời tiết thay đổi trong khu vực và bất ổn sản xuất theo sau gây ra sự không chắc chắn vào các thị trường ngũ cốc toàn cầu.

Trong giai đoạn dự báo, tổng sản lượng nông nghiệp sẽ tăng 13%. Các điều kiện tự nhiên thuận lợi cho việc tập trung vào các loại ngũ cốc, tiếp theo là hạt

hướng dương. Sự mở rộng diện tích nhanh chóng trong thập kỷ qua sẽ không được duy trì.

Tương tự như đối với ngành trồng trọt, ngành chăn nuôi sẽ tiếp tục mở rộng trong thời gian tới, mặc dù ở mức giá thấp hơn nhiều. Tổng sản lượng thịt sẽ tăng 3 tấn, trong đó gia cầm chiếm khoảng một nửa. Sản lượng sữa được cải thiện sẽ hỗ trợ cho chế biến sữa phát triển.

Tây Âu: cấu trúc sản xuất ổn định

Hiện nay, các nước công nghiệp phát triển ở Tây Âu giữ phần đáng kể trong sản xuất sữa toàn cầu (36%), nhiên liệu sinh học (30%), thịt (15%) và ngũ cốc (13%). Sau nhiều năm phát triển mạnh mẽ để đáp ứng với giá cao, sản xuất cây trồng dự kiến chậm lại do nhu cầu nhiên liệu sinh học ổn định phẳng hoặc giảm, nhu cầu thực phẩm và thức ăn chăn nuôi trong nước kém đi và cạnh tranh khốc liệt trên thị trường thế giới đối với các loại ngũ cốc, đặc biệt là từ Đông Âu và Trung Á. Tổng diện tích thu hoạch sẽ giảm 3% vào năm 2025. Năng suất cao nhất thế giới đối với hầu hết các loại cây trồng chỉ có cải thiện ít (trung bình 4%). Đến năm 2025, sản xuất ở Tây Âu dự kiến sẽ tiếp tục tập trung vào các loại ngũ cốc.

Sản xuất thịt dự kiến sẽ tăng nhanh gấp đôi mức tăng của các loại cây trồng, dẫn đến tăng thêm 1,7 tấn thịt năm 2025, chủ yếu là gia cầm và thịt lợn. Sự tăng cường và tái cơ cấu ngành sữa trong EU sẽ mở rộng sản xuất sữa nói chung.

Bắc Phi và Trung Đông: điều kiện khó khăn

Điều kiện tự nhiên không thuận lợi và tình hình chính trị bất ổn ở nhiều nước Bắc Phi và Trung Đông sẽ cản trở sản xuất nông nghiệp. Do thiếu nguồn nước hay thủy lợi nên sản xuất nông nghiệp của khu vực chỉ chiếm phần rất nhỏ toàn cầu. Lúa mì là cây trồng chủ yếu, chiếm gần 60% diện tích canh tác. Sản xuất cây có đường cũng phát triển trong khu vực. Các xu hướng tích cực dự kiến đối với gạo, rễ và củ nhưng chúng vẫn là các sản phẩm thứ yếu.

Thịt và cá sẽ không duy trì được tốc độ tăng trưởng của thập kỷ trước và sản xuất chỉ tăng khoảng 1% mỗi năm, dựa quá nhiều vào gia cầm và cừu. Sữa sẽ vẫn không thay đổi với đầu vào thấp và năng suất thấp, sử dụng bò, lạc đà và dê. Hầu hết sữa được tiêu thụ ở dạng sản phẩm sữa tươi, và sản xuất pho mát, bơ và sữa bột vẫn còn hạn chế.

Châu Đại Dương: nhà sản xuất thành công tách biệt

Điểm nổi bật của Châu Đại Dương trong nông nghiệp toàn cầu không phải là kết quả sản xuất thực tế, mà dựa trên sản lượng đầu người cao tạo ra lượng dư thừa cho xuất khẩu. Ngay cả với các sản phẩm sữa được xuất khẩu, sản lượng của nó chiếm chỉ chiếm 9% toàn cầu; thậm chí còn ít hơn đối với thịt (2%) và ngũ cốc (2%), là các sản phẩm xuất khẩu quan trọng khác của khu vực. Châu Đại Dương dự kiến sẽ phục hồi từ giai đoạn suy giảm sản xuất, tăng trưởng sản lượng 11%

trong giai đoạn tới. Sự gia tăng phần lớn là từ mía và các loại ngũ cốc và chủ yếu dựa vào cải thiện năng suất.

Do nhu cầu nhập khẩu thịt trên toàn cầu tăng chậm lại, ngành chăn nuôi ở Châu Đại Dương cũng đang chậm lại. Sản xuất sữa sẽ tiếp tục được thúc đẩy bằng cách mở rộng đàn bò sữa, trong khi năng suất tăng chậm hơn do hệ thống sản xuất chủ yếu dựa vào đồng cỏ.

Khai thác thủy sản sẽ tiếp tục chiếm ưu thế ở châu Đại Dương, với tỷ lệ 83% tổng sản lượng thủy sản năm 2025.

1.3. Thương mại

Thương mại nông nghiệp tăng với tốc độ chậm hơn so với trước

Cùng với nguồn cung và nhu cầu toàn cầu, thương mại dự kiến sẽ phát triển chậm lại trong 10 tới so với thập kỷ trước. Sự suy giảm đặc biệt nghiêm trọng đối với ngũ cốc và các sản phẩm từ sữa, cũng như các loại thịt (trừ thịt cừu) và cá. Trong số các sản phẩm phi thực phẩm, thương mại ethanol và diesel sinh học được dự kiến sẽ thu hẹp, trong khi thương mại bông dự kiến phục hồi sau đợt giảm mạnh từ năm 2005-2008.

Lý do chính của sự suy giảm này là mức tăng trưởng thấp hơn ở các nền kinh tế mới nổi, có độ co giãn thu nhập tương đối cao về nhu cầu đối với hầu hết các mặt hàng thực phẩm. Tầm quan trọng của Trung Quốc như là một nhà nhập khẩu chính của một số mặt hàng có nghĩa là sự suy giảm phát triển của Trung Quốc sẽ có một tác động đặc biệt quan trọng. Một lý do nữa cho sự suy giảm là việc áp dụng các chính sách bảo hộ nhiều hơn ở một số nước nhập khẩu lớn. Trong khi bảo vệ thương mại nông nghiệp đã được giảm ở hầu hết các nước OECD, một số nền kinh tế mới nổi (bao gồm Trung Quốc, Ấn Độ và Indonesia) đã theo đuổi mục tiêu tự cung tự cấp và bảo hộ nhập khẩu liên quan. Ở mức độ nhất định, xu hướng gia tăng bảo hộ có thể được bù đắp bằng các hiệp định thương mại khu vực và đa phương mới, mặc dù các thỏa thuận cũng có thể chuyển hướng thương mại ra khỏi các nước ngoài thành viên.

Sự suy giảm trong thương mại sẽ không gây ra bất kỳ thay đổi lớn nào đối với tỷ lệ sản phẩm nông nghiệp được giao dịch. Xếp hạng những mặt hàng dự kiến không thay đổi đáng kể trong thập kỷ tới. Sữa bột nguyên kem (WMP) và sữa bột tách kem (SMP) sẽ vẫn là mặt hàng nông sản giao dịch nhiều nhất và các sản phẩm sữa tươi sẽ tiếp tục ít được giao dịch nhất. Thương mại rất thấp của các sản phẩm sữa tươi, với không đến 1% sản lượng, trực tiếp liên quan đến những khó khăn trong việc vận chuyển và bảo quản các sản phẩm tươi. Dầu thực vật và đậu tương cũng được giao dịch nhiều, với hơn 40% sản lượng được giao dịch trên thị trường quốc tế. Khoảng 31% tổng sản lượng thủy sản dự kiến sẽ được giao dịch trong năm 2025. Trong số các loại thịt, thịt bò và thịt gia cầm sẽ vẫn được

giao dịch nhiều nhất và được dự kiến chiếm 80% thị phần giao dịch trong năm 2025 so với giai đoạn cơ sở.

Xuất khẩu nông sản tập trung vào một vài nhà cung cấp chính

Theo truyền thông, xuất khẩu nông sản tập trung ở một số ít quốc gia có các tài nguyên thiên nhiên cần thiết cho sản xuất và có cơ sở hạ tầng đầy đủ để sản xuất và xuất khẩu với giá cả cạnh tranh. Trong thập kỷ tới, sự tập trung này sẽ vẫn còn, nhưng cũng sẽ có một số thay đổi mặt hàng cụ thể. Vào năm 2025, ít nhất 70% tổng kim ngạch xuất khẩu đều có nguồn gốc chỉ từ 5 nước cho mỗi mặt hàng. Mật độ tập trung xuất khẩu cao nhất trong năm 2025 dự kiến ở thương mại đậu tương, nơi 5 nước xuất khẩu hàng đầu chiếm gần 95% tổng kim ngạch xuất khẩu. Đối với hầu hết các sản phẩm, tổng kim ngạch của 5 nhà xuất khẩu lớn nhất tương tự như trong giai đoạn cơ sở, với một số giảm nhẹ (ví dụ lúa mì và bông) và một số tăng (ví dụ pho mát, đường).

Thành phần và xếp hạng của 3 quốc gia xuất khẩu hàng đầu vẫn không thay đổi đối với hầu hết hàng hóa từ nay đến năm 2025, với một vài trường hợp ngoại lệ. Hoa Kỳ vẫn sẽ là nước xuất khẩu ngô chính, nhưng sẽ mất một ít thị phần cho Brazil. Ba nước xuất khẩu gạo trong giai đoạn cơ sở - Ấn Độ, Thái Lan và Việt Nam - chiếm hơn 65% tổng kim ngạch xuất khẩu. Đến năm 2025, Việt Nam và Ấn Độ sẽ có sự hoán đổi vị trí, đưa Việt Nam trở thành nước xuất khẩu lớn nhất, và thị phần xuất khẩu của 6 nước xuất khẩu hàng đầu sẽ còn dưới 60%. Đây là kết quả của sự xuất hiện của Campuchia và Myanmar như là các nhà xuất khẩu gạo lớn. Brazil dự kiến sẽ thay thế Hoa Kỳ là nhà xuất khẩu đậu nành chính và Ấn Độ là nước xuất khẩu thịt bò hàng đầu. Một trong những lý do đằng sau những thay đổi là sự mất giá liên tục của đồng tiền Brazil làm cho xuất khẩu cạnh tranh hơn.

Nhập khẩu nông sản phân tán hơn, nhưng với Trung Quốc là thị trường chính cho nhiều hàng hóa

Với mức tăng trưởng tiêu thụ dự kiến tiến nhanh hơn tăng trưởng sản xuất ở nhiều quốc gia, nhập khẩu sẽ tiếp tục phân tán ở nhiều quốc gia hơn so với xuất khẩu. Tuy nhiên, đối với một số mặt hàng, đáng chú ý nhất là đậu nành, rế và củ, tỷ lệ nhập khẩu tương đối lớn chỉ từ một vài quốc gia. Trung Quốc là nước nhập khẩu lớn của một số mặt hàng, và chiếm một phần lớn thị trường đậu nành và các loại hạt có dầu khác, rế và củ, ngũ cốc thô khác, bông và sữa bột.

Sự tập trung cao của nhập khẩu hạt có dầu và bông liên quan chặt chẽ với quy mô lớn trong chế biến các mặt hàng này ở một vài quốc gia. Nhập khẩu đậu tương của Trung Quốc dự kiến chiếm hơn 65% nhập khẩu của thế giới vào năm 2025, tăng 105 tấn so với năm cơ sở. Nhu cầu lớn nhất nhập khẩu bông cũng sẽ đến từ Trung Quốc vào năm 2025, mặc dù Bangladesh được dự báo sẽ bám sát,

tiếp theo Việt Nam và Indonesia. Ba quốc gia sau sẽ tăng nhập khẩu bông đáng kể so với năm cơ sở.

Trung Quốc là nước sản xuất thịt cừu và thịt lợn lớn nhất trên thế giới, nhưng cũng nhập khẩu lượng lớn cả hai loại thịt này. Trong thập kỷ tới, Trung Quốc dự kiến sẽ tiếp tục tăng sản xuất trong nước cũng như nhập khẩu thịt. Trong trường hợp thịt bò và cừu, nhập khẩu của Trung Quốc thậm chí sẽ vượt quá sản xuất trong nước. Trung Quốc sẽ vẫn là nước nhập khẩu lớn nhất sữa bột tách kem (SMP) và nguyên kem (WMP) trong năm 2025, tuy nhiên tỷ lệ nhập khẩu WMP được dự báo giảm từ 25% năm 2013-15 xuống 21% trong năm 2025. Việt Nam, Algeria và Nigeria được dự kiến là các nước nhập khẩu WMP lớn.

1.4. Giá cả

Giá tăng vào năm 2025, nhưng vẫn thấp hơn các mức đỉnh gần đây

Các dự báo giá ngắn hạn vẫn còn bị ảnh hưởng bởi những tác động của sự kiện thị trường gần đây (ví dụ hạn hán, thay đổi chính sách), trong khi ở những năm ngoài giai đoạn dự báo, chúng chỉ dựa vào các điều kiện cung và cầu cơ bản.

Trong ngắn hạn, sự kết hợp dự trữ toàn cầu tái lập và nhu cầu tăng chậm sẽ giữ giá gạo, lúa mì và ngũ cốc thô khác. Ngược lại, giá ngô dự kiến sẽ không giảm thêm nữa, sau khi giảm mạnh trong năm 2015. Trong trung hạn, giá tất cả các loại ngũ cốc được dự đoán đi theo một xu hướng tăng khiêm tốn, với vai trò đáng kể của các ngũ cốc thô khác, chủ yếu là do nhu cầu cao về thức ăn chăn nuôi ở Trung Quốc và khả năng mở rộng sản xuất hạn chế trong các khu vực sản xuất chính.

Giá đường vẫn ổn định, với sản lượng toàn cầu dự kiến để đáp ứng nhu cầu đang tăng ở các nước đang phát triển. Giá các thực phẩm đạm tăng trưởng với tốc độ nhanh hơn so với dầu thực vật. Trong khi tiêu thụ dầu thực vật chủ yếu do nhu cầu lương thực tăng ở các nước đang phát triển, thì protein thực phẩm tăng mạnh sẽ gia tăng sản xuất sữa và chăn nuôi gia súc không nhai lại cùng với tăng hàm lượng protein trong thức ăn chăn nuôi ở các nước đang phát triển. Ngoài ra, việc mở rộng chắc chắn sản xuất dầu cọ tạo sức ép lên giá dầu thực vật. Kết quả là giá đậu tương cũng sẽ tăng với tốc độ nhanh hơn so với giá các hạt có dầu khác.

Giá thịt giảm trong ngắn hạn do các nhà sản xuất phản ứng với giá ngũ cốc thức ăn chăn nuôi thấp. Nhờ tăng cường các hoạt động sản xuất thức ăn chăn nuôi, các nhà sản xuất thịt lợn và gia cầm đạt được hưởng lợi lớn từ giá thức ăn chăn nuôi ngũ cốc thấp, trong khi chu kỳ sản xuất gia cầm ngắn hơn cho phép phản ứng nhanh hơn với các tín hiệu về giá. Đối với thịt bò, có chu kỳ sản xuất dài nhất, giá cả có xu hướng giảm cho đến năm 2019 trước khi hồi phục nhẹ vào năm 2025. Giá phomat duy trì mức cao đáng kể so với các sản phẩm từ sữa khác, do nhu cầu mạnh ở cả các nước phát triển và đang phát triển.

Giá cá dự báo sẽ giảm trong ngắn hạn, sau đó ổn định. Việc thắt chặt hạn chế khai thác thủy sản so với nuôi trồng thủy sản phát triển mạnh được phản ánh trong giá dự kiến. Giá trung bình cho cá đánh bắt trong tự nhiên dự kiến cao hơn so với cá nuôi.

Giá ethanol thế giới dự kiến sẽ tăng với tốc độ nhanh hơn so với hầu hết các khác mặt hàng nông sản, phản ánh sự phục hồi nhanh của giá dầu thô. Tuy nhiên, áp lực giá tăng sẽ bị khống chế bởi nhu cầu nhập khẩu toàn cầu tương đối khiêm tốn và tiềm năng xuất khẩu mạnh từ Hoa Kỳ và Brazil. Giá dầu diesel sinh học liên quan chặt chẽ với giá dầu thực vật. Nhu cầu đối với dầu diesel sinh học chủ yếu là do chính sách, trong đó hỗ trợ giá đối với cả dầu thực vật và dầu diesel sinh học. Tuy nhiên, kết quả cuối cùng là giá không tăng mạnh như đối với ethanol.

Hàng bông tồn kho của thế giới đã đạt trên 80% lượng tiêu thụ hàng năm. Vì hiện nay trên thị trường thừa cung, nên giá cả được dự báo giảm trong năm 2016-2018 và tăng lại sau đó. Sự gia tăng giá bị hạn chế bởi sự cạnh tranh ngày càng tăng với các loại sợi nhân tạo và sẽ bị ảnh hưởng mạnh bởi chính sách bông tương lai của Trung Quốc.

Những thay đổi nhỏ về giá thực tế đối với hầu hết các mặt hàng nông sản

Giá tham khảo quốc tế đối với hàng hóa nông nghiệp cung cấp hướng dẫn cho thị trường toàn cầu. Những tín hiệu này được chuyển đến người sản xuất và người tiêu dùng trong từng quốc gia và ảnh hưởng đến các quyết định thị trường của họ. Việc truyền tải các tín hiệu này phụ thuộc vào sự tích hợp của thị trường trong nước với thị trường thế giới. Cuối cùng, thị trường trong nước phản ứng với các giá thực tế trong nước. Xu hướng của chúng có thể khác với tín hiệu của giá thế giới vì biến động của tỷ giá hối đoái thực, điều kiện và chính sách thị trường trong nước.

Các xu hướng giá thực tế của hàng hóa riêng lẻ phụ thuộc vào tình trạng cung và cầu cụ thể chúng. Trên toàn cầu, động lực cho giá hàng hóa thấp hơn xuất phát từ sự kết hợp của các yếu tố cung và cầu. Về phía cung, sản lượng được cho là sẽ tăng theo xu hướng hiện tại. Về phía cầu, tăng trưởng dân số đang chậm lại, và tăng trưởng thu nhập ở các nước đang phát triển cũng vậy, nơi mà người tiêu dùng cũng có xu hướng giảm chi cho thực phẩm từ phần tăng thu nhập của họ.

