# جينوم الأرز

د. سحر أحمد الخواص

**يواجه العالم مشاكل عديدة منها نقص الغذاء الضروري لسد الاحتياجات البشرية المتزايدة، ويمثل نبات الأرز أحد أهم نباتات المحاصيل الضرورية لحياة البشر في معظم أنحاء العالم، وخاصة دول العالم الثالث كغذاء أساسي لأكثر من نصف سكان العالم وذلك للحصول على أكثر من ٥٠٪ من السعرات الحرارية الضرورية للجسم. ومن هذا المنطلق يتناول هذا المقال نبات الأرز من حيث وصفه، وأصله، وأهم أصنافه، وأهميته الاقتصادية، وأهميته البحثية في مجال الجينوم، ومقارنته بنباتات الغلال والنباتات الأخرى، وحجم جينومه وأهميته، واستخدامه كنموذج محاكاة لرسم وتوقع الجينومات في النباتات المشابهة، بالإضافة إلى التطبيقات البحثية الأخرى.**

يعد نبات الأرز أحد محاصيل الحبوب الغذائية (الغلال) الرئيسة التي تشمل أيضا القمح والذرة- توجد غلال غير رئيسة مثل الشعير وقصب السكر- وتنتمي جميعها للفصيلة النجيلية (Graminae)، التي تتبع نباتات ذوات الفلقة الواحدة (Monocots). تمثل النباتات ذات الفلقة الواحدة أحد مجموعات النباتات الزهرية التي انحدرت منذ حوالي ٢٠٠ مليون سنة، ويعتقد العلماء أن جميع محاصيل الغلال الزراعية انحدرت من مصدر نباتي واحد (نباتات ذات الفلقة الواحدة) منذ قرابة ٥٠-٧٠ مليون سنة.

يزرع أغلب الأرز في آسيا في الأراضي المغمورة بالمياه (Paddy rice)، كما قد لا تحتاج زراعته لأراضي مغمورة بالمياه بل تحتاج إلى تربة مبتلة بالماء إلى فترات طويلة مثلما يحدث بالولايات المتحدة الأمريكية حيث يزرع فيها أرز الأراضي المرتفعة (Upland rice).

يوجد أكثر من ٨٠٠٠ صنف من الأرز المزروع في جميع أنحاء العالم، منها قرابة ١١٠٠ صنف بالهند، ويعد الأرز البسمتي من أشهر أنواع الأرز الهندي الذي يمتاز برائحة ونكهة مميزة تجعل له قبولا عالميا. أما في العراق فيزرع في شماله أرز النكازة وهو صغير الحبة، بينما يزرع في جنوبه - في منطقة المشخاب والشطرة - أرز العنبر وهو من أفضل وأطيب أنواع الأرز حيث يمتاز برائحته العطرة، أما في أوروبا فتعد إيطاليا أهم دولة منتجة للأرز، بينما تعد مصر أهم دولة منتجة للأرز في أفريقيا.

تتم معالجة الأرز قبل استعماله في خطوتين هما:

١- التقشير: ويتم بنزع القشرة الخارجية فقط من على حبة الأرز لينتج ما يعرف بالأرز البني، الذي يحتوي على حوالي ٨٪ من وزنه بروتين، بالإضافة إلى الثيامين، والنياسين، والريبوفلافين، والحديد، والكالسيوم.

٢- التبييض: ويتم بإزالة القشرة الخارجية والداخلية لحبة الأرز باستخدام مناخل أو غرابيل خاصة لنحصل على ما يعرف بالأرز الأبيض الذي يفقد قرابة ٧٥٪ من المعادن الداخلة في تركيبه. ينتج عن عملية تبييض الأرز عدة منتجات مختلفة منها: قشور (١٨٪)، ورجيع (٩٪)، وأرز سليم (٥٦٪)، وكسر (١٥٪)، وشوائب (٢٪).

