

環境政策委員会

化学物質委員会と化学品、農薬、バイオテクノロジーに関するワーキングパーティーとの
共同会合

2003年7月2日付コンセンサス文書の取り消しおよび差し替え

バイオテクノロジーの規制的監督の調和シリーズ：No.27

Zea mays subsp. mays (トウモロコシ)の生物学に関するコンセンサス文書

バイオテクノロジーの規制的監督の調和シリーズとして出版されたものの一覧

- No. 4, *Industrial Products of Modern Biotechnology Intended for Release to the Environment: The Proceedings of the Fribourg Workshop* (1996)
- No. 5, *Consensus Document on General Information concerning the Biosafety of Crop Plants Made Virus Resistant through Coat Protein Gene-Mediated Protection* (1996)
- No. 6, *Consensus Document on Information Used in the Assessment of Environmental Applications Involving Pseudomonas* (1997)
- No. 7, *Consensus Document on the Biology of Brassica napus L. (Oilseed Rape)* (1997)
- No. 8, *Consensus Document on the Biology of Solanum tuberosum subsp. tuberosum (Potato)* (1997)
- No. 9, *Consensus Document on the Biology of Triticum aestivum (Bread Wheat)* (1999)
- No. 10, *Consensus Document on General Information Concerning the Genes and Their Enzymes that Confer Tolerance to Glyphosate Herbicide* (1999)
- No. 11, *Consensus Document on General Information Concerning the Genes and Their Enzymes that Confer Tolerance to Phosphinothricin Herbicide* (1999)
- No. 12, *Consensus Document on the Biology of Picea abies (L.) Karst (Norway Spruce)* (1999)
- No. 13, *Consensus Document on the Biology of Picea glauca (Moench) Voss (White Spruce)* (1999)
- No. 14, *Consensus Document on the Biology of Oryza sativa (Rice)* (1999)
- No. 15, *Consensus Document on the Biology of Glycine max (L.) Merr. (Soybean)* (2000)
- No. 16, *Consensus Document on the Biology of Populus L. (Poplars)* (2000)
- No. 17, *Report of the OECD Workshop on Unique Identification Systems for Transgenic Plants, Charmey, Switzerland, 2-4 October 2000* (2001)
- No. 18, *Consensus Document on the Biology of Beta vulgaris L. (Sugar Beet)* (2001)
- No. 19, *Report of the Workshop on the Environmental Considerations of Genetically Modified Trees, Norway, September 1999*. (2001)
- No. 20, *Consensus Document on Information used in the Assessment of Environmental Applications Involving Baculovirus* (2002)
- No. 21, *Consensus Document on the Biology of Picea sitchensis (Bong.) Carr. (Sitka Spruce)* (2002)
- No. 22, *Consensus Document on the Biology of Pinus strobus L. (Eastern White Pine)* (2002)
- No. 23, *OECD Guidance for the Designation of a Unique Identifier for Transgenic Plants* (2002)
- No. 24, *Consensus Document on the Biology of Prunus sp. (Stone Fruits)* (2002)
- No. 25, *Module II: Herbicide Biochemistry, Herbicide Metabolism and the Residues in Glufosinate-Ammonium (Phosphinothricin)-Tolerant Transgenic Plants* (2002)
- No. 26, *Output on the Questionnaire on National Approaches to Monitoring / Detection / Identification of Transgenic Products* (2003)

? OECD 2003

本文献のすべてまたは一部の複製あるいは翻訳は、OECD、出版局本部、2 rue Andre-Pascal, 75775, Paris Cedex 16、フランスに申請し許可を得なければならない。

OECDの環境衛生安全に関する出版物

バイオテクノロジーの規制的監督の調和シリーズ：No.27

Zea mays subsp. mays (トウモロコシ)の
生物学に関するコンセンサス文書

経済協力開発機構環境政策委員会

2003年パリ

OECD について

経済協力開発機構は、北米、ヨーロッパ、太平洋地域の先進工業国 30 カ国に、欧州委員会を加えた政府間組織で、調整と調和に対処し、相互の利害関係に関する問題の検討や国際問題に対処するために、協力し合うことを目的にしている。OECD の活動の大半は、加盟国の代表者で構成する 200 以上の専門委員会とその下部組織で行われている。OECD の大半のワークショップやその他の会議には、OECD 内で特別な資格をもつ数カ国のオブザーバー、ならびに関連国際組織のオブザーバーが出席する。フランス、パリにある OECD 事務局が専門委員会とその下部組織の事務局を努めており、OECD 事務局は、委員会と部で構成されている。

環境衛生安全局は、試験と評価、実験方法と遵守、農薬、危機管理、バイオテクノロジーの規制的監督の調和、新規食品や飼料の安全性、化学物質事故、環境汚染物質排出と移動登録、大気汚染物質排出シナリオの 9 種類の出版物を無料で配布している。環境衛生安全計画とその出版物に関する詳細は、OECD のウェブサイト (<http://www.oecd.org/ehs/>) で入手できる。

この出版物はコンピューターを使って無料で入手できます。

本件やその他の多数のバイオセーフティー(感染性を有する試料を用いる生物実験施設で実施される安全性管理)に関する完全な資料は、OECD のウェブサイト (<http://www.oecd.org/biotrack/>) にアクセスするか、