Giá ngũ cốc, với ngoại lệ của loại ngũ cốc thô khác, được dự báo sẽ giảm theo giá trị thực. Giá thịt sẽ giảm nhẹ do nhu cầu tăng trưởng chậm hơn và công nghiệp hóa sản xuất nhanh chóng. Nhu cầu tương đối mạnh mẽ hơn cho các sản phẩm sữa và yêu cầu mở rộng công suất sản xuất tốn kém sẽ đẩy giá các sản phẩm sữa cao hơn trong 10 năm tới. Nhu cầu nhập khẩu tăng, đặc biệt là từ châu Á và châu Phi, sẽ hỗ trợ sự phục hồi của giá sữa bột từ mức thấp gần đây. Nhiên liệu sinh học theo xu hướng giá dầu thô và nguyên liệu.

Xu hướng dài hạn cho giá nông sản có thể khó phân biệt và phụ thuộc vào quan điểm lịch sử. Hơn 100 năm qua, giá lúa mì giảm trung bình 1,5% mỗi năm theo giá thực tế. Trong khi xu hướng rộng hơn trong thế kỷ qua đã được cho giá giảm, thì thị trường đã phải chịu những cú sốc (chiến tranh, khủng hoảng chính trị và thiên tai) gây ra những thời kỳ tăng giá và biến động cao. Độ lớn của những cú sốc này đã suy giảm theo thời gian do những cải thiện khả năng phục hồi của sản xuất và toàn cầu hoá thương mại. Các mô hình tương tự được thể hiện rõ ở các hàng hóa khác.

II. CÁC CÔNG NGHỆ CAO ĐỊNH HÌNH NGÀNH NÔNG NGHIỆP ĐẾN NĂM 2040

2.1. Các công nghệ nâng cao năng suất cây trồng

Như đã diễn ra trong cuộc Cách mạng Xanh, những đột phá công nghệ có triển vọng xuất hiện nhất trong nông nghiệp đến năm 2040 nhiều khả năng sẽ từ tạo giống cây trồng để cải thiện các đặc điểm thực vật mong muốn. Sự khác biệt trong tạo giống cây trồng hiện tại so với 50 năm trước là sự có mặt của các công cụ dựa trên sinh học phân tử, các công cụ này đã cung cấp nhiều hiểu biết về cấu tạo di truyền của thực vật và mối quan hệ của nó với các tính trạng nông học quan trọng liên quan đến năng suất cây trồng. Các nhà khoa học thực vật sử dụng những công cụ sinh học phân tử này, phần lớn trong số đó đã được phát triển trong các ngành khoa học y tế, để đưa các đặc điểm nông học mong muốn vào cây trồng. Các công cụ sinh học phân tử bao gồm lập trình tự gen nhanh, nhân bản gen, lập bản đồ gen, ADN tái tổ hợp, phản ứng chuỗi polymerase, và chip sinh học. Ngoài ra, tin sinh học, trong đó sử dụng toán học ứng dụng, tin học, thống kê, khoa học máy tính, trí tuệ nhân tạo, hóa học và sinh hóa, là cần thiết để làm cho quá trình nhân giống cây trồng hiệu quả hơn nhiều.

Trong lịch sử, cải tiến cây trồng đã được thực hiện bằng cách chọn các cây hoặc hạt giống sinh trưởng tốt nhất để trồng trong năm sau. Khi khoa học di truyền tốt hơn, nhân giống cây trồng sẽ được thực hiện bằng cách thay đổi các thành phần di truyền của một cây thông qua lai tạo, sau đó chọn lấy cây có các đặc điểm cải thiện. Việc tạo giống cây trồng thông thường có những hạn chế ở chỗ nó chỉ có thể được áp dụng cho các cây giao phối sinh sản, hạn chế những đặc điểm tồn tại trong một loài. Ngoài ra khi các cây lai ghép chéo, những đặc điểm ngoài mong muốn cũng được chuyển giao, một số trong đó có thể ảnh hưởng không tốt đến các đặc tính mong muốn hoặc tiềm năng năng suất của cây.

Sinh học phân tử để cải tiến cây trồng có hai phương pháp:

- **Công nghệ gen** chuyển đổi các quá trình nhân giống thông thường thành một quá trình tạo giống phân tử cho cây. Các công cụ của sinh học phân tử đã tạo ra một bước đột phá lớn trong nhân giống cây trồng bằng cách sử dụng công nghệ gen để xác định nguồn gốc di truyền của một đặc điểm hoặc một nhóm các đặc điểm. Công nghệ này có thể đẩy nhanh quá trình phát triển giống cây trồng được cải tiến kéo dài từ hai hoặc ba thập kỷ xuống còn dưới một thập kỷ.

- **Công nghệ chuyển gen** truyền các gen từ các loài thực vật hay sinh vật khác vào hệ gen của cây. Công nghệ biến đổi gen cho phép đưa một đặc điểm đơn nhất từ bất kỳ sinh vật sống nào vào cây trồng. Công nghệ này cho phép đưa vào

các đặc tính mới không thấy trong một loài cây nhất định có thể mang lại các lợi ích nông học.

2.1.1. Công nghệ phân tử nhân giống cây trồng

Nhiều công cụ sinh học phân tử được sử dụng trong công nghệ nhân giống cây trồng hiện đại. Phần lớn các công nghệ này đã được phát triển trong các ngành khoa học y tế. Các công nghệ xuất phát từ Dự án Hệ gen người (Human Genome Project) là những thành phần thiết yếu của kỹ thuật phân tử cho nhân giống cây trồng.

Lập trình tự gen xác định trình tự nucleotide của toàn bộ ADN trong bộ gen. Đây là một nhiệm vụ to lớn với bộ gen của ngô có 2,3 tỷ cặp base ADN ở 32.000 gen trong 10 nhiễm sắc thể. Các nhà khoa học cũng đã lập trình tự bộ gen của lúa, lúa miến, sắn và cây dương, và trình tự của các cây trồng khác đang được tiến hành. Do những đổi mới tự động hóa giải trình tự đã đơn giản hóa các nhiệm vụ này và giảm chi phí, việc lập trình tự của một loài cây cụ thể vào năm 2040 có thể trở thành công việc thường xuyên với giá chỉ ở mức nghìn đô la. Các nỗ lực nghiên cứu về ngô tiến hành tại Đại học Washington năm 2009 có chi phí khoảng 30 triệu USD. Các công cụ tự động lập trình tự giờ đây có khả năng tạo ra 500 triệu cặp base ADN mỗi ngày.

Các bộ gen thực vật được chú giải sau khi hoàn thành việc sắp xếp trình tự gen. Chú giải bộ gen thực vật là quá trình trong đó các chuỗi ADN được phân tích để xác định vị trí gen trong nhiễm sắc thể, cấu trúc gen (khung đọc mở, exon, intron, và các vùng điều tiết), và chức năng của gen (vai trò của các sản phẩm gen và tính năng điều tiết). Bằng cách sử dụng các bộ gen hiện có trong cơ sở dữ liệu, ví dụ, cây Arabidopsis và lúa, làm các mô hình, chú giải bộ gen của một cây trồng cụ thể trong một vùng nông nghiệp có thể được thực hiện nhanh hơn. Vào năm 2022, chúng ta có khả năng sẽ biết được các trình tự hoàn chỉnh của nhiều loại cây trồng, tất cả các gen sẽ được xác định, các alen (biến thể) của các gen quan trọng, và sự kết hợp của các gen có liên quan với các đặc tính sẽ được thiết lập để tăng năng suất hoặc tạo các đặc điểm nông học quan trọng khác.

Công nghệ proteomics bổ sung cho công nghệ ADN. Bởi chỉ riêng các trình tự ADN là không đủ để biết gen được phiên mã và chuyển thành các protein chức năng như thế nào, một công nghệ mới nổi khác bắt nguồn từ sinh học phân tử - proteomics - cung cấp một công cụ cho chú giải thêm về các đặc điểm về cấu trúc và chức năng của một bộ gen. Việc xác định và định lượng trực tiếp các protein từ một gen đã được thực hiện nhờ những tiến bộ trong sắc ký, ion hóa chùm điện tử của peptide, quang phổ khối tandem, tin sinh học, và công nghệ máy tính. Những công nghệ này đã cho phép giám sát 8.000 protein hoặc hơn của toàn bộ các thực vật với sự so sánh định lượng sinh sản của các mẫu khác nhau. Quang phổ khối

peptide có khả năng xác định các đa hình axit amin đơn xuất phát từ các alen, tạo điều kiện cho việc phát hiện các dấu hiệu di truyền.

Chỉ dấu ADN (DNA Markers) là các trình tự ADN được biết là có liên quan đến các gen hoặc những đặc điểm cụ thể. Sử dụng kỹ thuật tạo giống bằng marker để xác định giống lai chéo và thế hệ con cháu tốt nhất sẽ rút ngắn thời gian được 2-5 năm để có một giống cây trồng với các đặc tính cải thiện khi biết mối quan hệ của một biến thể gen với một đặc điểm, sau đó gen biến thể có thể được sử dụng như một marker của đặc điểm đó. Một cây trồng để lai giống sau đó có thể được xác định bằng sự hiện diện của marker này trong hệ gen của nó mà không cần kiểm tra biểu hiện của đặc điểm. Điều này giúp việc chọn lọc các dòng cha mẹ đa dạng cho sự phát triển của một đặc điểm cụ thể và làm giảm số lượng các thế hệ sinh sản.

Mặc dù các nhà di truyền đã có những bước tiến lớn trong việc định vị trên bản đồ gen các locus liên quan đến một đặc điểm cụ thể sử dụng các marker di truyền, nhưng việc đo lường các kiểu hình (các đặc điểm quan sát được như hình thái, phát triển cây trồng hoặc sản phẩm, các đặc tính sinh hóa hoặc sinh lý, và thành phần sản phẩm) vẫn còn là một quá trình lâu dài. Các nhà tạo giống cây trồng cần phải đánh giá hàng trăm ngàn thế hệ con cháu từ nhiều giống cây lai ở nhiều môi trường để cho thấy những locus nào trên nhiễm sắc thể di chuyển cùng nhau trong các nhóm di truyền (haplotype). *Công nghệ định lượng đặc điểm locus* (QTL) là một phương pháp có thể giảm bớt những nỗ lực cần thiết để thiết lập các nhóm gen tính trạng. Phân tích QTL sử dụng các tần suất thống kê của alen để chỉ ra mối quan hệ giữa các locus nhiễm sắc thể và đặc điểm định lượng hoặc liên tục. Những nhóm này đã được phân tích rộng rãi trên nhiều loài (lúa, ngô và các cây trồng khác); các kết quả có thể giúp suy ra các mối quan hệ gen tính trạng ở các cây trồng khác. Một kỹ thuật khác có thể tăng thêm hiệu quả trong việc xác định mối quan hệ gen tính trạng là *hệ gen chức năng*, nghiên cứu về các khía cạnh động của hệ gen. Trong thực vật, việc thao tác hoặc thêm gen và sau đó kiểm tra các ảnh hưởng đến đặc điểm có thể xác định các gen điều chỉnh một tính trạng.

Tạo giống bằng gây đột biến là một công nghệ đã được sử dụng từ những năm 1930 để tạo ra biến thể di truyền của các tính trạng để cải tiến cây trồng. Tạo giống cây trồng đòi hỏi sự biến đổi di truyền, nhưng biến đổi tự nhiên rất hạn chế và các gen với một đặc tính mong muốn có thể không có trong nguồn gen. Để tạo ra biến thể di truyền, các tác nhân gây đột biến, chẳng hạn như bức xạ hoặc hóa chất nhất định, được sử dụng trên các hạt giống đột biến với các đặc tính mong muốn có thể được lựa chọn. Trước khi có các công cụ sinh học phân tử và nuôi tế bào thực vật, việc lựa chọn các đột biến mong muốn là nhàm chán và mất nhiều năm quan sát nhiều thế hệ trồng trên đồng ruộng. Những công cụ mới này đã chuyển nhiều công việc từ ngoài cánh đồng vào phòng thí nghiệm. *Nhắm đích*

gây tổn thương cục bộ trong bộ gen (Targeting Induced Local Lesions In Genomes (TILLING)) là một phương pháp để thúc đẩy quá trình tạo giống cây trồng bằng cách gây đột biến ở các gen đã biết trong các quần thể thực vật lớn, sau đó chúng được sàng lọc các đột biến với các công cụ phân tích di truyền thông lượng cao của sinh học phân tử.

Cải tiến cây trồng cơ bản phụ thuộc vào việc xác định sự biến đổi gen trong các cây trồng. Những tiến bộ công nghệ xuất hiện từ Dự án Bộ Gen người liên kết các đặc điểm di truyền của con người với các nhu cầu chăm sóc sức khỏe có thể được chuyển giao cho các nhu cầu cải tiến cây trồng. Áp dụng các công cụ của sinh học phân tử để nhân giống cây trồng dẫn đến sự hiểu biết rộng về các biến thể (alen) trong tất cả các gen trong thực vật, do đó sự đa dạng di truyền của các phân đoạn tương đương (haplotype) trong một tế bào mầm cây sẽ cung cấp khả năng chọn lọc một cách hiệu quả và nhanh chóng các cây bố mẹ và con cháu sau này. Tuy nhiên, những đặc điểm chính như khả năng chịu hạn và kháng sâu bệnh lâu dài rất phức tạp và liên quan đến nhiều gen. Để đạt được mức hiểu biết đó đòi hỏi cách tiếp cận *Sinh học Hệ thống*, trong đó các tương tác động giữa protein, chuyển hóa chất, quá trình sinh hóa và quá trình phát tín hiệu được phân tích dưới dạng tích hợp. Điều này cần có tiến bộ trong lập mô hình máy tính để hướng dẫn các quan sát thực nghiệm. Việc tìm kiếm năng suất cao hơn trong cây trồng, bao gồm sự hiểu biết về những đặc điểm phức tạp và ứng dụng phương pháp tiếp cận hệ thống, có thể là một trong những cách để đạt được những bước đột phá cần thiết vào năm 2040.

2.1.2. Công nghệ chuyển gen cây trồng

Để vượt qua hạn chế đối với các biến thể di truyền tự nhiên và dẫn xuất của cây trồng, các nhà khoa học đã phát triển công nghệ chuyển gen, trong đó những đặc điểm của các loài thực vật hay sinh vật được đưa vào một bộ gen cây trồng. Kháng thuốc diệt cỏ và kháng sâu bệnh là các sản phẩm hạt giống thương mại của công nghệ chuyển gen thực vật được sử dụng phổ biến. Một gen từ vi khuẩn *Bacillus thuringiensis* (Bt) sản sinh độc tố giết côn trùng gây hại đã được chèn bằng công nghệ tái tổ hợp ADN vào hệ gen của ngô, bông, khoai tây, dẫn đến sản lượng cao hơn và sử dụng ít thuốc trừ sâu hóa học hơn. Bằng cách chèn một gen từ vi khuẩn *Agrobacterium* sản xuất enzyme kháng glyphosate, một loại thuốc diệt cỏ thông thường, các nhà khoa học đã sử dụng công nghệ tái tổ hợp ADN để phát triển cây trồng kháng thuốc trừ cỏ, làm cho việc kiểm soát cỏ dại hiệu quả hơn. Đậu tương, ngô, cải dầu, củ cải đường và bông kháng thuốc diệt cỏ đều được thương mại hóa và lúa mì kháng thuốc diệt cỏ và cỏ linh lăng đang được nghiên cứu phát triển.

Quá trình phát triển chuyển gen đòi hỏi cây trồng phải đi qua bảy bước trước khi dạng biến đổi của nó có thể được thương mại hóa:

- Lấy ADN từ một sinh vật mong muốn.
- Nhân bản gen bằng cách tách các gen quan tâm đơn lẻ từ ADN trên và sử dụng công nghệ *Phản ứng chuỗi Polymerase (PCR)* để tạo ra nhiều bản sao của gen đó.
- Thiết kế gen bằng cách thay đổi gen này để hoạt động trong các tế bào cây trồng sử dụng các trình tự thúc đẩy và chấm dứt mới và bổ sung thêm gen marker kháng kháng sinh.
- Chèn gen vào nhân tế bào của mô sẹo của cây trồng bằng *agrobacterium*, sử dụng súng bắn gen hoặc công nghệ microporation.
- Chuyển cây vào nuôi cấy mô trong môi trường có chứa một loại kháng sinh để chỉ những mô sẹo chuyển đổi gen có thể phát triển thành cây.
- Nuôi lớn các cây chuyển gen trong nhà kính và lấy hạt giống.
- Tạo giống hồi giao kết để kết hợp các tính trạng mong muốn của cha mẹ (gốc) với cây biến đổi gen để tạo ra dòng đơn nhất với các cây con giao kết trở lại với dòng cha mẹ ưu tú cho tới khi tạo ra một dòng biến đổi gen năng suất cao. Cần khoảng 6-15 năm để các dòng chuyển gen được thương mại hóa.

Đến nay, chúng ta đã biết hàng trăm gen chuyển có thể ảnh hưởng đến các đặc điểm của cây trồng, nhưng mới chỉ có ít gen được thương mại hóa. Khi có thêm nhiều kiến thức cơ bản về gen thực vật và hoạt động của các tế bào thực vật, thì những gen chuyển có ảnh hưởng đến năng suất cây trồng sẽ được áp dụng. Các nhà nghiên cứu đang phát triển các công nghệ có thể tinh chỉnh quá trình áp dụng các gen chuyển vào các vấn đề nông học:

- ***Sự phát triển trực tiếp của gen.*** Các kỹ thuật phòng thí nghiệm đã được phát triển để xê dịch các vùng gen hay để tạo ra những đột biến ngẫu nhiên trong các trình tự gen có thể làm thay đổi các enzyme hoặc protein được mã hóa bởi các gen này. Cách tiếp cận này đã được sử dụng để thay đổi Rubisco, một loại enzyme trong thực vật có thể chuyển đổi carbon dioxide thành các phân tử sinh học và nâng cao trình quang hợp và sự phát triển của cây. Cách tiếp cận này cũng đã được đề xuất để thay đổi Bt cung cấp độc tố trong thực vật đối với một số loại sâu bệnh cụ thể.

- ***Tắt gen (Gene Silencing).*** Sự phát hiện ra các phân tử ARN nhỏ hoạt động trong phát triển của cây và khả năng chống lại sự ức chế đã dẫn đến công nghệ *can thiệp ARN (RNAi)*. Mặc dù còn ở giai đoạn nghiên cứu ban đầu, nhưng các nhà nghiên cứu có thể thiết kế và tăng biểu hiện (tăng cường các chức năng) các gen mã hóa RNA nhằm mục tiêu vào sâu bệnh hoặc các mầm bệnh. Tương tự như

vậy, các nhà nghiên cứu có thể làm im lặng các gen đặc thù cho các sâu bệnh hoặc các mầm bệnh và kết quả là các loài gây hại và mầm bệnh không thể tồn tại. Công nghệ này đã chỉ ra một số hứa hẹn trong kiểm soát sâu đục quả bông.