## أهمية الأرز

يستخدم الأرز كبديل للبطاطس في الغرب، بينما يستخدم كغذاء أساسي في دول شرق آسيا، فضلا عن استخدامه في عدة صناعات أخرى منها:

- صناعة الكعك والمعجنات، والمكرونة من دقيق الأرز.
- صناعة الجعة والمشروبات الكحولية بعد تخميره.
- تسقيف أسطح المنازل، وصناعة السراير، والحصير، والملابس، والسلال والحبال، والمكانس باستخدام قش الأرز.
- حرق الجذور كسماد في حقول الأرز.
- زيت نخالة الأرز في الاستخدامات الصناعية.
- الوقود، ومواد التعبئة، والأسمدة، وعلف الماشية باستخدام المنتجات الثانوية لطحن الأرز.
- مستحضرات التجميل ومنتجات الغسيل باستخدام نشا الأرز.
- نخالة الأرز لتقوية الطحال والمعدة الضعيفة، وزيادة الشهية، وعلاج عسر الهضم.
- مرهم لعلاج التهابات الجلد، والحروق.
- البذور - في الطب الشعبي- لعلاج سرطان الثدي، والمعدة، والدمامل (الثآليل)، وإدرار البول، ومنشط للمعدة ، ودواء مضاد لديدان البطن، والإسهال، وعسر الهضم، الغثيان، والصدفية، وأمراض الجلد والقروح، ومشاكل الكبد، زيادة الكالسيوم، حصى الكلى، وأمراض القلب.

## صبغيات وجينوم محاصيل الغلال

أظهرت دراسة مورثات وجينوم محاصيل الغلال الزراعية أنه رغم طول المدة الزمنية لانحدارها وتطورها، وجود نسبة ضئيلة من التغير، مع زيادة نسبة المحافظة على التركيب الأصلي ، فضلا عن تشابه الترتيب أو التوزيع الوراثي لها. وعلى الرغم من هذا التشابه الكبير، يتفاوت عدد الصبغيات وحجم الجينوم من محصول لآخر.

ونظرا لصغر حجم جينوم الأرز - مقارنة بحجم جينوم المحاصيل الأخرى - وتوقع العلماء

بكثافة وتركيز مورثاته، فقد استخدموا الأرز كنموذج مثالي لدراسة جينوم الغلال وذلك لتفسير واقتراح نماذج محاكاة، وفهم العديد من العمليات المشابهة في محاصيل الغلال الأخرى. ويجب الإشارة هنا إلى أن جينوم نبات "الأرابيدوبسيس" يعد أول جينوم تمت دراسته لنموذج نباتي - يناظر الفأر في التجارب الحيوانية- واتضح أن حجم جينومه قرابة ١٢٥ مليون قاعدة.

## أهداف دراسة جينوم الأرز

يمكن تحقيق عدة أهداف من خلال دراسة جينوم الأرز، هي ما يلي:

- اكتشاف مورثات الأرز.
- اكتشاف كواشف وراثية وجزيئية مفيدة لعملية الزراعة.
- اكتشاف وتعريف مورثات مقاومة الآفات وتحمل الظروف المناخية القاسية.
- ربط المورثات بالصفات الوراثية المعبرة عنها.
- اكتشاف المورثات المسؤولة عن عملية الإزهار وتطورها.
- تعريف المورثات المتعلقة بعمليات الأيض.
- اكتشاف مورثات المضخات الأيونية المتحكمة في الضغط الأسموزي للعصير الخلوي داخل الخلية.
- التعرف على مورثات عوامل النسخ والترجمة.
- زيادة إنتاجية المحصول.
- تقليل العمليات الزراعية.

- رسم خرائط وراثية توضح العلاقة مع النباتات الأخرى (المنتمية لنفس الفصيلة والفصائل الأخرى).

## مشروع جينوم الأرز

بدأ العمل في مشروع فك الخريطة الوراثية للأرز في عام ١٩٩٩م، بواسطة الاتحاد الدولي لجينوم الأرز بالصين - في مبادرة كانت تسير بالتوازي مع مشروعات أكاديمية أخرى - وذلك بهدف تحقيق نتائج ذات جودة عالية في حدود ٩٩,٩٩٪. وتألف اتحاد المشروع الدولي (IRGSP) من عدة دول منها اليابان، وأمريكا، والصين، وتايوان، وكوريا، والهند، فرنسا، البرازيل، وانجلترا.

ركزت دراسة جينوم الأرز على أهم تحت الأنواع (Subspecies)، والسلالات المزروعة على نطاق واسع في الصين، وخاصة تحت النوع "إنديكا" (Indica). ولكن قبل ذلك تمت محاولات من العلماء لدراسة تسلسل أجزاء محددة من جينوم تحت النوعين "جابونيكا" (Japonica) و "إنديكا".

تم دراسة التسلسل الكامل للجينوم باستخدام تقنية البندقية (Shot gun) التي تعتمد على تقطيع الدنا لقطع، وتحميلها على نواقل وراثية لعمل المكتبات الوراثية، ثم قراءة تسلسل المكتبات، وفي النهاية ربط التتابعات للحصول على التتابع الخاص بالجينوم الكامل.

نشر جينوم الأرز الكامل يوم ٥ أبريل عام ٢٠٠٢ بمجلة العلوم (Science)، العدد: ٢٩٦، الصفحات من ٧٩-٩٢. قام معهد بكين بدراسة تحت النوع "إنديكا" فوجد أن حجم الجينوم لصبغياته الـ ٢٤ يبلغ ٤٢٠ مليون قاعدة موزعة على ٣٢ إلى ٥٠ ألف مورث. بينما قامت شركة "سينجنتا" و"ميرياد جنتكس" بدراسة تحت النوع "جابونيكا" فوجدت أن حجم الجينوم لصبغياته الـ ٢٤ يبلغ ٤٦٦ مليون قاعدة موزعة على ٤٦٠٢٢-٥٥٦١٥ مورث.

من جانب آخر تم إنجاز جينوم الأرز المتعلق بالنواة (Nuclear DNA: nDNA) - يمثل معظم المورثات - بالإضافة لجينوم البلاستيدة الخضراء (Chloroplast DNA: cpDNA) والميتوكوندريا (Mitochondrail DNA: mtDNA)، في ديسمبر عام ٢٠٠٤ بواسطة اتحاد المشروع الدولي للجينوم الكامل والنهائي لنبات الأرز المعني بدراسته، حيث تم دراسة عدد ١٠٤٠٠٠ نسخة من الأجزاء المشفرة لأنسجة مختلفة من نبات الأرز، وإضافة النتائج في قاعدة البيانات، وتم نشر الجينوم كاملا بدقة وجودة عالية في قواعد البيانات على شبكة الإنترنت، وهو متاح ومتوفر حاليا لأي فرد أو باحث.

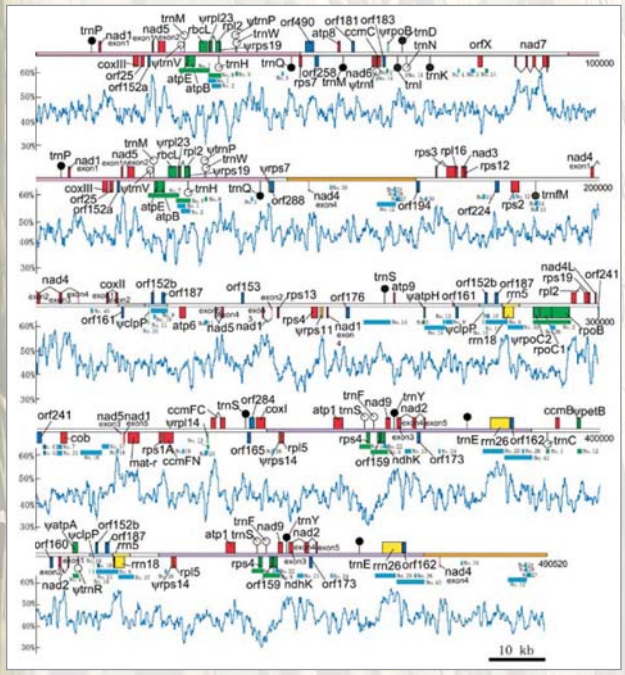
أوضحت الدراسة العديد من الحقائق من أهمها ما يلي:

١- بلغت نسبة المورثات الوظيفية قرابة ٩٢٪، تؤدي أغلبها وظائف تتعلق بالأيض النباتي والترابط الخلوي.