- **Sửa đổi quá trình trao đổi chất.** Khi sự hiểu biết về các quá trình trao đổi chất trong thực vật tăng lên, các đặc điểm được tạo ra bằng chuyển gen sẽ trở nên phổ biến hơn. Một ví dụ của công nghệ này hiện đang diễn ra là "Gạo vàng", loại gạo này có chứa carotene như phương tiện để sản xuất thực phẩm bổ sung cho các khu vực thiếu các thực phẩm có chứa vitamin A. Công nghệ này gồm ba gen-một từ vi khuẩn, một từ ngô, và một từ thủy tiên. Sự kết hợp của các gen này cung cấp một quá trình trao đổi chất sản sinh ra beta-carotene (tiền thân của vitamin A).

- **Chèn gen ở vị trí cụ thể.** Thao tác biến đổi gen hiện nay là chèn các gen vào một nhiễm sắc thể thực vật ngẫu nhiên, dẫn đến những thay đổi rộng lớn trong biểu hiện của các tính trạng và cần phải sàng lọc hàng trăm cây chuyển gen để xác định chèn tối ưu. Nếu một alen có thể được thay thế bởi alen khác tại một địa điểm cụ thể trong tái tổ hợp tương đồng, thì quá trình cải tiến cây trồng sẽ được nâng cao lên rất nhiều bởi có thể nghiên cứu các chức năng của các gen cụ thể. Tái tổ hợp tương đồng đòi hỏi phá vỡ chuỗi kép trong nhiễm sắc thể. Công nghệ *Zinc Finger nuclease* (ZFN) cho phép phá vỡ các chuỗi kép chính xác trong các nhiễm sắc thể cho tái tổ hợp tương đồng của một alen. Các ZFN khác nhau có thể được thiết kế đặc biệt để phá vỡ một gen cụ thể. Ngoài công nghệ ZNF, các enzym khác có thể được sử dụng để tạo khả năng tái hợp hai chuỗi cụ thể giống hệt nhau. Công nghệ này có thể được sử dụng để xếp chồng nhiều gen ở một địa điểm để tạo ra một số đặc điểm mới cho cây trồng. Việc chèn gen đơn đã được thực hiện ở gạo, lúa mì và ngô.

- **Các nhiễm sắc thể nhân tạo.** Sự cải tiến cây trồng cuối cùng đòi hỏi phải chồng các alen tốt nhất cho các gen quan trọng vào một loại cây duy nhất tại một locus đơn để các gen chuyển không tách ra ở các thế hệ sau. Mặc dù các công nghệ tái tổ hợp tương đồng và chèn gen ở địa điểm cụ thể cung cấp khả năng này, nhưng các nhiễm sắc thể nhân tạo có thể là một phương pháp hiệu quả hơn. Quá trình này bao gồm tổng hợp một nhiễm sắc thể mini bằng cách liên kết các gen quan tâm và tạo thành một vòng ADN đơn nhất. Các nhiễm sắc thể nhân tạo sau đó được đưa vào các tế bào thực vật bằng cách bắn phá hạt. Trong thí nghiệm với ngô, các nhiễm sắc thể nhân tạo ở các cây sau này thường thừa hưởng đến 93% sau ba thế hệ. Công nghệ này có khả năng xếp chồng lên đến 10 gen. Do có khoảng 20 gen có liên quan đến cố định đạm, công nghệ nhiễm sắc thể nhân tạo có thể là một hướng để thiết lập khả năng cố định đạm trong cây trồng không phải họ đậu, như gạo, lúa mì và ngô.

- **Tiếp hợp vô tính (Apomixis).** Do hạt giống lai đắt hơn so với hạt giống được giữ lại từ vụ thu hoạch trước, nên nông dân có thể không sử dụng chúng, mặc dù chúng có năng suất cao và kháng sâu bệnh tốt hơn. Nếu hiệu suất của giống lai có thể được duy trì sang vụ sau, thì chi phí hạt giống sẽ giảm đáng kể. Ở một số loài thực vật hoang dã, một kiểu gen lai được bảo tồn qua Tiếp hợp vô tính, là một quá trình mà hạt giống thế hệ con cháu được sản xuất ở cây trồng không cần thụ phấn. Các nghiên cứu đang được tiến hành để xem liệu các gen chuyên có thể được thiết kế để thay đổi phương thức sản xuất hạt giống cây trồng từ thụ phấn sang tiếp hợp vô tính.

- **Các tín hiệu ức chế thực vật.** Nghiên cứu đã chỉ ra rằng các gen chuyên có thể được thiết kế và chèn vào một cây để ứng phó với sự ức chế và cung cấp tín hiệu có thể quan sát được cho thấy những thiếu hụt trong đất hay nước hoặc bệnh ở giai đoạn sớm. Một tín hiệu chẳng hạn như sự thay đổi sắc tố được cây tạo ra ở giai đoạn đầu phát triển của nó có thể cung cấp người nông dân thời điểm phải có hành động khắc phục để bảo toàn năng suất của cây trồng.

2.1.3. Công nghệ kiểm soát sinh học

Mặc dù hầu hết nông dân sử dụng thuốc trừ sâu và thuốc diệt cỏ hay cây trồng biến đổi gen để kiểm soát sâu bệnh và cỏ dại, nhưng công nghệ kiểm soát sinh học là một sự thay thế cũng đã được sử dụng. Kiểm soát sinh học bao gồm phát thả một kẻ thù tự nhiên cụ thể (ký sinh trùng, động vật ăn thịt, hoặc các mầm bệnh trong tự nhiên) để kiểm soát cỏ dại xâm lấn và côn trùng, giun tròn và các mầm bệnh thực vật. Công nghệ này đòi hỏi phải nghiên cứu sâu rộng về một loại sâu hại cụ thể trong một khu vực cụ thể và cho một cây trồng cụ thể. Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) và một số trường đại học có các chương trình nghiên cứu kiểm soát sinh học nhằm vào các sâu bệnh cụ thể. Các dự án kiểm soát sinh học của USDA bao gồm kiểm soát cá dòng cây họ cam quýt châu Á với một ký sinh, kiểm soát châu chấu bằng các nấm bệnh và kiểm soát cây xa cúc Nga bằng ruồi mật. Dự án Nghiên cứu Đích mục tiêu Cụ thể của EU đang nghiên cứu việc tăng cường và khai thác các tác nhân kiểm soát sinh học thổ nhưỡng để quản lý hạn chế sinh học trong các cây trồng. Tổ chức Bảo vệ thực vật Địa Trung Hải và châu Âu có một danh sách dài các tác nhân kiểm soát sinh học được sử dụng rộng rãi trong 50 quốc gia thành viên. Mặc dù công nghệ kiểm soát sinh học đã được sử dụng trong nhiều thập kỷ, nhưng nó có thể có tác động ngày càng tăng trong tương lai khi những lo ngại về việc sử dụng thuốc trừ sâu hóa học tăng lên.

Kiểm soát sinh học là một thành phần của *Quản lý dịch hại tổng hợp (IPM)*, là một quá trình để quản lý vấn đề sâu bệnh kết hợp với các kiểm soát sinh học, nuôi trồng, vật lý và hóa học để giảm tối thiểu những rủi ro về kinh tế, an toàn và môi trường. Nông dân hiện đang sử dụng một số khía cạnh quản lý dịch hại tổng

hợp và có thể sẽ bao gồm thêm nhiều thành phần khi các kiến thức thu được từ sinh học phân tử của sâu bệnh và cỏ dại tăng lên cùng với những lợi thế của việc giảm sử dụng thuốc trừ sâu và thuốc diệt.

Việc ứng dụng sinh học phân tử đã được các nhà khoa học trên toàn thế giới đề xuất làm phương tiện để kiểm soát sinh học và thuốc trừ sâu sinh học hiệu quả hơn bằng cách nâng cao tỷ lệ thành công, hiệu năng và độ tin cậy của chúng. Kỹ thuật di truyền có thể tăng tốc độ tiêu diệt sâu bệnh, giảm số lượng ban đầu của các tác nhân kiểm soát sinh học cần thiết, và kéo dài hiệu lực của các tác nhân. Công nghệ này mới ở giai đoạn đầu phát triển. Một ví dụ về tiềm năng của nó là các nhà khoa học tại Viện khoa học sinh học Thượng hải (Trung Quốc) và Đại học Maryland (Hoa Kỳ) đã tăng độc tính của một loại nấm côn trùng bằng cách sử dụng chuyển gen từ một con bọ cạp có một chất độc thần kinh đối với côn trùng cụ thể. Các loại nấm biến đổi gen có độc tính của nó đối với sâu trong cây thuốc lá tăng 22 lần. Một nghiên cứu khác đã chứng minh cho thấy các virus và nấm biến đổi gen cực độc kiểm soát sâu bệnh và cỏ dại. Tuy nhiên, do kiểm soát sinh học biến đổi gen vẫn còn trong giai đoạn phát triển ban đầu, nên nó sẽ không có khả năng có tác động rõ ràng đến nông nghiệp vào năm 2040.

2.2. Các công nghệ tạo giống và sức khỏe vật nuôi

Trong một quá trình tương tự với tạo giống và bảo vệ thực vật, các tiến bộ trong sinh học phân tử có tác động quan trọng đến quản lý vật nuôi. Trong nhiều thế kỷ, các nhà chăn nuôi gia súc đã được thấy sự thay đổi các tính trạng trong tạo giống động vật nuôi và lựa chọn những con có những đặc điểm vượt trội về mặt di truyền, chẳng hạn như tốc độ tăng trưởng, chất lượng/số lượng sản phẩm (sữa, thịt, trứng), khả năng sinh sản, sống sót trong môi trường khác nhau, và khả năng kháng bệnh. Trên toàn thế giới, từ năm 1993 đã có 783 giống bò, 863 giống cừu, 263 giống lợn, và khoảng 1.260 giống gà. Quá trình chọn giống động vật phải mất nhiều thập kỷ để đạt được một phả hệ vật nuôi có năng suất cao. Thông qua một quá trình lâu dài, việc chọn giống động vật đã chứng minh sự thành công được thể hiện qua sản lượng sữa từ bò sữa tăng gấp ba lần trong khoảng thời gian 50 năm mà không cần bất kỳ kiến thức về quan hệ giữa gen và tính trạng. Tuy nhiên, việc sử dụng thông tin di truyền mới xuất hiện rất có thể sẽ làm tăng hiệu quả của quá trình tạo giống cũng như nâng cao sức khỏe của gia súc năm vào năm 2040.

2.2.1. Công nghệ chọn lọc dựa trên chỉ dấu trong tạo giống vật nuôi

Lập trình tự bộ gen của vật nuôi quan trọng về kinh tế đã được tiến hành nhanh chóng bằng cách tận dụng các công nghệ được áp dụng trong Dự án Bộ gen người. Các trình tự bộ gen của gà, bò, lợn, cừu, cá, và ngựa hiện có cung cấp nền tảng cho hiểu biết về biến thể gen liên quan đến các đặc điểm quan trọng về

mặt kinh tế. Tương tự như các kết quả trong Dự án Bộ gen người, việc lập trình tự các bộ gen động vật đã phát hiện ra một số lượng lớn các đa hình di truyền có thể được sử dụng làm chỉ dấu (marker) để đánh giá cơ sở di truyền của các kiểu hình. Các bộ gen đã được giải trình tự có thể sử dụng như một tham chiếu cho một họ động vật cụ thể.

Sử dụng bản đồ gen, các nhà khoa học đã bắt đầu xác định vị trí các vùng ADN trong bộ gen động vật có ảnh hưởng đến tính trạng sinh sản. Họ sử dụng sinh học phân tử và di truyền học định lượng để tìm ra sự khác biệt trong các chuỗi ADN trong các vùng này. Để phát hiện được các con vật có những đặc điểm vượt trội, các nhà lai tạo sử dụng công nghệ Chọn lọc dựa vào Chỉ dấu (Marker Assisted Selection (MAS)), trong đó các phân tích Đa hình Nucleotide Đơn (SNP) được sử dụng để xác định vị trí các chỉ dấu trong bộ gen. Các chỉ dấu không bình thường là trình tự gen thực tế, mà là một chuỗi ở gần gen quan tâm trong nhiễm sắc thể. Các xét nghiệm trong phòng thí nghiệm sau đó có thể xác định kiểu gen cho các cá thể để xác định các alen chỉ dấu ADN mà chúng mang. Một số đặc điểm đơn giản như màu lông và có sừng hay không được kiểm soát bởi một gen trong khi những đặc điểm quan trọng về kinh tế (ví dụ như cân nặng khi sinh, sinh sản, chất lượng thịt, hoặc sản xuất sữa) là những đặc điểm phức tạp được kiểm soát bởi các sản phẩm protein của nhiều gen và bị ảnh hưởng bởi môi trường của con vật. Quá trình này là một công nghệ mới nổi có thể sẽ ngày càng trở nên chính xác hơn đến năm 2040. Chọn lọc dựa vào chỉ dấu có tiềm năng phát hiện nhanh hơn các gen vật nuôi ưu việt và nâng cao năng suất chăn nuôi.

2.2.2. Kỹ thuật di truyền (sửa gen) cho vật nuôi

Chọn lọc dựa vào chỉ dấu có tiềm năng to lớn làm tăng hiệu quả của chọn giống vật nuôi, nhưng nó không thể đưa ra những đặc điểm không có trong một loài động vật cụ thể như kỹ thuật di truyền có thể làm cho động vật. Công nghệ này đã tồn tại trong gần 30 năm, và nó đã phát triển từ mức độ rất không hiệu quả với chỉ 1-5% thế hệ sau có biến đổi gen vì việc tiêm tiền nhân vào trứng động vật ngay sau khi thụ tinh tạo ra sự tích hợp ngẫu nhiên các gen chuyển trong bộ gen.

Sự ra đời của công nghệ chuyển nhân tế bào soma (SCNT) đã gia tăng đáng kể việc sửa đổi gen chuyển của động vật. Công nghệ này bao gồm việc chèn một gen chuyển trong nhân của các tế bào của động vật rồi sau đó chuyển nhân đó vào trứng đã được bỏ nhân của con vật, và sau đó cấy trứng vào tử cung của một con vật thay thế. Công nghệ này cũng có thể được sử dụng để nhân bản vật nuôi như đã thực hiện với cừu "Dolly". Hiện giờ đây là lựa chọn hiệu quả nhất cho sản xuất động vật biến đổi gen hoặc sinh sản vô tính. Trong những năm gần đây, các phương pháp chuyển gen hiệu quả khác cũng đã được phát triển.

Công nghệ chuyển gen thông qua transposon bao gồm việc tiêm một plasmid ADN có chứa transposon vào trứng đã thụ tinh, sau đó trứng này được chuyển vào một con vật cái thay thế. Công nghệ này đã tạo ra các động vật chuyển gen với tần suất trung bình 80%. Các công nghệ qua trung gian virut cũng đang được phát triển cho chuyển gen. Hiện nay nhiều loài vật nuôi với một loạt các gen chuyển khác nhau đã được tạo ra thành công bằng phương pháp này. Các khu vực khác vẫn cần cải tiến công nghệ, chẳng hạn như khi chèn gen không có mục tiêu có thể phá vỡ các gen quan trọng trong con vật chủ; điều này làm giảm hiệu quả của sản xuất động vật thể hiện gen chuyển.

Cho đến nay, ứng dụng duy nhất của chuyển gen ở động vật đã được thương mại hóa là một loại thuốc, antithrombin tái tổ hợp (chống đông máu), được tạo ra trong sữa dê biến đổi gen. Các động vật biến đổi gen để sản xuất thực phẩm chưa nhận được sự chấp thuận pháp luật ở bất cứ đâu trên thế giới, và công nghệ này còn gặp phải sự phản đối của công chúng để sử dụng trong thực phẩm. Tuy nhiên, một số ứng dụng tiềm năng có thể có lợi cho chăn nuôi thông qua tăng hiệu quả sản xuất, cải thiện sức khỏe vật nuôi, và thay đổi các giá trị dinh dưỡng của sản phẩm động vật. Cá hồi Đại Tây Dương biến đổi gen với một gen chuyển hormone tăng trưởng đang trong quá trình phê duyệt của Cục Quản lý Thuốc và Thực phẩm Hoa Kỳ. Những con cá hồi biến đổi gen đạt trọng lượng bán ra thị trường nhanh hơn và sử dụng thức ăn hiệu quả hơn so với cá hồi hoang dã.

Một ứng dụng tiềm năng khác là sửa đổi gen cho lợn để tổng hợp lysine, một acid amin thiết yếu. Quá trình trao đổi chất để tổng hợp lysine không có trong bất kỳ giống lợn nào; do đó, thức ăn chăn nuôi lợn phải được bổ sung lysine. Bằng cách đưa một gen để tổng hợp lysine từ vi khuẩn hoặc nấm men vào bộ gen lợn, có thể không cần bổ sung lysine vào thức ăn cho lợn. Kỹ thuật chuyển gen cũng có thể được sử dụng để bảo vệ sức khỏe động vật. Sử dụng một gen chuyển từ các loài khuẩn tụ cầu (*Staphylococcus*) không sinh bệnh sản xuất ra lysostaphin, các nhà khoa học đã biến đổi gen của các con bò sản sinh ra lysostaphin trong sữa của nó để chống lại các vi khuẩn *Staphylococcus aureus* gây viêm vú. Mặc dù công nghệ kỹ thuật di truyền có tiềm năng để tạo bước đột phá lớn trong chăn nuôi, nhưng các rào cản kỹ thuật và pháp lý mà biến đổi gen và nhân bản gặp phải đã làm cho chúng khó có thể có tác động lớn đến sản xuất nông nghiệp năm 2040.

2.3. Các công nghệ quản lý nước tưới

Do nông nghiệp sử dụng khoảng 70% nguồn cung nước ngọt toàn cầu và 40% nông nghiệp sử dụng thủy lợi, nên công nghệ làm giảm yêu cầu tưới tiêu là rất quan trọng đối với khả năng cung cấp nước lâu dài. Gia tăng dân số toàn cầu sẽ làm tăng thêm nhu cầu đối với tài nguyên đất và nước canh tác. Các kỹ thuật

thủy lợi thường dùng rất kém hiệu quả. Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp của Liên Hiệp Quốc báo cáo rằng tưới tiêu nông nghiệp lãng phí trung bình 60% lượng nước lấy từ các nguồn nước ngọt. Những thất thoát diễn ra do bay hơi, thấm, hoặc cỏ dại phát triển. Việc tăng hiệu quả tưới tiêu cho sản xuất lương thực toàn cầu phụ thuộc vào tưới tiêu sẽ có tác động lớn đến nguồn cung cấp nước.