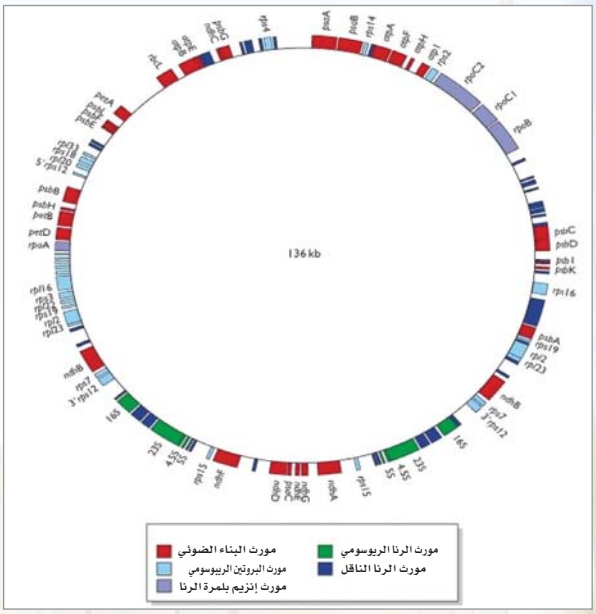
٢- بلغت نسبة محتوى الجوانين - السيتوسين (GC) حوالي ٤٤٪، بينما بلغت نسبة الأدينين ثايمين ( AT ) حوالي ٥٦٪.

٣- توجد تكرارات طولها يتروح بين ٤-٢٠ نيوكليوتيدة في ٤٢,٢٪ من الجينوم.

٤- وجد أن التتابع الرباعي (ATCG/CGAT)




■ جينوم الميتوكندريا في نبات الأرز.




■ جينوم البلاستيدة الخضراء في نبات الأرز.

هو الشائع بنسبة ٩٢٪.

٥- تمثل التكرارات الطويلة حوالي ٣٨ مليون قاعدة، أما التكرارات القصيرة فتشغل حوالي ١٥٠ مليون قاعدة.

٦- توجد العناصر المتنقلة (القافزة- Transposons) في المناطق غير المشفرة بين المورثات.

٧- يتراوح أطوال قرابة ٧٨٪ من المورثات بين ٤٠٠-٥٠٠ قاعدة.

٨- تم تقسيم المورثات المشفرة لمعرفة أطوال البروتينات المترجمة منها بعملية التعبير الوراثي.

٩- يعتمد عدد التبادلات الوراثية داخل الصبغيات على نوع الصبغ، وتتراوح نسبة التبادل بين ١٥,٤ إلى ٣٠,٤٪.

١٠- اعتمدت دراسة التبادلات الوراثية على تقنية تحليل الدنا المكمل (cDNA) - الدنا المنسوخ من الرنا الرسول في وجود إنزيم النسخ العكسي-. وتم تعريف عدد من الكواشف والدلائل الجزيئية منها ٨٥١ أحادية النسخة، و ٥٠٩ ثنائية النسخة، و٦٠٠ ثلاثية النسخة.

## جينومات أصناف الأرز

أثبتت المقارنات بين الجينومات المختلفة لأصناف مختلفة من الأرز درجة عالية من التشابه خاصة على مستوى: نيوكليوتيدة واحدة، وإضافة نيوكليوتيدة، وحذف نيوكليوتيدة، والعناصر القافزة. كما سهّلت هذه المقارنات التعرف على التبادلات الوراثية والتوصل إلى منشأ وتطور تلك الأصناف من النوع الأصلي البري (Wild type).

وقد ثبت من التعرف على الجينوم أن معظم المناطق فيه مضاعفة؛ لأن معظم أنواع وأصناف الأرز المزروعة حاليا ثنائية المجموعة الكروموسومية (Diploid)، ولكن من بين الأنواع البرية أصناف رباعية المجموعة الصبغية (Tetraploid)، مما يؤكد أيضا ظاهرة التعدد الصبغي (Polyploidy) الموجودة في العديد من الأصناف المنزرعة كوسيلة لزيادة الإنتاجية عن الأنواع الثنائية. كما اتضح أن ظاهرة التعدد الصبغي شائعة أيضا في قمح الخبز وسكر القصب، ويعمل الباحثون جاهدين في العديد من المراكز البحثية للكشف عن وتعريف المورثات المسؤولة عن التعدد الصبغي. وسوف تساهم المعلوماتية الحيوية، وبرامج الكمبيوتر المتطورة والمتقدمة في الكشف عن ذلك، والاستفادة منها في تحسين وزيادة إنتاجية الأرز بزراعته متعدد الصبغيات بدلا من عمليات التحوير الوراثي.