Mặc dù nông nghiệp sử dụng nước mưa, chiếm 58% sản xuất nông nghiệp toàn cầu, không dựa vào nước sông và hồ, những vẫn có các công nghệ có thể góp phần làm tăng năng suất nông nghiệp sử dụng nước mưa và làm giảm nhu cầu sử dụng các nguồn nước mặt. 69% diện tích ngũ cốc toàn cầu là sử dụng nước mưa, bao gồm 40% diện tích lúa, 66% lúa mì, 82% ngô và 86% hạt thô. Việc áp dụng công nghệ quản lý nước ở các vùng nông nghiệp nước mưa có thể đóng góp cho năng suất nông nghiệp nói chung.

Khử muối trong nước biển và nước lợ đang được sử dụng rộng rãi ở một số trường hợp đã đạt được chi phí sản xuất nước gần bằng khai thác nước ngọt. Tuy nhiên, khử muối có thể khả thi về mặt kinh tế cho các hộ gia đình và sản xuất công nghiệp, chứ không khả thi cho nông nghiệp quy mô lớn. Việc áp dụng công nghệ làm tăng hiệu quả sử dụng nước là lựa chọn duy nhất mà những người nông dân có được để đối mặt với tình trạng khan hiếm nước trên toàn cầu.

2.3.1. Công nghệ tưới tiêu tiên tiến

Hệ thống tưới nhỏ giọt dưới bề mặt. Nhận thức được hiệu quả của tưới ít nước, nông dân đã bắt đầu sử dụng tưới nhỏ giọt, làm giảm đáng kể những thất thoát nước. Hệ thống tưới nhỏ giọt bao gồm các ống nhựa có các đầu thoát hoặc lỗ có khoảng cách đều nhau dẫn dòng nước được kiểm soát trực tiếp vào đất. Để tránh bay hơi và đưa nước vào vùng rễ chính của cây, các hệ thống tưới nhỏ giọt dưới mặt đất (SDI) đang trở thành tiêu chuẩn. Kể từ những năm 1960, Israel đã đi đầu trong việc áp dụng tưới nhỏ giọt trên thế giới như là cách thức hiệu quả nhất để cấp nước cho cây trồng và đã có những sáng tạo có thể áp dụng cho nông nghiệp quy mô lớn. Trong khí hậu sa mạc, sự bốc hơi nước là nguyên nhân gây ra đến 45% thất thoát nước trong tưới bề mặt thông thường hay tưới phun. Tưới nhỏ giọt có thể giảm tổn thất bay hơi từ 30-70%. Hiệu quả tưới nước nói chung (tỷ lệ nước cấp vào cánh đồng được giữ lại trong vùng rễ cây) đối với SDI là 90-95% so với 35-60% tưới theo luống hay 60-80% đối với các hệ thống phun nước.

Ban đầu những người nông dân sử dụng SDI cho các cây trồng theo hàng hàng năm và cây ăn quả lưu niên, nhưng cải tiến thiết kế đã làm cho công nghệ này thích hợp cho bất kỳ cây trồng nào, bao gồm cả những loại cây trồng không thành hàng hoặc luống. Những tiến bộ trong công nghệ tưới nhỏ giọt vẫn đang tiếp tục diễn ra, đặc biệt là ở Israel, và công nghệ có khả năng phát triển cho đến năm 2040. Các hạn chế lớn của SDI là chi phí ban đầu của nó, khoảng 1700-

2000USD/ha so với 250-1400USD /ha đối với tưới thông thường. Một lợi thế chi phí bổ sung của SDI là hiệu quả sử dụng phân bón. SDI cấp nước trực tiếp cho rễ vì vậy cần ít nitrate từ đất và phân bón hơn. Những ưu điểm khác của SDI bao gồm:

- Kiểm soát tốt hơn cỏ dại và bệnh do không có nước ẩm phía trên làm hạn chế các điều kiện cho nảy mầm và gây bệnh.

- Giảm lo ngại về nước thải làm nhiễm cây trồng với các vi sinh vật gây bệnh.

- Tuổi thọ lâu dài, trung bình là 15 năm vì hệ thống được chôn dưới mặt đất và tránh được nhiệt và ánh nắng.

Ngoài Israel, SDI hiện chưa được áp dụng rộng rãi, nhưng hiệu quả sử dụng nước cao của nó và các chi phí có khả năng giảm với các thiết kế cải tiến có thể sẽ làm cho nó thành tiêu chuẩn cho thủy lợi vào năm 2040.

Tưới tiêu chuyển hơi nước. Để sử dụng nước muối hoặc nước bị ô nhiễm khác phục vụ cho nông nghiệp, tưới tiêu chuyển hơi nước sử dụng các màng ống cho bay hơi chôn ngầm chỉ chuyển hơi nước từ bên trong ống ra đất bên ngoài. Hơi ngưng tụ trong đất ở những nơi cây có thể hấp thụ nước; muối hoặc khoáng chất ô nhiễm khác nằm lại trong ống. Công nghệ này mới ở giai đoạn đầu với chỉ một vài ứng dụng thử nghiệm được thực hiện cho đến nay. Mặc dù kỹ thuật này có thể là sự khởi đầu của bước đột phá trong việc sử dụng nước mặn để tưới tiêu, nhưng chưa có đủ cơ sở để khẳng định nó có thể cạnh tranh với các công nghệ khử muối khác để sản xuất nước phục vụ nông nghiệp vào năm 2040.

Tưới tiêu thay đổi tỷ lệ. Người nông dân có thể sử dụng nông nghiệp chính xác để tiết kiệm nước trong tưới cho cây trồng. Nông nghiệp chính xác sử dụng các công nghệ tiên tiến như các vệ tinh định vị toàn cầu (GPS), cảm biến từ xa, hình ảnh trên không, và các hệ thống thông tin địa lý (GIS) để đánh giá tình trạng nông học có liên quan đến biến đổi tại cánh đồng. Một người nông dân có thể sử dụng các thông tin được thu thập bởi các hệ thống này để đánh giá chính xác mật độ gieo hạt, yêu cầu phân bón, và các điều kiện khác, bao gồm cả thời gian và lượng nước cho cây phát triển tối ưu trong các khu vực nhau trên cánh đồng của mình. Một máy thu GPS cung cấp các dữ liệu vị trí trên cánh đồng chỉ tiết tới một mét hoặc ít hơn. Thông tin này cùng với cảm biến từ xa về điều kiện đất đai, dẫn đến một loạt bản đồ GPS của một cánh đồng. Những bản đồ này hiển thị độ ẩm và mức phân bón cũng như các yếu tố thổ nhưỡng khác ảnh hưởng đến tăng trưởng cây trồng. Quá trình này đã cho ra đời một công nghệ mới nổi: tưới tiêu thay đổi tỷ lệ.

Do sự biến đổi trong cánh đồng - kết quả từ các loại đất, địa hình, hoặc nhiều loại cây trồng - khác nhau về thời gian và lượng nước tưới cần thiết ở các khu vực

khác nhau. Tỷ lệ sử dụng nước được kiểm soát bằng cách thay đổi thời gian nước chảy trong hệ thống tưới tại các địa điểm cụ thể trong cánh đồng. Trong một nghiên cứu được thực hiện ở nam Georgia (Hoa Kỳ) sử dụng hệ thống thủy lợi trung tâm, đã tiết kiệm được 5,7 triệu gallon nước mỗi năm trên 279 mẫu Anh, so với sử dụng nước thống nhất trên các cánh đồng này. Các công cụ để áp dụng việc tưới tiêu thay đổi tỷ lệ đang phát triển và vào năm 2040 chi phí của chúng có khả năng sẽ giảm xuống đủ để ứng dụng rộng rãi.

Công nghệ quản lý nước trong nông nghiệp nước mưa. Việc quản lý nước trong nông trại sử dụng nước mưa có thể làm tăng đáng kể năng suất cây trồng. Nâng cao năng suất nhờ cải thiện việc quản lý nước là rất rõ ràng, ngay cả với phương thức canh tác của địa phương. Khi tích hợp với nhiều loại năng suất cao, sự cải thiện năng suất được nâng cao đáng kể. Với mưa rơi trên cây trồng trong vùng bán khô cần, 15-30% được cây trồng sử dụng trong thoát hơi, 30-50% không hiệu quả do bay hơi từ đất, 10-30% thấm qua đất, và 10 -25% chảy bề mặt. Quản lý nước trong nông nghiệp nước mưa liên quan đến hai công nghệ cơ bản: thu gom và kiểm soát sự bốc hơi. Nước mưa được khai thác bằng cách thu gom và lưu giữ nước chảy thoát để dùng cho tưới tiêu trong mùa khô. Thứ hai là giảm thiểu sự bốc hơi từ đất và tối đa hóa sự thoát hơi của cây trồng bằng "thay đổi bay hơi." Từ trước đến nay, nước mưa được lưu trữ trong các bể, ao, nhưng công nghệ mới chứa nước trong tầng ngậm nước ngầm thông qua một bể xả hoặc thông qua một giếng chiết nạp. Quản lý đất để giảm sự bay hơi bằng cách sử dụng lớp phủ, không làm đất, trồng xen canh, và chắn gió cũng có tác dụng thay đổi bay hơi.

2.3.2. Nông nghiệp nhà kính

Nông nghiệp thủy canh trong nhà kính. Bằng cách canh tác các loại cây trồng trên quy mô lớn trong các nhà kính thủy canh, việc sử dụng nước có thể được giảm 90% do giám sát chính xác nhu cầu nước của cây trồng. Ngoài việc tiết kiệm nước, công nghệ này có những ưu điểm khác như: giảm phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, duy trì chất lượng cây trồng phù hợp, và tránh sử dụng hóa chất trừ sâu bệnh. Hơn nữa, nhà kính được quây kín bằng các màng mỏng chặn tia hồng ngoại và tia cực tím làm giảm sự bốc hơi nước và yêu cầu ít làm mát. Tính kinh tế của sản xuất cây trồng với nông nghiệp ứng nhà kính mặc dù hiện chưa được đánh giá, tuy vậy nhà kính đang được sử dụng ở nhiều nơi trên thế giới, tăng trưởng trong tương lai của chúng phụ thuộc vào chi phí của nhà kính và mức độ tự động hóa có thể được sử dụng.

Nông trại thẳng đứng. Việc sử dụng các trang trại thẳng đứng để sản xuất cây trồng, một bước tiến xa hơn nông nghiệp thủy canh nhà kính, sẽ làm thay đổi triệt để hoạt động nông nghiệp hiện nay cho sản xuất lương thực. Công nghệ này có thể cho năng suất cao gấp 20 lần so với ngành nông nghiệp thông thường với

lượng nước sử dụng ít hơn 95%. Được hình dung như là phương tiện để giữ cho sản xuất thực phẩm ở gần các trung tâm đô thị, nó sẽ có những lợi thế của nông nghiệp ứng nhà kính, đồng thời loại bỏ yêu cầu đất nông nghiệp bổ sung, làm giảm khoảng cách vận chuyển các sản phẩm nông nghiệp, và dễ dàng tái chế nước thải của các trung tâm đô thị. Canh tác thẳng đứng phải đối mặt với một số thách thức thấy trước. Nó có thể sẽ không hiệu quả về mặt năng lượng trừ khi thiết kế của nó bao gồm năng lượng tái tạo (chẳng hạn gió hoặc năng lượng mặt trời), đặc biệt là do nó không thể hoàn toàn dựa vào ánh sáng mặt trời. Ở giai đoạn này, canh tác thẳng đứng là một khái niệm hình dung ra một sự thay đổi triệt để trong sản xuất nông nghiệp mà chưa được thử nghiệm, làm cho việc tiếp nhận nó trong tương lai rất không chắc chắn. Hơn nữa, phân tích chi phí so sánh nó với canh tác thông thường vẫn chưa được thực hiện.

2.3.3. Tiết kiệm nước với kỹ thuật biến đổi gen cây trồng

Cây trồng chịu hạn. Một cách khác để tiết kiệm nước trong nông nghiệp là thiết kế các cây trồng có thể tồn tại và phát triển với ít nước. Khi cây lấy CO₂ từ khí quyển, nó sẽ mất 500-1000 gram nước cho mỗi gram sản phẩm thu hoạch. Một cây chịu hạn thích nghi với các điều kiện khô hoặc hạn hán. Mặc dù các nhà khoa học từ nhiều năm nay đã tạo được các giống cây chịu hạn, nhưng các đặc điểm di truyền góp phần vào khả năng chịu hạn hán thường đi kèm với tốc độ tăng trưởng thấp và năng suất thấp.

Các nhà khoa học hiện đang sử dụng các công cụ của kỹ thuật di truyền để tạo ra các giống cây có thể tồn tại và phát triển với ít nước hơn mà không giảm năng suất. Các nhà nghiên cứu đã phát hiện ra các gen hoặc phân tử mà họ có thể thay đổi để tạo ra các cây có khả năng chịu hạn hán. Ba phương pháp để thiết kế các cây chịu hạn gồm: sự biểu hiện của các protein chức năng, thao tác của các yếu tố phiên mã, và điều chỉnh đường phát tín hiệu. Các protein chức năng (glycine betaine và proline) là các osmolytes (các phân tử điều hòa tính thẩm thấu của tế bào) làm tăng sự hấp thu và duy trì nước của cây trồng. Các yếu tố phiên mã kiểm soát sự biểu hiện của các gen liên quan đến tính chịu hạn. Điều chỉnh các đường phát tín hiệu liên quan đến các phân tử đưa tin như oxit nitric, ngăn ngừa tế bào sự mất chức năng và chết khi các điều kiện nước thấp tạo áp lực lên cây trồng.

Các nhà khoa học đã phát triển khả năng chịu hạn ở một số cây trồng diện tích lớn. Monsanto, Pioneer Hi-Bred và Syngenta đang thử nghiệm giống ngô biến đổi gen có thể chịu được những điều kiện khô hạn định kỳ mà vẫn ổn định sản lượng. Arcadia Biosciences và Đại học California, Davis đã phát triển và trồng thử nghiệm gạo biến đổi gen có khả năng chịu hạn. Monsanto và BASF đã cùng phát triển ngô biến đổi gen được thử nghiệm tại Nam Phi và miền Tây Hoa

Kỳ. Không có tưới bổ sung, ngô chịu hạn đã cho năng suất cao hơn 24% so với ngô được trồng thông thường. Nghiên cứu phát triển khả năng chịu hạn ở cây trồng đã diễn ra liên tục trong nhiều thập kỷ. Công việc này đã được thấy trước vì hơn 50 gen được cho biết là có tác động đến khả năng chịu hạn. Công ty Performance Plant ở Kingston, Ontario (Canada) đang thương mại hóa các cây chịu hạn gồm ngô, đậu tương, bông, cây cảnh và cỏ với sản lượng cao hơn 15-25% so với các loại cây trồng không chuyển gen đối ứng. Công ty Pioneer Hi-Bred đã bắt đầu bán ngô chịu hạn vào năm 2011.

Cây trồng chịu mặn. Phát triển các loại cây trồng chịu mặn có thể là một cách để giảm bớt các yêu cầu nước ngọt của sản xuất nông nghiệp. Có các cây hoang dã (halophytes) chịu được muối và phát triển trong môi trường nước mặn. Kỹ thuật di truyền để tạo ra các cây trồng chịu mặn sử dụng ba phương pháp chung là: loại bỏ natri ra khỏi các tế bào thực vật, ngăn chia natri và bài tiết natri. Các nhà khoa học tại Đại học California, Davis đã biến đổi gen các cây cà chua và cải dầu. Những cây chuyển gen này có thể chịu được nước có nồng độ muối tương đương với 40% muối trong nước biển, một mức thường ức chế sự tăng trưởng của tất cả các cây trồng. Các nhà khoa học tại Đại học Adelaide, phối hợp với Đại học Cambridge, đang phát triển lúa mì, lúa và lúa mạch chịu mặn. Họ đã biến đổi các gen liên quan đến sự dẫn nước trong cây để muối bị loại bỏ trước khi thoát hơi nước và không đi vào chồi cây. Các nhà khoa học tại Arcadia Biosciences tại Davis, California đang phát triển công nghệ cho phép các cây trồng duy trì sản lượng và chất lượng bình thường trong điều kiện mặn. Họ hy vọng công nghệ này sẽ được ứng dụng rộng rãi cho các loại cây trồng khác nhau, bao gồm ngô, lúa, đậu nành, lúa mì, cỏ linh lăng, rau, và cỏ.

Mặc dù công nghệ cây trồng chịu mặn này sẽ làm giảm nhu cầu nước ngọt ở một số khu vực nông nghiệp, nhưng hiện nay mới chỉ được kiểm tra trong các thử nghiệm thực địa. Nó chưa được kiểm tra trong các thử nghiệm dài hạn để xem liệu công nghệ này có các tác dụng phụ hay không. Hơn nữa, cây trồng chịu mặn biến đổi gen vẫn chưa tìm kiếm sự phê chuẩn pháp lý. Công nghệ này phải đối mặt với nhiều trở ngại trước khi nó có thể được thương mại hóa, khó có thể đạt được vào năm 2040.

2.4. Các công nghệ quản lý đất trồng

Năng suất của đất phụ thuộc vào khả năng đất cung cấp các điều kiện vật lý, hóa học, sinh học và độ ẩm để duy trì sự tăng trưởng thực vật. Nhằm nâng cao năng suất nông nghiệp, các nhà khoa học đã nghiên cứu các công nghệ giúp phục hồi và duy trì cấu trúc vật lý của đất, nâng cao hiệu quả việc sử dụng nước và chất dinh dưỡng cũng như cải thiện bầu rễ nơi vi khuẩn tương tác với rễ của thực vật.

Hàm lượng và cấu trúc của các loại đất ở các vùng khác nhau có sự khác biệt đáng kể, và khí hậu cũng vậy, do đó, những công nghệ ứng dụng trong quản lý đất cục bộ là cần thiết. Các hoạt động sản xuất nông nghiệp hiện nay sử dụng một số các công nghệ nhằm duy trì năng suất đất và cải thiện dinh dưỡng đất như: tạo lớp phủ, sử dụng phân bón, luân canh cây trồng, tạo đường bao quanh, canh tác bảo tồn và không cày, kiểm soát thủy lợi, quản lý dinh dưỡng đất, cố định đạm sinh học, kiểm soát sử dụng phân bón. Carbon hữu cơ trong đất (SOC) tương quan mạnh mẽ với năng suất đất, ví dụ, ở Ấn Độ, khi những hoạt động trong quản lý đất giúp làm tăng SOC, sản lượng cũng đã tăng gấp 4,7 lần.

2.4.1. Công nghệ cố định ni-tơ cho thực vật không thuộc họ đậu

Chuyển gen. Vì nitơ trong đất được coi là không đủ cho sự tăng trưởng của cây, nên phân bón hóa học được sử dụng cho hầu hết các loại cây trồng. Vi khuẩn có khả năng chuyển đổi nitơ trong khí quyển sang dạng có thể được thực vật sử dụng để cố định ni-tơ. Trong các loại cây họ đậu tồn tại một mối quan hệ cộng sinh giữa các vi khuẩn Rhizobia cố định đạm và nấm rễ tương tác với rễ thực vật để cung cấp nitơ cho thực vật. Trong nhiều năm qua, các nhà khoa học đã nghiên cứu các cách thức chuyển hóa khả năng cố định đạm của thực vật họ đậu sang các loài cây trồng khác như ngũ cốc, tuy nhiên họ vẫn chưa đạt được thành công. Năm 2008, các nhà khoa học tại Viện nghiên cứu phát triển và Đại học Munich đã tìm ra các yếu tố di truyền trong cây họ đậu có khả năng cố định đạm. Đây có thể là bước đầu tiên trong quá trình phát triển công nghệ chuyển gen để thiết lập khả năng cố định đạm cho các cây trồng thuộc loại ngũ cốc như gạo, ngô và lúa mì. Tuy nhiên, đó mới chỉ là bước đầu tiên bởi cần chuyển tối thiểu 10 gen sang loài thực vật không thuộc họ đậu để làm cho chúng có với khả năng cố định nitơ.

Hỗ trợ tiến hóa. Sự phát triển khả năng cố định nitơ trong các loài không thuộc họ đậu bằng hỗ trợ tiến hóa là một hướng nghiên cứu nhằm phát triển khả năng cố định đạm cho loài cây phi họ đậu. Phương pháp này đòi hỏi phải thực hiện cải thiện di truyền từng bước của cả vi khuẩn cố định đạm và cây chủ với mục đích cuối cùng nhằm tìm ra mối liên kết cố định nitơ hiệu quả. Nghiên cứu này đòi hỏi phải xác định hàng chục gen tham gia vào mối tương tác phức tạp giữa các vi khuẩn và cây chủ. Các nhà khoa học đã thực hiện nghiên cứu trên các loại cây trồng ngũ cốc chính và các loại vi khuẩn Rhizobia, Frankia, và vi khuẩn lam bằng cách đưa các vi khuẩn vào rễ cây hoặc toàn bộ cây. Cho đến thời điểm này, họ cũng đã thu được một số kết quả ban đầu trong việc kiểm soát di truyền khả năng của vi khuẩn cố định đạm khu trú bên trong cây trồng.

Nếu phương pháp chuyển gen hoặc hỗ trợ tiến hóa thành công trong việc chuyển đổi khả năng cố định đạm cho các loại cây trồng ngũ cốc chính, thì bước đột phá này sẽ có ý nghĩa đặc biệt trong công nghệ nông nghiệp. Tuy nhiên, công

nghe chuyển gen này phải đối mặt với một số rào cản kỹ thuật không dễ vượt qua như: thứ nhất, sự liên kết của các gen cố định đạ mong muốn với các gen cung cấp sự kháng bệnh và sâu hại có khả năng can thiệp vào sức đề kháng của cây đối với sâu bệnh; thứ hai, việc đưa vào các chuỗi plasmid vi khuẩn cùng với các gen cố định đạ mong muốn có thể gây hại cho cây; và thứ ba, gen có thể truyền từ cây được chuyển sang cây không chuyển gen hoặc các loài thực vật hoang dã. Do vẫn còn tồn tại những khó khăn mà thách thức kỹ thuật mang lại cũng như những hạn chế trong nỗ lực nghiên cứu, việc cố định đạ có thể không được thực hiện đối với các loài cây ngũ cốc cho đến năm 2040.

2.4.2. Công nghệ biến đổi vi sinh vật đất

Kích thích thực vật. Vùng rễ bao gồm mô rễ, bề mặt rễ, và đất nơi rễ vươn ra. Vi khuẩn tồn tại trong môi trường này ở trên rễ cây và bề mặt đất trong màng sinh học nước mỏng. Vùng rễ khác với đất bên ngoài vùng rễ cả về sinh học và hóa học, và những ảnh hưởng của bệnh thực vật và vi sinh vật thúc đẩy tăng trưởng ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng cây trồng. Nghiên cứu về vùng rễ đã chỉ ra rằng biến đổi vi sinh vật đất có thể làm giảm nhu cầu phân bón và thuốc trừ sâu cũng như kích thích tăng trưởng. Kích thích thực vật đề cập đến công nghệ kích thích ảnh hưởng của vùng rễ đối với sức khỏe và sự phát triển của cây. Nông dân thường sử dụng phân bón cho đất để tăng cường sự tăng trưởng và gia tăng năng suất cây trồng, nhưng mối quan hệ giữa thực vật và vi sinh vật vùng rễ vẫn chưa được nhận thức một cách rõ ràng. Việc áp dụng sinh học phân tử cho các vi sinh vật vùng rễ góp phần làm tăng năng suất cây trồng. Chẳng hạn như, các nhà khoa học đã chỉ ra rằng các hormones thực vật của vi khuẩn lam có khả năng cải thiện sự tăng trưởng và năng suất của cây lúa mì.

Đất ức chế bệnh. Các nhà khoa học đã phát hiện ra rằng một số nhóm vi sinh vật đất có khả năng bảo vệ cây trồng cũng như ức chế bệnh ở cây trồng. Bởi có nhiều loài vi sinh vật không thể được nuôi cấy trong môi trường phòng thí nghiệm, nên người ta sử dụng phân tích metagenomic để nghiên cứu chúng trong môi trường tự nhiên, xác định và sử dụng chúng trong phân đất. Việc phát triển hơn nữa trong lĩnh vực này có thể giúp kiểm soát bệnh ở cây trồng tốt hơn cũng như giảm thiểu sử dụng thuốc trừ sâu.

Hấp thụ phốt pho. Một yếu tố đầu vào quan trọng cho sự tăng trưởng ở thực vật là phốt pho, và nó cần phải được cung cấp cho cây từ bên ngoài. Khả năng hấp thụ phốt pho trong cây thường không hiệu quả vì phần lớn lượng phốt pho này bị giữ lại trong đất nên cây không thể hấp thụ được. Cây chỉ thu được từ 10%-20% lượng phốt pho sử dụng. Ngoài ra, lượng cung cấp phốt pho trên quy mô toàn cầu sử dụng trong phân bón hạn chế với dự báo tổng lượng cạn kiệt trước cuối thế kỷ này. Vi khuẩn và nấm cũng có thể làm tăng khả năng hấp thụ phốt

pho, thế nhưng cho đến nay việc phát triển công nghệ này còn rất hạn chế. Nghiên cứu về mối quan hệ giữa cây trồng và sinh vật hấp thu phốt pho cuối cùng có thể dẫn tới sự cải thiện lớn về hiệu quả của khả năng hấp thu phân bón phốt pho. Tuy nhiên, vì cho đến nay, kết quả đạt được chưa khả quan, do đó, sự cải thiện này có thể sẽ chưa thể mang lại thành công trước năm 2040.

Hạt Nano. Zeolite được sử dụng làm chất cải tạo đất để nâng cao hiệu quả của phân bón, cải thiện độ thấm hút và giữ nước cũng như giữ lại chất dinh dưỡng cho cây. Nghiên cứu về zeolite tập trung vào việc thay đổi cấu trúc phân tử zeolite nhằm cải thiện hiệu quả của khoáng chất này. Một số chuyên gia nghiên cứu công nghệ nano như một cách thức để cải thiện hiệu suất của zeolite. Sự sắp xếp từng nguyên tử một trong công nghệ nano cho phép khả năng kiểm soát kích thước, hình dạng, và hướng phản ứng với đất hoặc mô cây. Việc áp dụng công nghệ nano vào đất được đề xuất bao gồm zeolit nanoporous giúp cho phân bón và nước thoát chậm hơn, nanocapsules giúp kiểm soát quá trình thoát thuốc diệt cỏ và thuốc trừ sâu và nanosensor giúp phát hiện dịch hại. Tuy nhiên, mối lo ngại về ảnh hưởng của hạt nano đến sức khỏe của con người đang là một vấn đề rất được quan tâm, một số tổ chức đã có chủ trương không sử dụng chúng trong đất cho đến khi thiết lập được điều kiện an toàn của yếu tố này.

2.5. Công nghệ trong nuôi trồng thủy sản

Từ năm 1961, nguồn cung cấp thức ăn từ cá đã tăng đáng kể bởi mức độ tăng trưởng nhanh chóng của ngành nuôi trồng thủy sản, sự phát triển của động thực vật thủy sinh để lấy thực phẩm. Tốc độ tăng trưởng hàng năm đạt 3,1% kể từ năm 1961, trong khi đó, tốc độ gia tăng dân số trên thế giới hàng năm là 1,7%. Vốn được xem là một nguồn protein động vật tuyệt vời, chất lượng cao với giá cả phải chăng, cá chiếm xấp xỉ 16% lượng đạm từ động vật vào năm 2010 và khoảng 6% lượng đạm tiêu thụ tính trên toàn cầu. Do xảy ra tình trạng đình trệ trong quá trình đánh bắt cá, việc gia tăng nhu cầu đối với các sản phẩm từ cá sẽ cần phải được giải quyết thông qua nuôi trồng thủy sản. Là lĩnh vực sản xuất thực phẩm có nguồn gốc từ động vật có tốc độ tăng trưởng nhanh nhất, đóng góp của ngành nuôi trồng thủy sản trong tiêu thụ nguồn thực phẩm từ cá đã tăng từ 10% vào năm 1970 lên 46% vào năm 2008, và trong tương lai gần có thể sẽ chiếm hơn 50% nguồn cung cấp cá thực phẩm trên toàn cầu. Khu vực châu Á – Thái Bình Dương là khu vực nuôi trồng thủy sản lớn nhất, chiếm khoảng 89% sản lượng. Bình quân nguồn cung thực phẩm từ cá từ nuôi trồng thủy sản tính trên đầu người là từ 0,7kg trong năm 1970 đến 7,8kg trong năm 2008, tốc độ tăng trưởng hàng năm trung bình đạt 6,6%. Trong một báo cáo của Ngân hàng Thế giới vào năm 2006, kịch bản dự báo tri trệ sản lượng đánh bắt cá là giả định quan trọng cho thấy nhu cầu

về nuôi trồng thủy hải sản có thể sẽ tiếp tục tăng cho đến năm 2040, với tốc độ tăng trưởng hàng năm dao động từ 1,4 đến 5,3%.

Sự gia tăng chủ yếu năng suất nuôi trồng thủy sản thông qua toàn bộ chu kỳ sản xuất và phân phối đã thúc đẩy tăng trưởng của ngành nuôi trồng thủy sản. Sự tăng trưởng chủ yếu bao gồm những tiến bộ về giống cá (cá cải tiến gen), vấn đề dinh dưỡng cá và kiểm soát dịch bệnh; sự phát triển của các hình thức nuôi trồng thủy sản mới; kết hợp với các hệ thống canh tác và xử lý chất thải; phát triển nguồn cung cấp, phân phối và duy trì chuỗi trên phạm vi toàn cầu. Ở châu Á, nhiều hệ thống xử lý lớn đã xây dựng các nhà máy xử lý tập trung lớn nhằm cải thiện năng suất và đáp ứng tốt hơn, góp phần nâng cao chất lượng và đáp ứng yêu cầu về an toàn. Những công nghệ xử lý cải tiến góp phần tận dụng tốt hơn nguồn chất thải từ cá cho nhiều mục đích sử dụng khác nhau như: xử lý nước, mỹ phẩm, hóa chất nông nghiệp, nhiên liệu sinh học, dược phẩm. Do cải thiện năng suất và sản lượng gia tăng đáng kể, giá thành của các sản phẩm nuôi trồng thủy sản, bao gồm các sản phẩm với số lượng lớn như cá chép, cá rô phi có sự giảm đều trong vòng 20 năm qua.

Đến năm 2040, bốn công nghệ góp phần dẫn đến sự tăng trưởng trong cung cấp thủy sản nuôi trồng, cùng với đó là giá thành có khả năng sẽ giảm, bao gồm:

Cá cải tiến gen. Cải tiến gen của các loài cá nuôi có thể sẽ tiếp tục nâng cao năng suất nuôi trồng thủy sản cũng như giúp giảm thiểu tác động đến môi trường. Các tiến bộ sinh học nuôi trồng và cải tiến di truyền tập trung vào việc thuần hóa các loài mới, phát triển các phương pháp nuôi mới trong sản xuất giống, phát triển đàn giống mới nhằm tăng năng suất và giúp giảm thiểu dịch bệnh cũng như yêu cầu đối với thức ăn, không gian và nước. Trong năm 2000, Gjedrem - Viện Nghiên cứu Nuôi trồng thủy sản Na Uy ước tính chỉ có 1% sản lượng nuôi trồng thủy sản dựa trên cải tiến di truyền ở cá và động vật có vỏ, tuy nhiên, các chuyên gia hy vọng rằng đến năm 2040, tỷ lệ này sẽ tăng lên.

Chế độ dinh dưỡng, thức ăn và chế độ ăn. Thông thường, thức ăn chiếm khoảng 60% chi phí và thường được xem là phần tốn kém nhất trong hệ thống nuôi trồng thủy sản thương mại. Nhiều nghiên cứu vẫn đang tiếp tục được thực hiện nhằm phát triển các thành phần thay thế cho bột cá và dầu cá, chẳng hạn như phần thừa của quá trình chế biến thịt gà hoặc của các sản phẩm thực vật như đậu tương và hạt cải; tăng hiệu quả cao tối ưu hóa, lập công thức thức ăn ít gây ô nhiễm; và nhiều hệ thống phân phối thức ăn tự động và chính xác hơn. Ví dụ như: những người nuôi cá hồi giảm tỷ lệ chuyển hóa thức ăn (tỷ lệ của tổng lượng thức ăn của một đàn cá từ khi mua về, chưa trưởng thành đến thời điểm thu hoạch với trọng lượng cá lúc thu hoạch) từ 2:1 của những năm 1980 lên đến 1,3:1 trong thập

kỷ đầu của thế kỷ 21, giúp tiết kiệm chi phí đáng kể và giảm chất thải. Lợi nhuận trong tương lai có khả năng sẽ làm giảm tỷ lệ này xuống dưới mức 1:1.

Hệ thống tuần hoàn khép kín. Ngành nuôi trồng thủy sản đang tận dụng những tiến bộ trong quá trình sinh học và các mối tương tác phức tạp giữa chất dinh dưỡng, vi khuẩn và sinh vật được nuôi cấy để thiết kế các hệ thống nuôi trồng thủy sản khép kín, cho phép nuôi sinh vật biển tại các địa điểm cách xa biển. Trong hệ thống tuần hoàn, một số hoặc tất cả nguồn nước trong một cơ sở nuôi cá được tái sử dụng để kiểm soát môi trường nuôi tốt hơn, giảm thiểu sử dụng nước, loại bỏ triệt để các chất thải khỏi hệ thống, cung cấp cho hệ thống làm ấm và làm mát nước hiệu quả hơn. Một lợi thế quan trọng của hệ thống khép kín này là cách ly hệ thống nuôi trồng thủy sản khỏi các hệ sinh thái tự nhiên, giúp giảm thiểu nguy cơ mắc bệnh hoặc các tác động gen đối với môi trường. Hệ thống tuần hoàn đã và đang được áp dụng trong nuôi loài lươn ở Đan Mạch trong nhiều năm, giúp Đan Mạch trở thành đất nước có sản lượng lươn đứng hàng đầu trong số các nước Châu Âu. Cùng với sự phát triển của công nghệ tuần hoàn quy mô lớn sẽ là sự phát triển của các loại thức ăn thay thế sử dụng đạm thực vật để thay thế bột cá và dầu cá.

Hệ thống đại dương mở. Do đại dương chiếm phần lớn bề mặt trái đất, nên việc sử dụng hệ thống đại dương mở có thể thay đổi mạnh mẽ bản chất của sản xuất thực phẩm con người. Ngày nay, hầu hết nuôi trồng thủy sản biển được thực hiện tại các khu vực ven biển được bảo vệ. Tuy vậy, những kinh nghiệm trong nuôi trồng gần bờ và công nghệ từ kỹ thuật hàng hải, ngành công nghiệp khí - dầu ngoài khơi có thể sẽ kết hợp với nhau, tạo điều kiện cho việc sử dụng các lồng lớn hay các kết cấu chứa trong vùng biển mở cho nuôi và thu hoạch cá được thực hiện dễ dàng hơn. Khó khăn, rào cản chủ yếu là chi phí lắp đặt ngoài khơi lớn và thách thức trong việc giảm thiểu tác động môi trường tiềm tàng từ các cơ sở này trong quá trình hoạt động. Để giải quyết các điều kiện khắc nghiệt ngoài khơi, cần thiết phải thực hiện cơ giới hóa các nhiệm vụ trọng tâm để giảm thiểu sự tham gia của con người, liên tục giám sát các điều kiện môi trường chính, hoạt động và sức khỏe của cá sẽ rất cần thiết để đảm bảo hoạt động liên tục và hiệu quả, và sẽ cần các kết cấu lồng chứa bề mặt có thể sử dụng ở những khu vực biển động hay khu vực nước bên dưới bề mặt nước biển.

Kiến trúc kỹ thuật để thiết kế các nhà bè trên biển mở, với quy mô lớn. Từ năm 2001, một số thiết kế thương mại đầu tiên đã được triển khai tại nhiều nước trên thế giới, trong đó có Hoa Kỳ. Một phân tích về nguồn nước của Anh vào năm 2007 đã kết luận rằng việc xây dựng một nhà bè mở có quy mô lớn để nuôi các loài cá phát triển nhanh ở vùng biển nước Anh là hoàn toàn khả thi nếu xét về mặt kinh tế. Biên bản ghi nhớ kỹ thuật được ký với Cơ quan khí quyển và đại dương

Hoa Kỳ (NOAA) vào năm 2008 cũng đã nhấn mạnh tiềm năng thương mại hiện có của hệ thống đại dương mở này.