## المقارنة مع الجينومات الأخرى

عند مقارنة مورثات الأرز مع مورثات النباتات الأخرى، وجد ما يلي:

١- أن درجة التشابه عالية جدا مع نباتات أخرى من نفس الفصيلة، ولكنها قليلة مع النباتات التي تنتمي لفصائل نباتية أخرى.

٢- أن بروتينات الأرز متشابهة بنسبة ٩٨٪ مع بروتينات الذرة، والقمح، والشعير التي تنتمي لنفس الفصيلة النباتية.

٣- أن حوالي ٧٠٪ من جينوم الأرز يماثل مورثات في نباتات وكائنات أخرى.

٤- أن معظم المورثات تكون عائلات وراثية (حوالي ١٥٠٠٠ عائلة) مقارنة بعدد العائلات الوراثية التي تتراوح بين ١١٠٠٠-١٥٠٠٠ في نبات «الأرابيدوبسيس»، و«دودة الربداء الرشيقة»، و«حشرة ذبابة الفاكهة».

من جانب آخر تم نشر الجينوم الكامل لنبات الذرة في عام ٢٠٠٩م، وبلغ حجمه ٢,٨٠٠ مليون قاعدة، وعدد مورثاته ٣٢٠٠٠ مورث، موزعة على ٢٠ كروموسوم. وجاري حاليا تحليل ومقارنة هذا الجينوم مع جينوم الأرز لرسم خرائط توضح العديد من التشابهات والاختلافات في العمليات الحيوية المتعلقة بمحاصيل الغلال.

أما بخصوص القمح فإن جينومه معقد، ويصل حجمه قرابة خمسة أضعاف الجينوم البشري، وأربعين ضعفا لجينوم الأرز، ويرجع ذلك إلى تعقد تركيبه الوراثي ووجود عدد قليل من الأنواع ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) ولكن غالبية الأنواع رباعية (Tetraploid) أو سداسية (Hexaploid).

ترجع قلة تشابه مورثات الأرز مع النباتات الأخرى إلى عدة أسباب منها:

١- ارتفاع محتوى الجوانين والسيتوزين (GC) في مورثات الأرز مقارنة بالنباتات الأخرى.

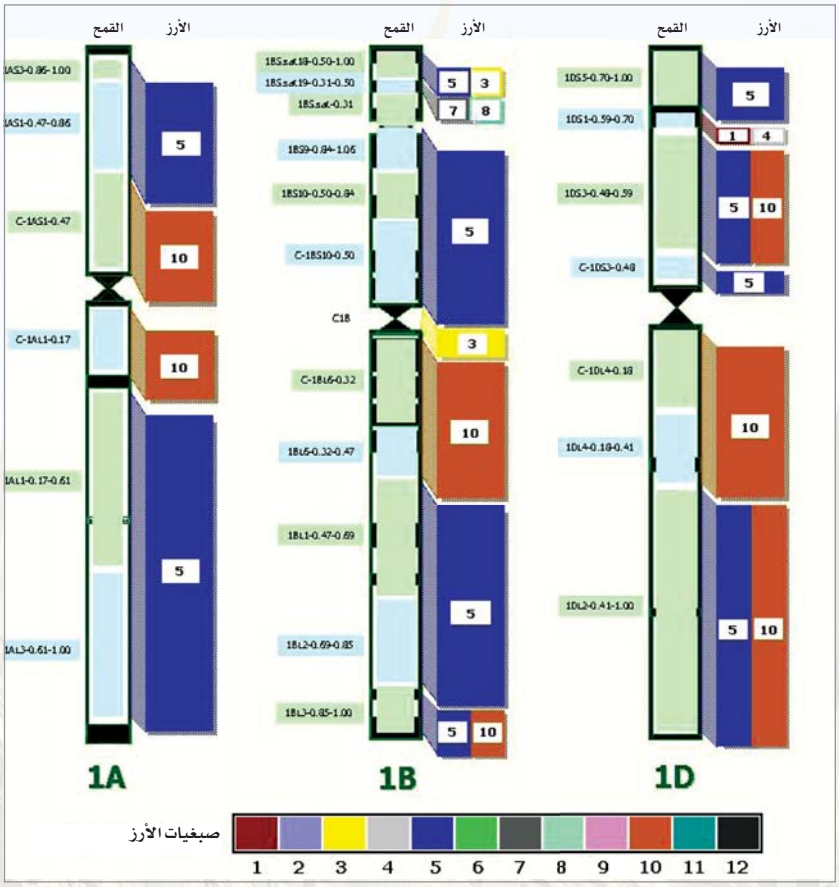
٢- ثبت أن نسبة عدد المورثات التي ظلت بدون تغيير قرابة ٣٠٪ بالمقارنة مع النباتات الأخرى، واعتبرت هذه المورثات فرضية أو غير معروفة، أو وهمية، على اعتبار أن معظم البروتينات النباتية المهمة غير معروفة.

٣- ثبت أن قرابة ثلث بروتينات «الأرابيدوبسيس» (حوالي ٨٠,٠٠٠ بروتين) متشابهة مع بروتينات الأرز فقط، وليس مع حشرة ذبابة الفاكهة، ودودة الربداء الرشيقة، وفطر الخميرة، والبكتيريا.

٤- أن «الأرابيدوبسيس» يفتقر للعديد من المجموعات الوراثية التي تم تعريفها في العديد من حقيقيات النواة، رغم أن بعض هذه المجموعات سجلت في جينوم الأرز.

٥- افترض العلماء أن تغيرات متتابعة حدثت في كل من الأرز والأرابيدوبسيس، وأنهما انحدرا من نفس المنشأ منذ قرابة ٢٠٠ مليون سنة رغم التباعد التصنيفي بينهما (اختلافهما الكبير) في المملكة النباتية. وهذه النتائج أكدت الفروض التي وضعت قديما لتفسير العلاقات التطورية بين ذوات الفلقة الواحدة وذوات الفلقتين.

ثبت أيضاً أن العديد من مورثات مقاومة الأمراض والآفات الزراعية وتحمل الظروف المناخية القاسية متشابهة بدرجة كبيرة في كل من الأرز والأرابيدوبسيس، رغم اختلاف البعض الآخر في كل منهما. وعلى الرغم من اختلاف تركيب الزهرة في كل من الأرز والأرابيدوبسيس، فقد تم تعريف العديد من المورثات المسؤولة عن عملية الإزهار في كل




■ مقارنة جينوم الأرز والقمح حيث تعد خريطة الألوان السفلية عن صبغيات الأرز الإثنى عشر.

منهما، ومنها المورثات المحددة لوقت الازهار مثل (G1, CO, LD & FCA). بالإضافة لمورثات تصنيع حمض الجبريليك (أحد الهرمونات النباتية المتعلقة بالنمو)، فضلا عن أن معظم هذه المورثات في كلا النباتين تتواجد في مجموعات وراثية.

٦- أما بخصوص مورثات الأيض - خاصة مورثات المسارات الأيضية مثل الانشطار الجليكولي، ودورة «كربس»، والبناء الضوئي، والتنفس، وهدم الأحماض الأمينية، والنيوكليوتيدات، والأحماض الدهنية، والدهون، والكربوهيدرات، وغيرها - فقد توصل الباحثون إلى أن قرابة ٢٥٪ من مورثات الأرز تلعب دورا في هذا المجال، ومعظم هذه المورثات مرتبة في شكل مجموعات، ومتشابهة بدرجة كبيرة مع مورثات الأرابيدوبسيس. أما مورثات النواتج الثانوية المعقدة للأيض (Secondary metabolites) ومنها التربينات، والفلافونات، والفينولات، فإن درجة الاختلاف في النباتين عالية. أما المورثات المسؤولة عن نقل الفوسفات فثبت أنها متشابهة بدرجة كبيرة في كل من الأرز والأرابيدوبسيس، بالإضافة لنباتات أخرى مثل الطماطم، الطباق، وغيرها. أما بخصوص مورثات عوامل النسخ فقد عرفت مورثات متشابهة بدرجة كبيرة في كل من الأرز ودودة الربداء الرشيقة، وبدرجة أقل بين الأرز والأرابيدوبسيس. وأن معظم هذه المورثات مرتبة في شكل مجموعات بعضها صغيرة ومعظمها كبيرة.