2.6. Công nghệ nông nghiệp chính xác

Nền nông nghiệp chính xác bao gồm một loạt các công nghệ và thực hành liên quan giúp người nông dân nhận thức và giải quyết được những sự biến đổi đất có thể ảnh hưởng lên sự tăng trưởng của cây trồng. Các kỹ thuật canh tác chính xác hiện nay có xu hướng tập trung vào việc khám phá cách thức biến đổi của các yếu tố như chất lượng đất, nguồn nước, mô hình thoát nước,... trong một cánh đồng, sau đó áp dụng các chiến lược trồng, thu hoạch và quản lý để giải quyết những biến đổi đó. Thông tin, số liệu về các biến đổi trong cánh đồng có thể thu được từ nhiều nguồn như thao tác lấy mẫu và kiểm tra; thiết bị cầm tay, cảm biến gắn ở thiết bị, cảm biến đặt trên cánh đồng hay đặt trên mặt đất, trên không, hoặc các điều tra dựa trên vệ tinh. Các chiến lược quản lý có thể rất khác nhau, mục đích có thể là nhằm tăng năng suất cây trồng hoặc giảm tiêu thụ nguyên liệu đầu vào tốn kém như hạt giống, phân bón và thuốc diệt cỏ.

Canh tác chính xác tập trung vào việc nhận thức và thích ứng với các biến đổi trong cánh đồng có thể là kết quả của nhiều yếu tố khác nhau giúp phát triển nền nông nghiệp chính xác. Mặc dù các nhà khoa học cây trồng từ lâu đã thử nghiệm nhiều phương pháp nhằm tận dụng thông tin, dữ liệu từ các bức ảnh chụp trên không hay từ vệ tinh cũng như từ những khảo sát được thực hiện trên cánh đồng để cung cấp tin tức về thực hành quản lý cây trồng, nhưng kỹ thuật canh tác chính xác chưa được áp dụng rộng rãi trước thập niên 1990, khi những thay đổi trong bối cảnh kinh doanh nông nghiệp Hoa Kỳ bắt đầu dần có xu hướng mang lại lợi ích cho các nông trại lớn và tích hợp theo chiều dọc ở mức độ cao. Khi các nông trại phát triển, các phương pháp quản lý nông trại truyền thống coi mỗi cánh đồng là một thực thể nguyên khối nhường chỗ cho kỹ thuật quản lý thay thế nhằm tập trung tìm hiểu các biến thể nội đồng và những ảnh hưởng của chúng đến yếu tố năng suất cây trồng. Đồng thời, giá thành của các hệ thống định vị vệ tinh vào thời điểm đó đang giảm mạnh, và các nguồn công nghệ thông tin khác nhau cần thiết để tạo ra, cập nhật và tận dụng bản đồ cánh đồng tùy chỉnh đang trở nên dễ dàng tiếp cận và có giá thành hợp lý đối với những nông dân.

Do lịch sử phát triển, nền nông nghiệp chính xác gắn bó chặt chẽ với các hoạt động thực hành nông nghiệp-công nghiệp quy mô lớn chiếm ưu thế trong các khu vực như miền trung tây Hoa Kỳ, miền nam Brazil, và nhiều vùng ở Canada, Đức và Úc. Chi phí vốn tương đối thấp, quỹ đất cao và tập trung vào hiệu quả (bao gồm cả hiệu quả lao động) giúp khuyến khích nông dân ở các khu vực này mua

máy móc, phương tiện nông nghiệp lớn hơn và phức tạp hơn và có khả năng tích hợp các công nghệ canh tác chính xác.

Mặc dù một số kỹ thuật nông nghiệp chính xác có thể được sử dụng trên các trang trại quy mô nhỏ dựa trên sức lao động của con người thay vì lao động cơ khí, nhưng các công nghệ nông nghiệp chính xác tiên tiến nhất lại dựa trên tính tự động ở mức độ rất cao, không chỉ tính ứng dụng mà còn cả về ra quyết định. Nền nông nghiệp chính xác có thể sẽ bổ sung đáng kể vào chi phí hiện tại, và có thể là đến năm 2040 sự gia tăng sản lượng với công nghệ bổ sung này chưa thể bù đắp cho các chi phí bổ sung. Đối với các công nghệ nông nghiệp chính xác được nhân rộng trong tương lai và theo cách thức tác động đáng kể đối với sản lượng lương thực toàn cầu và tiêu thụ tài nguyên, thì những hướng dẫn hay hệ thống ứng dụng tự động hóa đang nổi lên ở các phương tiện máy móc nông nghiệp sẽ phải giảm về kích thước và chi phí để có thể hoạt động được trên các mảnh đất nhỏ ở các nước đang phát triển vốn được xem là nơi có thể tăng năng suất tiềm năng lớn nhất.

Tổng quan về công nghệ nông nghiệp chính xác sau đây minh họa một lộ trình phát triển mà trong đó nền nông nghiệp cơ giới hóa sẽ trải qua một quá trình chuyển đổi mạnh mẽ và có thể được áp dụng phù hợp với hầu như bất kỳ địa điểm nào.

2.6.1. Các thành phần cơ bản: Lập bản đồ và quản lý

Xét trong nhiều khía cạnh, thiết bị thu nhận định vị vệ tinh là một công nghệ nền tảng trong nền nông nghiệp chính xác và được ứng dụng rộng rãi nhất trong tất cả các công nghệ nông nghiệp chính xác. Thiết bị thu này thường sử dụng tín hiệu từ chùm vệ tinh của Hệ thống định vị toàn cầu Hoa Kỳ (GPS), cùng với điều chỉnh tín hiệu từ máy phát trên mặt đất cố định để cung cấp thông tin vị trí cực kỳ chính xác - một yếu tố đóng vai trò hết sức quan trọng cho các ứng dụng nông nghiệp chính xác. Một trong những ứng dụng phổ biến nhất của đầu thu GPS trong nông nghiệp chính xác là tạo ra các bản đồ đất tọa độ địa lý. Nông dân sẽ sử dụng đầu thu GPS cầm tay để đánh dấu chính xác các vị trí của mẫu đất, sau đó đối chiếu mẫu đất và tọa độ GPS trong một cơ sở dữ liệu hệ thống thông tin địa lý (GIS). Có các công nghệ và kỹ thuật khác nhau để xác định tính chất đất, bao gồm xét nghiệm mẫu, đầu dò đo độ dẫn điện của đất (để xác định hàm lượng nước), và đồng hồ đo độ pH cầm tay (nhiều trong số đó tích hợp hay kết nối với đầu thu GPS để tạo ra dữ liệu tọa độ địa lý, mà không đòi hỏi việc phải nhập riêng những dữ liệu này). Nhiều cảm biến còn có thể được gắn trên các phương tiện đi lại để giúp việc đo đạc được thực hiện nhanh hơn tại vị trí là những cánh đồng rộng lớn. Cảm biến từ xa cũng có thể đo liên tục chỉ số chất lượng đất và truyền những số liệu này tại một cơ sở dữ liệu trung tâm.

GPS và GIS cũng được sử dụng để đo lường và sắp xếp các chỉ số thể hiện sức khỏe và tình trạng của cây trồng. Chẳng hạn như đối với thao tác lấy mẫu đất, một loạt các cảm biến và phương pháp có thể được sử dụng để thực hiện đo lường các tọa độ địa lý. Ví dụ, cảm biến cầm tay và cảm biến gắn trên xe có sẵn có thể đo hàm lượng của chất diệp lục trong lá cây bằng cách đo năng lượng ánh sáng phản chiếu trên lá. Hàm lượng diệp lục trong lá thấp cho thấy sự thiếu hụt dinh dưỡng, bệnh hại ở cây trồng hoặc các vấn đề khác. Bên cạnh đó còn có các loại cảm biến tương tự được thiết kế để đo lường các chỉ số sức khỏe khác như nhiệt độ cây trồng (thể hiện sự thiếu hụt nước), hàm lượng đường (giúp xác định độ chín của quả), và sự phá hoại của côn trùng.

Nông dân có thể sử dụng số liệu quan trắc địa lý để hỗ trợ hoạt động quản lý nông trại theo vùng, từ đó, thay đổi các ứng dụng đầu vào cây trồng (giống, phân bón, thuốc trừ sâu) dựa vào các yếu tố như sức sống cây trồng và độ màu mỡ của đất. Kỹ thuật phổ biến giúp kiểm soát đầu vào theo vùng là chia một nông trại thành các khu quản lý, rồi sau đó tính toán phân bố tối ưu đầu vào trong mỗi khu. Phương pháp phân khu được phổ biến vì nó tương đối dễ sử dụng với hệ thống ứng dụng không chính xác, phân tán đồng đều lượng đầu vào trong một mô hình rộng. Tính toán đầu vào cần thiết thường được xem là nhiệm vụ của phần mềm chuyên dụng, đòi hỏi chi phí giấy phép đắt tiền. Tuy nhiên, lượng đầu vào có thể được tính toán thủ công bằng cách sử dụng công thức trong trường hợp người nông dân nắm bắt được những kiến thức cần thiết. Vấn đề đang diễn ra chủ yếu với nền nông nghiệp chính xác là xác định những mức độ đầu vào thích hợp với các điều kiện nông trại khác nhau. Các công thức khuyến cáo hiện nay thường dựa trên giá trị nghiên cứu khoa học cây trồng của nhiều thập niên. Tuy nhiên, chúng thường được sử dụng để quản lý "toàn bộ khu vực nông trại" thông thường trên cơ sở từng khu vực, và không nhất thiết phải phù hợp với các kỹ thuật quản lý quy mô nhỏ hơn nhiều trong canh tác chính xác. Các nhà nghiên cứu đang phát triển các thuật toán, được thiết kế riêng để áp dụng canh tác chính xác và có thể được tùy chỉnh với các điều kiện trong các khu vực nông trại riêng không phân biệt khu vực. Không giống như nhiều công nghệ nông nghiệp chính xác, việc lập bản đồ đầu vào tọa độ không gian địa lý tương đối đơn giản để thích ứng để hoạt động trong các hệ thống nông trại quy mô nhỏ phổ biến ở các nước đang phát triển.

Do tính trung tâm đối với cả canh tác chính xác cơ giới hóa và phi cơ giới hóa, công nghệ lập bản đồ và công nghệ đề xuất đều có khả năng trở thành các thành tố canh tác chính xác quan trọng nhất.

2.6.2. Các hệ thống tích hợp đầu tiên: theo dõi năng suất

Theo dõi năng suất, giải pháp canh tác chính xác được tích hợp đầu tiên mới xuất hiện, đã được áp dụng ở máy gặt-đập liên hợp những năm 1990 và hiện đang là loại phổ biến nhất của hệ thống canh tác chính xác tích hợp. Máy theo dõi năng suất điển hình sử dụng một cảm biến tác động để đo lường ngũ cốc được xử lý khi vào thùng chứa hạt của máy gặt đập. Cảm biến riêng biệt đo độ ẩm của hạt để giúp hiệu chỉnh các biến đổi do độ ẩm gây ra trong hạt, qua đó, nâng cao độ tin cậy của phép đo dòng hạt này. Máy theo dõi năng suất cho phép nông dân theo dõi sản lượng có độ chính xác hơn so với phương pháp cũ (như cân hạt khi bán). Các dữ liệu năng suất chính xác này giúp nông dân kiểm soát được việc quản lý, điều hành nông trại, chẳng hạn như đàm phán cho thuê cây trồng. Nông dân cũng sử dụng thành phần cảm biến độ ẩm trong máy theo dõi năng suất để thu thập thông tin về điều kiện cây trồng, có thể đưa ra các chiến lược trồng trọt và các thực hành xử lý xây trồng tiếp theo.

Theo dõi năng suất trở thành một công cụ mạnh mẽ, hiệu quả hơn rất nhiều khi kết hợp với thông tin định vị vệ tinh và phần mềm lập bản đồ. Máy gặt đập liên hợp được trang bị cả thiết bị giám sát năng suất và hệ thống GPS có thể tương quan đo lường năng suất tức thời với các địa điểm chính xác trong một khu vực nông trại. Sau đó phần mềm chuyên dụng có thể sử dụng những dữ liệu liên quan đó để tạo bản đồ năng suất, có thể chỉ cho người nông dân các khu vực trên cánh đồng có mức năng suất đặc biệt cao hay thấp. Bản đồ năng suất có thể giúp nông dân khắc phục một loạt các vấn đề về nông trại của mình mà nếu không thì họ sẽ gặp khó khăn lớn trong việc sử dụng các kỹ thuật khác như lập bản đồ đất tọa độ địa lý. Ví dụ, một khu vực có năng suất thấp của một cánh đồng cũng trồng ngũ cốc lại có độ ẩm cao bất thường có thể có vấn đề về thoát nước. Theo dõi năng suất còn có thể giúp nông dân theo dõi kết quả thử nghiệm với các chiến lược trồng khác nhau và kỹ thuật quản lý để xác định những thứ sẽ hoạt động tốt nhất cho các khu vực cụ thể trên cánh đồng.

2.6.3. Các công nghệ mới nổi: Canh tác thay đổi theo vùng và chỉ dẫn tự động

Một trong những phát triển quan trọng nhất trong hệ thống nông nghiệp chính xác tích hợp trước trong thập kỷ vừa qua là sự ra đời của các hệ thống ứng dụng (cấp) thay đổi theo vùng đất (variable-rate application) dùng cho phân bón, hạt giống, thuốc trừ sâu, và thuốc diệt cỏ. Những hệ thống này thay thế hệ thống ứng dụng cố định thông thường trên các phương tiện nông trại hay các phương tiện chuyên dụng. Các hệ thống ứng dụng thay đổi theo vùng có thể cho phép người nông dân cung cấp chính xác liều lượng đầu vào cây trồng ở những nơi cần thiết. Hệ thống ứng dụng thay đổi theo vùng cơ bản nhất là loại có người điều khiển, có nghĩa là người nông dân phải điều chỉnh thủ công các đầu ra của hệ thống khi hệ

thống định vị của xe cho biết xe đang đi vào 1 vùng mới. Hệ thống ứng dụng thay đổi theo vùng liên kết trực tiếp với hệ thống GPS/GIS trên xe và điều chỉnh các tỷ lệ phân tán đầu vào dựa trên dữ liệu bản đồ. Các hệ thống tiên tiến nhất sử dụng công nghệ cảm biến và công nghệ cấp, trong đó các cụm cảm biến gắn trên xe hay thiết bị sẽ đo chỉ số tình trạng cây trồng và hướng đầu phun hay thiết bị cấp thay đổi để cung cấp lượng đầu vào thích hợp để xử lý vấn đề. Ví dụ, một thiết bị phun thuốc diệt cỏ được trang bị công nghệ on-the-go (xử lý di động) có thể xác định cỏ dại bằng cách sử dụng cảm biến quang và cung cấp đủ thuốc diệt cỏ giúp tiêu diệt cỏ dại bằng cách sử dụng đầu phun khớp nối. Hệ thống cảm biến và ứng dụng on-the-go còn có thể tận dụng dữ liệu từ cơ sở dữ liệu bản đồ để nâng cao độ chính xác và mức đáp ứng, các đầu vào của cảm biến có thể cung cấp các thông tin quý giá để cập nhật cơ sở dữ liệu, hỗ trợ quyết định trong tương lai.

Nông dân thường xuyên ghép hệ thống ứng dụng thay đổi theo vùng với hệ thống hướng dẫn giúp giữ cho máy kéo và các thiết bị hoạt động chính xác trên 1 cánh đồng, giúp giảm khối lượng công việc của nông dân, trong khi cải thiện tính chính xác của thay đổi ứng dụng theo vùng. Ngay cả trong trường hợp không có các hệ thống ứng dụng thay đổi theo vùng, người nông dân có thể khai thác lợi ích của các hệ thống hướng dẫn trong việc định vị các cánh đồng và xác định điểm giao giữa các vùng. Hệ thống hướng dẫn cơ bản nhất bổ sung một màn hình hiển thị bản đồ định vị với một cột ánh sáng chỉ thị hỗ trợ nông dân có thể đi xe trên một con đường được xác định trước một cách chính xác nhất. Các hệ thống tiên tiến hơn ngày càng kết hợp hướng dẫn hoạt động, bao gồm cả lái máy kéo tự động và hệ thống hướng dẫn và lái tách riêng cho thực hiện. Hệ thống lái tự động cơ bản giữ máy kéo trên 1 đường thẳng rất chính xác đi qua cánh đồng, nhưng người nông dân vẫn cần chuyển hướng máy kéo để bắt đầu đi qua 1 cánh đồng khác. Các hệ thống tốt nhất hiện nay có thể cả lái và chuyển hướng máy kéo và có thể đạt được mức độ chính xác rất cao, kiểm soát các phương tiện hoạt động cho hàng chục hàng cây trồng theo các mẫu hình lặp lại với dung sai +/- 1 inch thậm chí ở cả các cánh đồng không bằng phẳng hay dốc.

2.6.4. Công nghệ trong tương lai: Robot nông trại và cánh đồng thông minh

Các xu hướng tương lai trong canh tác chính xác nhằm tăng tính tự động hóa của các phương tiện nông trại và điều khiển thiết bị. Một số nhà sản xuất đã giới thiệu các hệ thống hướng dẫn cho phép máy kéo tự lái, thực hiện 1 số nhiệm vụ hạn chế như theo sau máy gặt đập liên hợp, trong khi kéo thêm toa xe thu hạt, tự lái toa xe đến một điểm đã cài đặt sẵn để đổ hạt, và sau đó trở về vị trí của máy gặt đập để thu hạt. Trong 5-10 năm tới, máy kéo tự hành có thể tham gia vào một loạt vai trò trong các trang trại quy mô lớn. Hiệu quả thu được từ việc sử dụng rộng rãi các hướng dẫn tự động và công nghệ ứng dụng và cảm biến on-the-go có

thể giúp công việc canh tác tự động trở nên có lợi hơn canh tác thông thường, thúc đẩy tăng đầu tư vào công nghệ canh tác tự động.

Quan trọng hơn, khi các lợi ích của canh tác tự động được xác định, các chuyên gia hy vọng rằng xu hướng dựa trên hiệu quả hướng tới các phương tiện nông trại lớn hơn sẽ tự đảo ngược. Nhiều chuyên gia hy vọng rằng những quan tâm hiệu quả sẽ thay cho ý thích triển khai những đàn lớn thay vì đàn nhỏ, các robot hoá chuyên canh sẽ làm việc trên các phần nhỏ trên cánh đồng vào mọi lúc, có thể là 24 giờ một ngày. Mỗi xe sẽ trang bị đầy đủ cảm biến và phần mềm (hoặc thông qua hệ thống điều khiển trên xe hoặc dữ liệu liên kết hệ thống từ xa) cho phép nó có thể quản lý vùng canh tác của mình một cách tối ưu. Cùng với mạng lưới cảm biến phân tán theo dõi các điều kiện đất và cây trồng và các phần mềm tích hợp thu thập dữ liệu và ra lệnh-và-kiểm soát, "các cánh đồng thông minh" trong tương lai có thể tự canh tác. Trong số những yếu tố khác, quy mô kinh tế có thể là kết quả của sự phổ biến các cánh đồng thông minh ở các nước phát triển có thể giúp thực hiện nền canh tác chính xác cơ giới hóa khả thi hơn trong bối cảnh nông nghiệp đô thị, và nông nghiệp tiểu chủ, làm tăng đáng kể lượng đất canh tác cường độ cao, năng suất cao trong tương lai.

Lộ trình từ máy kéo tự động đến robot nông trại có thể không phải là 1 con đường bằng phẳng. Các chuyên gia đã lưu ý rằng các phương tiện trang trại tự động làm dấy lên mối quan tâm về tính an toàn và an ninh. Mặc dù các máy móc nông trại tự động có thể hoạt động an toàn hơn rất nhiều so với máy móc được điều khiển bởi con người, thì tai nạn vẫn có thể xảy ra. Tùy thuộc vào thẩm quyền, tòa án có thể dễ dàng áp dụng luật trách nhiệm sản phẩm hiện tại cho một trường hợp tương lai trong đó một máy nông nghiệp tự động làm bị thương hoặc làm chết một người đi nhầm vào đường đi của phương tiện đó. Nhưng sự cố như vậy, hay đặc biệt là một loạt những sự cố như vậy, có thể ảnh hưởng đến sự chấp công nghệ của công chúng.

Một mối quan ngại liên quan đến việc kiểm soát các xe trang trại tự động và sử dụng chúng để tàn phá. Máy kéo tự động kích thước của một chiếc xe ủi đất lớn, thậm chí khi không có thiết bị (có thể lớn hơn một đường cao tốc bốn làn xe) có thể là vũ khí khủng bố. Robot trang trại nhỏ hơn có thể ít "mang tính vũ khí" hơn, nhưng vẫn làm dấy lên những quan ngại. Có một số chiến lược tiềm năng cho các nhà sản xuất để đảm bảo rằng những robot trang trại không bị sử dụng sai, nhưng chưa rõ là chúng có hiệu quả trong việc ngăn chặn các cuộc tấn công hay không.

Tất nhiên, có nhiều lợi ích từ canh tác chính xác không đòi hỏi robot nông trại hay cánh đồng thông minh; người lao động có thể thực hiện phương pháp ứng dụng thay đổi theo vùng bằng tay bằng cách sử dụng cảm biến cầm tay và bản đồ

GPS. Nhưng canh tác chính xác rộng hơn so với cảm biến và ứng dụng; nó cũng là một công việc đầy thử thách về tri thức. Phần mềm chuyên dụng cho xử lý dữ liệu và hỗ trợ quyết định có thể tự động hóa nhiều công việc tri thức và giúp nông nghiệp chính xác dễ thực hành hơn đối với các cá nhân. Tuy nhiên, việc sử dụng phần mềm như vậy thường đòi hỏi mức tri thức cao. Các xu hướng có thể giảm kích thước xe trang trại cũng có thể chấm dứt việc giúp chuyển nhiều khía cạnh lập kế hoạch và ra quyết định của nông nghiệp chính xác để người nông dân thoát ra khỏi vòng luẩn quẩn. Lao động nông nghiệp là 1 công việc cực kỳ khó khăn và đòi hỏi nhiều thứ, các hóa chất sử dụng trên các trang trại có thể rất có hại cho con người. Tương lai của các trang trại thông minh được quản lý bởi robot không nhất thiết phải là một điều ao ước, chi phí cao của các hệ thống cánh đồng thông minh robot có thể đảm bảo rằng phần lớn các nước phát triển sử dụng các cánh đồng do con người và robot cùng quản lý.

2.7. Công nghệ nhiên liệu sinh học

Việc sử dụng nhiên liệu sinh học trong vận tải, chủ yếu là ethanol và dầu diesel sinh học, đã phát triển nhanh chóng trên toàn thế giới. Nhưng theo một số chuyên gia, nhiên liệu sinh học ngày nay có nhiều nhược điểm: ít có lợi cho môi trường, tiêu thụ cây lương thực, và giá thành đắt. Sản lượng ethanol từ ngô Mỹ đạt 13 tỷ gallon năm 2010, nhưng tiêu thụ tới 30% ngô Mỹ và hàng tỷ đô la trợ cấp của chính phủ liên bang trong khi chỉ cung cấp được 9% nhu cầu xăng dầu của Mỹ. Các công nghệ thế hệ tiếp theo giúp chuyển đổi sinh khối (không phải cây lương thực) thành nhiên liệu sinh học tiên tiến và các hóa chất hứa hẹn sẽ bền vững hơn và có chi phí thấp hơn. Những công nghệ đang nổi lên này rất quan trọng đối với an ninh cung cấp lương thực của thế giới và giúp giảm sự phụ thuộc củ thế giới vào nhiên liệu xăng dầu. Phần này sẽ cung cấp một cái nhìn tổng thể về các công nghệ mới và các vấn đề thị trường sẽ ảnh hưởng đến sự thành công của nhiên liệu sinh học tiên tiến trong vài thập kỷ tới.

Một trong những động lực lớn nhất của nhiên liệu sinh học tiên tiến là các chính sách chính phủ. Hoa Kỳ và Liên minh châu Âu có các nhiệm vụ nhiên liệu sinh học tích cực thích hợp bao gồm các tiêu chuẩn bền vững. Tiêu chuẩn nhiên liệu tái tạo của Hoa Kỳ (RFS) yêu cầu 36 tỷ gallon nhiên liệu sinh học vào năm 2022 với lượng nhiên liệu sinh học tiên tiến ngày càng tăng để giảm đáng kể lượng khí thải nhà kính xuống dưới đường cơ sở nhiên liệu hóa thạch 2005. Một loạt các công nghệ nhiên liệu sinh học tiên tiến đang được phát triển có thể đáp ứng các yêu cầu, nhưng chi phí vẫn còn quá cao và công nghệ chưa được chứng minh ở quy mô thương mại. Để đạt được mục tiêu RFS sẽ đòi hỏi sự hỗ trợ của

chính phủ về lâu dài, bao gồm cả tài trợ nghiên cứu và phát triển, tín dụng thuế, và cho vay đảm bảo hỗ trợ việc xây dựng các nhà máy quy mô thương mại.

Tính khả thi của nhiên liệu sinh học tiên tiến cũng sẽ phụ thuộc vào giá cả tương đối để cạnh tranh làm với các nhiên liệu giao thông. Nhiên liệu sinh học đối mặt với sự cạnh tranh đáng kể từ xăng và nhiên liệu diesel từ dầu mỏ, được cung cấp rộng rãi cho người tiêu dùng thông qua một hệ thống phân phối và bán lẻ phát triển cao ở hầu hết các quốc gia. Giá dầu thô cao làm tăng sức cạnh tranh chi phí nhiên liệu sinh học tái tạo. Các xe hiệu suất cao, bao gồm hybrid và xe điện thuần túy và các loại xe pin nhiên liệu chạy bằng hydro, giúp giảm việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch và phát thải carbon và do đó cũng sẽ cạnh tranh với các nhiên liệu sinh học tiên tiến.

2.7.1. Ethanol xenlulô

Ethanol xenlulô là nhiên liệu sinh học tiên tiến gần với yêu cầu nhất. Nhiên liệu sinh học thế hệ thứ hai này được lấy từ nhiều loại nguyên liệu sinh khối lignoxenlulose bao gồm chất thải nông nghiệp và lâm nghiệp (như thân cây ngô, rơm rạ, rơm lúa mì, và bã mía), cây năng lượng không làm thực phẩm (cỏ và cây như cỏ, cây dương, và miscanthus), và chất thải rắn đô thị. Sinh khối lignoxenlulô gồm phức hợp xenlulô, hemixenlulô, lignin và polyme, là các loại khó phá vỡ hơn nhiều so với hạt ngô.

Hiện trạng. Các công nghệ biến đổi sinh khối cơ bản - sinh hóa và nhiệt hóa - đã có trong nhiều thập kỷ, và các nhà nghiên cứu đã đạt được tiến bộ đáng kể trong việc giảm chi phí trong mười năm qua. Các quá trình sinh hóa (dựa trên đường) sử dụng axit hoặc thủy phân enzym của lignoxenlulô để tạo ra các loại đường như glucose và xylose, sau đó lên men thành ethanol xenlulô. Các quá trình nhiệt hóa sử dụng khí hóa để chuyển đổi nguyên liệu thành khí tổng hợp, sau đó lên men hoặc xúc tác chuyển đổi khí tổng hợp thành ethanol xenlulô và các sản phẩm có giá trị khác. Từ năm 2004, nhiều loại nhà máy ethanol xenlulô khác nhau đã hoạt động trên thế giới, nhưng các nhà phát triển vẫn chưa tìm ra phương pháp tiếp cận và các nguyên liệu thành công nhất ở quy mô thương mại. Nghiên cứu và phát triển lớn tập trung nâng cao hiệu quả của các quá trình nhiều bước. Đối với quá trình sinh hóa, các nhà nghiên cứu đang tìm cách cải thiện quá trình tiền xử lý để phá vỡ hemixenlulô thành đường lên men. Hiện đã có các phức hợp enzym cellulase phá vỡ thành tế bào thực vật nhưng chi phí vẫn hơn khoảng mười lần so các enzym để sản xuất ethanol từ ngô. Các nhà nghiên cứu cũng đang sửa chữa các nấm men đặc biệt có thể lên men các loại đường khó chuyển hóa C5 và C6 từ xenlulô để sản xuất ethanol. Ngoài ra, các nhà nghiên cứu đã phát hiện vi khuẩn có thể phá vỡ xenlulô và lên men đường trong quy trình một bước - loại bỏ được bước tiền xử lý tốn kém. Những đột phá trong tương lai là kết quả của

những nỗ lực này có thể dẫn đến khả năng các nhà sinh học phân tử thay đổi mã di truyền của các vi sinh vật để cải thiện hoạt động của enzym và các chức năng khác.

Nhân giống cây trồng và công nghệ sinh học cũng mang đến nhiều lợi ích lớn như cải thiện hiệu suất sinh khối, giảm sự không đồng đều chất lượng của các nguyên liệu, tăng hiệu suất của các nguyên liệu sinh khối trong các quy trình biến đổi cuối nguồn. Các chuyên gia nghiên cứu của công ty Agrivida (Hoa Kỳ) và Syngenta International AG (Thụy Sĩ) đã đưa được các enzym phân hủy màng tế bào vào các bộ gen của thực vật. Các enzym này chỉ hoạt động dưới các điều kiện xử lý nhiên liệu sinh học và kích hoạt quá trình thủy phân polysaccharides thực vật từ trong sinh khối biến đổi gen, làm giảm đáng kể nhu cầu tiền xử lý enzym tốn kém. Công ty Ceres (Hoa Kỳ) đang tiến hành phát triển các loại hạt giống và tính năng cho cây trồng năng lượng sinh khối cao và đã xác định được hàng trăm gen mục tiêu cho các tính năng như sản lượng sinh khối cao, cấu trúc cây, chịu được các tác động môi trường, sử dụng hiệu quả nguồn ni-tơ trong đất, chống bệnh. Các nhà nghiên cứu tại Trung tâm Khoa học năng lượng sinh học (Hoa Kỳ) đã tìm ra loại gen kiểm soát khả năng sản sinh ethanol trong vi sinh vật, cho phép các nhà khoa học có thể thay đổi gen trong các cây làm sinh khối để sản xuất nhiều ethanol hơn.

Viễn cảnh. Các công ty sản xuất ethanol xenlulô cho biết họ đã sẵn sàng xây dựng ít nhất một chục cơ sở quy mô thương mại và có thể cung cấp vài trăm triệu lít ethanol xenlulô trong những năm tới. Tuy nhiên việc cung cấp tài chính cho các nhà máy mới đầy rủi ro là một rào cản lớn. Chính phủ và các nghiên cứu khác cho thấy chi phí sản xuất ban đầu sẽ cao hơn đáng kể so với chi phí để sản xuất ethanol từ ngô, ngay cả khi giá ngô ở mức cao lịch sử. Tuy nhiên, một hoặc nhiều nước phát triển sớm có thể có thể sản xuất ethanol xenlulô thành công. Các làn sóng các nhà máy thương mại sắp tới sẽ cung cấp thông tin giá trị và có thể đặt nền móng cho một ngành công nghiệp nhiên liệu sinh học phát triển.

Các nhà phát triển nhiên liệu sinh học từ xenlulô thành công cũng sẽ cần phải xây dựng các chuỗi cung ứng khu vực mới, trong đó tất cả các bộ phận cần thiết kết hợp với nhau một cách hiệu quả - thu hồi sinh khối từ các cánh đồng, rừng; tạo ra, lưu trữ và cung cấp nguyên liệu sinh khối chất lượng cao cho các nhà máy chế biến sinh học; và chuyển đổi sinh khối thành các sản phẩm năng lượng sinh học. Một nghiên cứu mới đây của Phòng thí nghiệm quốc gia Oak Ridge của Bộ Năng lượng cho thấy Hoa Kỳ có thừa sinh khối lignoxenlulô từ rừng và các nguồn nông nghiệp - một tỷ tấn sinh khối khô - thay thế cho 30% xăng dầu tiêu thụ vào năm 2030.

Nhiều nhà phát triển nhiên liệu sinh học xenlulô đã hợp tác với các công ty công nghiệp lớn để giúp đẩy nhanh thương mại hóa các công nghệ mới. Các công ty dầu mỏ có một mối quan hệ tự nhiên về kinh doanh nhiên liệu sinh học, bao gồm các thông tin làm thế nào để quản lý các dự án thương mại có quy mô lớn và sản phẩm và thị trường nhiên liệu giao thông ở quy mô lớn. Royal Dutch Shell là nhà đầu tư dài hạn ở Iogen Corp, sản xuất ethanol xenlulô từ chất thải nông nghiệp tại một nhà máy lớn ở Canada. Shell cũng có quan tâm đến công ty phát triển chất xúc tác sinh học Codexis ở California, tập trung vào nghiên cứu các enzym mạnh hơn có thể chuyển đổi nhanh hơn sinh khối thành nhiên liệu.

2.7.2. Dầu diesel sinh học từ sinh khối

Dầu diesel sinh học đã và đang phát triển nhanh chóng trên toàn thế giới, đặc biệt ở châu Âu. Hầu hết dầu diesel sinh học hiện nay có nguồn gốc từ dầu thực vật như hạt cải dầu, đậu nành, dầu cọ, dầu ăn đã qua sử dụng bị bỏ đi từ các nhà hàng, và chất béo động vật. Dầu diesel sinh học thường được pha trộn với nhiên liệu diesel thông thường ở mức nồng độ thấp do dầu diesel sinh học tinh khiết có xu hướng đông đặc hoặc ở dạng gel ở nhiệt độ thấp. Neste Oil của Phần Lan đã sản xuất ra một sản phẩm nâng cao (diesel tái tạo NExBTL) có thể được sử dụng để trộn ở bất kỳ mức nồng độ nào. Các nhà nghiên cứu cũng đang phát triển công nghệ diesel sinh học-xenlulo sử dụng nguyên liệu sinh khối và không phụ thuộc vào cây lương thực. Choren Industries GmbH, với sự hợp tác từ Shell và các đối tác khác, đã xây dựng một quy trình biến sinh khối thành chất lỏng bao gồm quá trình khí hóa sinh khối ở nhiệt độ cao, tiếp theo là quá trình xúc tác để tạo ra diesel sinh học tổng hợp, sạch và chất lượng cao. Quy trình Carbo-V của Choren chuyển đổi hơn 50% nguyên liệu sinh khối gỗ, trong khi quy trình xử lý diesel sinh học thông thường chuyển đổi chưa đến 10% khối lượng các cây khô. Năm 2008, Choren đã chạy thử 1 nhà máy thí điểm sinh khối thành chất lỏng lớn ở Freiberg, Đức và đang nghiên cứu tính khả thi của các cơ sở quy mô lớn hơn.

2.7.3. Butanol sinh học

Butanol sinh học là một nhiên liệu sinh học mới chưa được thương mại hóa. Butanol sinh học trở nên nổi tiếng rộng rãi trong năm 2006 khi BP và DuPont công bố kế hoạch sản xuất thương mại bằng cách áp dụng quá trình lên men. Hầu hết các butanol (sử dụng trong hóa chất) hiện nay là từ các nguyên liệu hóa dầu. Butanol có nhiều ưu điểm hơn ethanol, gồm mật độ năng lượng cao hơn và không thể pha với nước, cho phép pha trộn dễ dàng hơn với xăng và nhiên liệu khác. Quy trình sản xuất butanol sinh học vẫn còn ở quy mô phòng thí nghiệm hay giai đoạn phát triển thí điểm ban đầu. Tuy nhiên, dữ liệu được công bố về các sinh vật sản sinh ra butanol cho thấy năng suất tương đối thấp so với sản xuất ethanol thông qua lên men. Công ty nhiên liệu sinh học BP-DuPont và một số công ty

khác đang nghiên cứu để phát triển và thương mại hóa công nghệ butanol sinh học mới sử dụng chất xúc tác sinh học và vi khuẩn độc quyền. Ban đầu, các nhà phát triển sẽ sử dụng các loại cây trồng thực phẩm nông nghiệp làm ethanol như ngô, lúa mì, củ cải đường, sắn và mía. Việc sử dụng các nguồn nguyên liệu sinh khối lignocellulose được lên kế hoạch cho sau này và đòi hỏi phát triển công nghệ hơn nữa.

2.7.4. Nhiên liệu sinh học drop-in

Kể từ giữa những năm 2000, nhiều nhà phát triển và các nhà đầu tư nhiên liệu sinh học tiên tiến đã chuyển trọng tâm chú ý của mình sang nhiên liệu sinh học drop-in thế hệ thứ 3 có tiềm năng năng lượng cao hơn so với ethanol hay butanol sinh học và có thể pha trộn với nhiên liệu dầu mỏ thông thường theo tỷ lệ cao mà không cần thay đổi hạ tầng nhiên liệu giao thông hiện có. Ngược lại, ethanol không thể pha với xăng tại các nhà máy lọc dầu hoặc vận chuyển bằng đường ống dẫn. Thay vào đó, ethanol thường được vận chuyển bằng đường sắt hoặc đường xe tải và pha với xăng tại các điểm phân phối gần người dùng cuối, làm tăng thêm chi phí và có thể gây sức ép lên các hệ thống phân phối. Các công nghệ drop-in bao gồm hydrocarbon tái tạo được sản xuất từ tảo biển và các quy trình tiên tiến chuyển đổi đường thực vật thành hydrocarbon. Tuy nhiên, các công nghệ này chưa hoàn thiện và chi phí còn cao. Nhiều nhà phát triển ban đầu hướng tới các thị trường nhiên liệu, hóa chất có giá trị cao hơn chứ không nhắm tới thị trường nhiên liệu hàng hóa.