## جينومات محاصيل الغلال

استغل جينوم الأرز كنموذج لرسم ومحاكاة جينومات محاصيل الغلال الأخرى، حيث ثبت أن الكواشف الوراثية الجزيئية متشابهة بدرجة كبيرة بين نباتات الغلال، مما سهل التعرف على المورثات وترتيبها ووظيفتها وطرق التحكم فيها، وبالتالي تسهيل الحصول على التسلسل الكامل لجينومات هذه النباتات. وثبت أن قرابة ٨٠-٩٠٪ من مورثات الغلال متشابهة تركيبيا ووظيفيا، وقد تطورت هذه المورثات من نفس المصدر، ورغم اختلاف النوع النباتي ظلت محتفظة بالأصول الأولية على مدار السنين. تعزى الاختلافات الشكلية الظاهرية بين محاصيل الغلال إلى اختلاف عدد قليل من المورثات أو اختلاف الوظائف بين مورثات متشابهة.

## أهمية جينوم الأرز

تؤدي دراسة جينوم الأرز إلى استنباط أنواع جديدة ذات غلة أوفر ولديها القدرة على مقاومة الظروف المناخية القاسية، خاصة لنباتات الغلال التي تنتمي لنفس الفصيلة. ويعتقد الباحثون أن من شأن فك جينوم الأرز أن يؤدي لعلاج مشكلة سوء التغذية في أنحاء كثيرة من العالم، حيث يمثل الأرز الغذاء الرئيسي لقرابة نصف سكان الكرة الأرضية. وتكمن المشكلة الرئيسية في الأرز العادي في افتقاده لعنصر البيتا كاروتين الذي يعد مصدرا لفيتامين (أ) في أجسادنا، وقد نجح العلماء في إنتاج أرز من نوع خاص يسمى الأرز الذهبي يحتوي على هذه المادة.

يقول **ستيف بريدجز** من معهد أبحاث «ميسا» في كاليفورنيا - حيث جرت معظم التجارب- «من المتوقع أن تؤتي هذه المعلومات الجديدة ثمارها بالنسبة للمزارعين الذين سيوظفونها خلال سنوات قليلة». لكن الوكالة الدولية للتنمية أعربت عن مخاوفها من أن تؤدي هذه الخطوة إلى جعل الفلاحين الفقراء في الدول النامية رهينة بأيدي الشركات التي تمتلك هذه المعلومات المتطورة. طالبت الوكالة شركة «سينجينتا» بأن تتعهد بإتاحة هذه المعلومات للباحثين في الدول النامية وبعدم فرض براءات اختراع للشفرة الوراثية الخاصة بالأرز أو أي محصول آخر. وذكر الباحث **بريدج** «أن خريطة الأرز مليئة بالمفاجآت والإمكانيات، ويشير إلى أن الباحثين لم يعرفوا الدور الذي تلعبه ٢٠٪ من هذه المورثات».

تم التعرف على تباينات واستبدالات الأحماض الأمينية والاستفادة منها في رسم العمليات التطورية، حيث أظهرت التحليلات الإحصائية أن التبادلات الوراثية المتبوعة بتغيير نمط الأحماض البروتينية في الذرة حدثت منذ قرابة ١١,٤ مليون سنة، بينما في الأرز من ٤٠-٥٠ مليون سنة، وأن أكثر نسبة تغير كانت على الكروموسومين رقم ١١ و ١٢. حيث حدثت تلك التبادلات فيهما من قرابة ٢٥ مليون سنة.