Nhiên liệu sinh học từ tảo. Tảo là nguồn giàu nhiên liệu sinh học và đã trở thành chủ đề nghiên cứu mạnh và mối quan tâm của các nhà đầu tư. Các công nghệ dựa vào tảo mang lại những lợi ích lớn như năng suất rất cao, khả năng sử dụng đất cần cỗi, không thích hợp để trồng trọt và các nguồn nước khác nhau – nước ngọt, mặn và nước thải, và tiềm năng để tái chế khí carbon dioxide và các chất thải khác. Hơn 50% tảo có thể chứa dầu sinh học có thể được sử dụng để làm nhiên liệu sinh học drop-in thay thế diesel, xăng, nhiên liệu hàng không, và các sản phẩm đặc biệt. Bộ Năng lượng Hoa Kỳ là lực lượng đóng vai trò quan trọng trong phát triển dầu sinh học gốc tảo từ năm 1978 đến năm 1996. Công việc chấm dứt bởi giá dầu thô quá thấp để nhiên liệu từ tảo có thể cạnh tranh, nhưng Chương trình Loài thủy sản của Phòng thí nghiệm Năng lượng tái tạo quốc gia Hoa Kỳ đã cho thấy hiệu suất ấn tượng, với năng suất tảo quang hợp hơn 10 tấn khô/mẫu Anh trong hệ thống ao mở.

Lộ trình phát triển nhiên liệu sinh học từ tảo mới nhất của DOE được xuất bản vào năm 2010 chỉ ra rằng chương trình NC&PT có thể giúp tính kinh tế nhiên liệu từ tảo trở nên cạnh tranh trong vòng 10 năm, mặc dù khoảng thời gian đó có thể là lạc quan. Những thách thức kỹ thuật chủ yếu từ sinh học tảo cơ bản đến

canh tác đến sản xuất và nâng cao quy mô quá trình tổng hợp. Kỹ thuật sinh học tổng hợp giúp giảm chi phí nhiên liệu sinh học từ tảo bằng cách thay đổi cách vi tảo sử dụng ánh sáng và nâng cao hiệu quả sản xuất nhiên liệu của chúng. Tuy nhiên, việc nuôi trồng và thu hoạch tảo có phần phức tạp. Phương pháp tiếp cận công nghệ bao gồm việc trồng tảo quang hợp trong ao mở rộng, phát triển gen tảo trong môi trường phản ứng sinh quang đi kèm, và nuôi cấy tảo biến đổi gen có thể tiêu thụ đường bên trong thùng lên men tối. Mỗi phương pháp đều có nhược điểm. Ví dụ trong môi trường ao mở, chuỗi tảo đại từ môi trường có thể chen lấn các chuỗi tảo có năng suất cao, và tảo tăng trưởng cao trong phản ứng sinh học kín có thể quá nóng. Sản xuất tảo tiêu thụ nhiều năng lượng - các công nghệ thường sản xuất nhiên liệu sinh học gián tiếp bằng phát triển sinh khối tảo; sau đó thu hoạch, khử nước, và chiết xuất dầu; và sau đó chế biến dầu thành dầu diesel sinh học hoặc sản phẩm nhiên liệu khác. Các nhà nghiên cứu cũng cần phải hiểu rõ hơn và kiểm soát chi phí cao liên quan đến nước. Tảo có thể phát triển trong nước thải, nhưng mầm bệnh tiềm ẩn có thể làm tảo và công nghệ xử lý nước rất tốn kém. Đối với tùy chọn ao mở, cần lượng lớn nước sạch để bổ sung lượng nước đã bốc hơi tránh các chất ô nhiễm tập trung.

Một số nhà đầu tư đã bắt đầu đặt câu hỏi liệu nhiên liệu sinh học từ tảo sẽ có hiệu quả kinh tế. Công ty phát triển công nghệ sinh học tảo Solazyme có trụ sở tại California đã thành công trong việc giảm chi phí sản xuất đáng kể bằng cách nuôi trồng tảo trong bể lên men không có ánh sáng mặt trời bằng cách cho chúng ăn đường - một nguồn năng lượng tập trung cho phép tảo phát triển nhanh chóng. Solazyme nhận được đơn đặt hàng từ Hải quân Hoa Kỳ vào cuối năm 2010 cung cấp 150.000 gallon nhiên liệu sinh học gốc tảo.

Hydrocarbon tái tạo. Công ty Hệ thống năng lượng tại Wisconsin đã phát triển công nghệ mới - Quy trình BioForming (hình thành sinh học) - để tạo ra hydrocarbon tái tạo từ nguyên liệu sinh học. Quá trình này chuyển đổi đường thực vật thành "xăng sinh học" (biogasoline) sử dụng chất xúc tác thay đổi hóa chất. Virent tuyên bố rằng hiệu suất biogasoline tương tự như xăng dầu mỏ. Công ty bắt đầu vận hành một nhà máy vào năm 2010 sử dụng nguyên liệu nhiên liệu sinh học thông thường như củ cải đường. Virent cũng chỉ ra rằng nó có thể chuyển đổi sinh khối xenlulô bao gồm thân cây ngô và phế thải cây thông thành biogasoline.

Các nhà nghiên cứu cũng đang phát triển vi sinh vật "thiết kế" kỹ thuật cao bằng cách sử dụng các công nghệ nền tảng sinh học tổng hợp để sản xuất nhiên liệu sinh học drop-in hydrocarbon tái tạo. Những công nghệ này vẫn đang ở giai đoạn thí nghiệm.

2.7.5. Quang hợp nhân tạo

Các nhà nghiên cứu đang ở trong giai đoạn đầu của việc phát triển công nghệ mới hoàn toàn để tạo ra nhiên liệu lỏng trực tiếp từ ánh sáng mặt trời, nước và carbon dioxide - tương tự như quang hợp ở thực vật. Mặc dù vẫn còn trong giai đoạn sơ khai, nhưng công nghệ này có tiềm năng lâu dài để thay thế việc sử dụng các loại nhiên liệu sinh khối và do đó để dành đất nông nghiệp cho sản xuất thực phẩm. Một báo cáo năm 2008 của Ủy ban tham vấn khoa học năng lượng cơ bản của Bộ Năng lượng Hoa Kỳ xác định công nghệ sản xuất nhiên liệu từ ánh sáng mặt trời là mục tiêu chiến lược quan trọng để giúp Hoa Kỳ khỏi phụ thuộc vào dầu mỏ và hạn chế lượng khí thải carbon dioxide. Mục đích cuối cùng của quang hợp nhân tạo là để sản xuất lượng lớn nhiên liệu dễ dàng lưu trữ, vận chuyển và sử dụng như các nhiên liệu giao thông dựa trên dầu mỏ hiện nay.

2.8. Công nghệ chế biến sau thu hoạch

Năng suất của ngành nông nghiệp phụ thuộc nhiều vào mức độ về những gì xảy đối với sản phẩm thực phẩm sau khi được thu hoạch. Tổn thất sau thu hoạch đối với các sản phẩm ngũ cốc là 10-20% và các loại rau và hoa quả tươi 5-25% ở các nước phát triển và 20-50% ở các nước đang phát triển. Nguyên nhân của những tổn thất này bao gồm sự hủy hoại vi sinh, tổn hại cơ học của thiết bị chế biến, phá hoại của côn trùng, và rau quả chín quá. Công nghệ sau thu hoạch (PHT) bao gồm ba thành phần:

- Sơ chế: Loại bỏ các tạp chất và sản phẩm còn non và bị hư hỏng; ổn định các sản phẩm bằng cách sấy khô, làm lạnh hoặc khử trùng; cách ly các sản phẩm thành các loại khác nhau
- Chế biến thứ cấp: Biến đổi các nguyên liệu thô từ sơ chế thành sản phẩm phù hợp để người tiêu dùng có thể chế biến.
- Chế biến hoàn thiện: Biến các sản phẩm chế biến thứ cấp thành sản phẩm ăn được ngay.

Hầu hết các tổn thất sau thu hoạch xảy ra trong giai đoạn sơ chế; việc chế biến thứ cấp và hoàn thiện tập trung hơn vào dinh dưỡng và an toàn của các sản phẩm thực phẩm. Tất cả các nghiên cứu công nghệ sau thu hoạch chỉ nhận được khoảng 5% tổng số kinh phí nghiên cứu hướng vào nông nghiệp. Các nỗ lực nghiên cứu nhằm giảm tổn thất trong sơ chế còn hạn chế, diễn ra chủ yếu ở các nước đang phát triển, và liên quan chủ yếu đến cây ăn quả và rau. Các công nghệ sau thu hoạch dường như sẽ không có những đột phá lớn vào năm 2040; tuy nhiên các công nghệ được áp dụng ở các nước phát triển sẽ ngày càng lan tỏa sang các nước đang phát triển.

2.8.1. Các công nghệ sơ chế

Bảo quản bằng kiểm soát khí quyển. Ngành công nghiệp canh tác ở các nước phát triển đã sử dụng việc bảo quản bằng kiểm soát khí quyển trong nhiều thập kỷ. Nó bao gồm việc kiểm soát môi trường khí oxy, nitơ và carbon dioxide cũng như nhiệt độ và độ ẩm cho việc lưu trữ các loại trái cây hoặc rau. Khí quyển được kiểm soát cung cấp sự ổn định cho lưu trữ trong thời gian dài và giữ được chất lượng bằng cách làm chậm tốc độ hô hấp của các loại trái cây hoặc rau. Mỗi trái cây hoặc rau đòi hỏi một thành phần không khí khác nhau, nhưng nồng độ điển hình là 2-3% oxy, 3-10% carbon dioxide, còn lại là nitơ.

Các kho lưu trữ giữ nhiệt độ gần 0 độ C và bảo quản từ một đến sáu tháng. Hầu hết các nghiên cứu trong kiểm soát khí quyển đối với rau quả được nhằm vào việc tìm kiếm các điều kiện tối ưu cho việc lưu trữ các loại rau, quả cụ thể. Bảo quản bằng kiểm soát khí quyển đã khá thành công trong việc giảm tổn thất của các loại trái cây và rau quả bằng cách kéo dài thời gian cung cấp cũng như mở rộng thị trường địa lý. Không có dấu hiệu cho thấy có bất kỳ đột phá nào trong công nghệ này sẽ xảy ra trước năm 2040. NC&PT dường như sẽ tiếp tục hoàn thiện các điều kiện bảo quản cho các loại rau, quả khác nhau và phổ biến công nghệ này cho các nước đang phát triển.

2.8.2. Đóng gói trong không khí kiểm soát

Bằng cách kéo dài thời hạn sử dụng của sản phẩm thực phẩm dễ hư hỏng, đóng gói trong không khí thay đổi (MAP) đã góp phần giảm tổn thất các sản phẩm nông nghiệp trong chuỗi phân phối. Quá trình MAP thay đổi các thành phần không khí bên trong của sản phẩm đóng gói như thịt, hải sản, hoặc các loại trái cây và rau quả. Trong trường hợp sản phẩm thịt và hải sản, thành phần chủ yếu là carbon dioxide và nitrogen, ức chế sự sinh trưởng của vi khuẩn. Một ít oxy (2-3%) cần giữ trong các gói trái cây và rau quả để tránh hô hấp kỵ khí. Các màng mỏng bao bì polymer là chìa khóa cho công nghệ này. Các sản phẩm thịt và các hải sản sử dụng các màng mỏng để ngăn chặn sự trao đổi khí, trong khi các loại trái cây và rau quả cần trao đổi khí và sử dụng các màng thấm. Sự phát triển của các loại màng mỏng bao gói cho phép thấm có chọn lọc các loại khí đã sử dụng trong công nghệ MAP trong 15 năm qua cho phép kéo dài thêm thời hạn sử dụng.

Các công nghệ khử côn trùng. Bộ Nông nghiệp Mỹ đang có một chương trình nghiên cứu tìm kiếm các giải pháp thay thế cho methyl bromide đang được sử dụng rộng rãi, loại hóa chất đang được loại bỏ vì các quy định bảo vệ môi trường. Kiểm soát khí quyển đã được đề xuất như là một thay thế cho khử trùng bằng methyl bromide, có độc tính cao, có khả năng gây đột biến và chất gây ung thư, và hủy hoại tầng ozone. Ngũ cốc có thể được khử trùng bằng cách thêm carbon dioxide tinh khiết hoặc khí đốt và oxy hoặc bằng cách sử dụng bảo quản

kín làm giảm hô hấp tự nhiên của hạt. Các nhà khoa học tại Bộ Nông nghiệp Mỹ đang thử nghiệm phương tiện khử trùng hóa học và không dùng hóa chất cho cả các hàng hóa giữ lâu (trái cây sấy khô và các loại hạt) và các mặt hàng dễ hỏng (trái cây tươi và rau quả).

Công nghệ chiếu xạ. Chiếu chùm tia electron, tia gamma hoặc tia X để sản phẩm thu hoạch bất hoạt các vi sinh vật gây bệnh có trên thực phẩm (Salmonella, E. coli, Campylobacter, và Listeria), giảm tổn thất sau thu hoạch do côn trùng và hư hỏng, và kéo dài thời gian sử dụng các thực phẩm mau hỏng. Công nghệ này đã được thử nghiệm trong gần một thế kỷ mà không cho thấy bất kỳ rủi ro đối với sức khỏe con người. tuy nhiên việc thương mại hóa vẫn còn hạn chế vì lo ngại của công chúng về các tác động bức xạ lên các sản phẩm thực phẩm. Số lượng lớn các nghiên cứu khoa học cho thấy không có các tác động xấu đến các tiêu chuẩn trong nước và quốc tế đối với thực phẩm chiếu xạ. Tại Hoa Kỳ, FDA quy định chiếu xạ như một phụ gia thực phẩm nên sự an toàn phải được xác nhận trước bất kỳ ứng dụng thương mại nào. Theo FAO và IAEA, hơn 60 quốc gia có quy định cho phép sử dụng chiếu xạ cho ít nhất một sản phẩm.

Hầu hết các ứng dụng có liên quan đến việc kiểm soát côn trùng gây hại đặc biệt cho các sản phẩm thương mại quốc tế. Với mức thương mại hóa và quy định kiểm soát hiện nay, chiếu xạ có thể sẽ thay thế các phương pháp diệt trùng khác vào năm 2040 và sử dụng rộng rãi trong việc kéo dài thời hạn sử dụng của một số sản phẩm dễ hỏng.

Kiểm soát sinh học sau thu hoạch. Sử dụng các vi sinh vật cản trở các vi sinh vật gây hư hỏng khác cho sản phẩm thực phẩm dễ hư hỏng là một phương thức kiểm soát sinh học sau thu hoạch được đề xuất thay thế cho các thuốc diệt nấm hóa học. Mặc dù nghiên cứu kiểm soát sinh học sau thu hoạch đã diễn ra liên tục trong hơn 20 năm qua, nhưng việc thương mại hóa còn rất hạn chế. Các loại vi sinh vật *Pseudomonas syringae* đã được phát triển để kiểm soát sự hư hỏng của khoai tây và khoai lang và *Metschnikowia fructicola* cho khoai lang và cà rốt. Các cơ chế phức tạp của các vi sinh vật kiểm soát sinh học bao gồm dinh dưỡng và cạnh tranh không gian, ký sinh, mẫn cảm của sức đề kháng trong sản phẩm thực phẩm, và các chất chuyển hóa dễ bay hơi. Do chưa có đủ sự hiểu biết về sự tương tác phức tạp này giữa sản phẩm thực phẩm, vi sinh vật kiểm soát sinh học, vi sinh vật gây bệnh, nên công nghệ này sẽ khó có khả năng có tác động vào năm 2040.

KẾT LUẬN

Thách thức chính hiện nay của nông nghiệp trên thế giới là việc tìm kiếm các phương tiện để tăng năng suất nông nghiệp - sản lượng cao hơn với ít nguồn lực hơn (đất, phân bón, nước, thuốc trừ sâu) - để đáp ứng nhu cầu của dân số thế giới ngày càng tăng. Công nghệ chắc chắn sẽ là một trong những công cụ chính để hoàn thành việc cải thiện năng suất nông nghiệp.

Mục tiêu chính của việc áp dụng công nghệ là tăng năng suất nông nghiệp, tiếp đến là cải thiện dinh dưỡng của sản phẩm nông nghiệp. Các công nghệ có tác động lớn nhất đến năng suất nông nghiệp trong 10 năm tới bao gồm việc sử dụng cây trồng biến đổi gen hiện có, quản lý đất và nước, kiểm soát dịch hại, và chế biến sau thu hoạch. Những ứng dụng sinh học phân tử vào vật nuôi và cây trồng là những tiến bộ công nghệ có khả năng ảnh hưởng lớn nhất đến năng suất nông nghiệp vào năm 2040.

Những tiến bộ trong sinh học phân tử cung cấp các phương tiện để tạo ra những thay đổi cụ thể tương đối nhanh chóng thông qua biểu hiện mạnh hoặc xóa các gen hoặc đưa vào các gen lạ. Những tiến bộ trong sinh học phân tử thực vật đang bổ sung cho di truyền thực vật cổ điển, được sử dụng trong các cuộc Cách mạng xanh, để cải thiện năng suất cây trồng. Những phát triển xuất phát từ những tiến bộ trong sinh học phân tử động vật đang bổ sung cho công tác nhân giống thông thường để nâng cao năng suất chăn nuôi. Những phát triển của sinh học phân tử có thể dẫn đến việc tạo giống các động vật, thực vật hiệu quả hơn bằng cách kiểm tra toàn bộ hệ gen của tất cả các sinh vật để tìm ra khả năng cải thiện cây trồng và vật nuôi.

Việt Nam đang phấn đấu xây dựng một nền nông nghiệp công nghệ cao, đảm bảo cho an ninh lương thực cùng với sự phát triển kinh tế bền vững và bảo vệ môi trường. Các công nghệ mới nổi này với những tác động ở các mức độ khác nhau, sẽ định hướng cho hoạt động và phát triển của ngành nông nghiệp thế giới và cũng sẽ tác động đến nông nghiệp Việt Nam trong những thập kỷ tới.

Trung tâm Phân tích thông tin

Tài liệu tham khảo chính

1. OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2016-2025 © OECD/FAO 2016.
2. Global Food Security: Emerging Technologies to 2040. NICR 2012-30. 2012
3. Precision agriculture and the future of farming in Europe. Scientific Foresight Study. Scientific Foresight Unit, EPRS 2016.