または

**OECD 環境政策委員会
環境衛生安全局**

2 rue Andre-Pascal 75775 Paris Cedex 16、フランス

Fax : (33-1) 45 24 16 75

E-mail : ehscont@oecd.org に連絡してください。

序 文

OECD のバイオテクノロジーの規制的監督の調和に関するワーキンググループ¹は、1995 年 6 月に開催された最初の会合で、各加盟国が容認できる**コンセンサス文書**の作成を目標とすることが決定した。このコンセンサス文書には、規制機関が特定産物を評価するために使用する情報も含まれる。このコンセンサス文書は、植物のバイオセーフティーに関する分野では、特定作物の生物学、植物に導入できる形質、植物に一般的な種類の変異におけるバイオセーフティー上の問題に関するものが出版されている。

この文書は、*Zea mays subsp. mays* (トウモロコシ)の生物学を取り扱っている。これには、一般的な情報から分類学、識別法、起源 / 多様性の中心地、生殖生物学、交配、農業生態学など専門的なものまで含まれている。商業化するために遺伝子を導入した植物の評価を担当する規制当局やその他の部署、ならびに植物の遺伝子改良や集中管理の関係者がこれを使用している。

メキシコは、この文書の作成に指導的立場で携わった(付属書類 E 参照)。この文書は他の加盟国の入力に基づき数回改訂されている。

化学物質委員会と化学品、農薬、バイオテクノロジーに関するワーキングパーティーとの共同会合で、この文書を公開することが決定され、この文書は OECD の事務総長の責任のもとに出版されるものである。

¹ 1998 年 8 月、OECD の委員会とワーキンググループの名称を合理化することが OECD 議会で決定されてから、「バイオテクノロジーの規制的監督の調和に関する専門家グループ」は「バイオテクノロジーの規制的監督の調和に関するワーキンググループ」に改称された。

目 次

図表一覧	6
まえがき	7
第1節 概 説.....	9
A. 作物としての利用.....	9
第2節 Zea の分類学上の状況.....	12
第3節 識別法.....	15
A. Zea mays の概要.....	15
B. Zea mays 品種間での識別.....	15
C. Zea mays と野生種との識別.....	15
D. 遺伝学および分子識別.....	16
E. トウモロコシのゲノム地図.....	17
第4節 起源 / 多様性の中心地、トウモロコシの多様性.....	18
第5節 生殖生物学.....	22
A. 有性生殖.....	22
B. 無性生殖.....	23
第6節 交 配.....	24
A. 種内交配.....	24
B. 種間交雑.....	24
C. 遺伝子拡散.....	25
第7節 農業生態学.....	26
A. 栽 培.....	26
B. 自然播種および雑草性.....	27
C. 土壌生態学 (トウモロコシ根圏の微生物学).....	27
D. トウモロコシと虫の相互作用.....	28
SECTION VIII-REFERENCES	29
APPENDIX A: MAIZE BIOTECHNOLOGY.....	40
APPENDIX B: DISTRIBUTION OF MAIZE LANDRACES AND TEOSINTE IN MEXICO	43
APPENDIX C: COMMON DISEASES AND INSECT PESTS OF MAIZE.....	44
APPENDIX D: MAIZE WORLD PRODUCTION.....	46
APPENDIX E: LIST OF CONTRIBUTORS AND PARTICIPATING INSTITUTIONS (FROM THE LEAD COUNTRY) IN THE PREPARATION OF THIS DOCUMENT	47

図表一覧

図 1. 世界のトウモロコシ生産地.....	10
表 1. 国別トウモロコシ一人当たり年間消費量.....	10
表 2. 西半球の Maydeae 族の Zea 属と Tripsacum 属の分類.....	14

まえがき

OECD 加盟国は、現在、バイオテクノロジーによる農産物および工業生産物の商品化と販売についての承認を進めている。したがって、不必要な貿易障壁を避けるために、これらの生産物を評価する管理手法の加盟国間での調和が必要となっている。

1993 年に、OECD の環境政策委員会と農業委員会の共同プロジェクトとして、**バイオテクノロジーを利用した農産物の商品化**について調査が開始された。本プロジェクトの目的は、各国におけるバイオテクノロジーを利用した農産物の規制管理、特に安全性の確認のための対策を支援すること、管理政策を透明で効率的なものにすること、そして貿易を促進することにある。プロジェクトの課題は、バイオテクノロジーを利用した農産物の市場導入を規制管理する国家政策について再検討することにある。

プロジェクトの第一段階として、この農産物の規制管理に関する国家政策についての調査が行われた。また、バイオテクノロジーを利用した農産物に必要なデータとデータの評価方法についても調査が行われた。これらの結果は、「バイオテクノロジーを利用した農産物の商品化：調査結果 (OECD, 1995a)」として出版されている。

その後、1994 年 6 月にワシントン DC において OECD ワークショップが開催された。その目的はバイオテクノロジーを利用した農産物を規制する様々な管理システムについての認識と理解を深めさせ、様々な手法における類似点と相違点を明らかにし、これらの手法の調和に向けた OECD の役割を明らかにするものであった。このワークショップには、16 の OECD 加盟国、8 の非加盟国、欧州委員会および国際機関の代表として、環境生物安全性、食品安全性、および種子検定分野の専門家が約 80 名参加した。「バイオテクノロジーを利用した農産物の商品化に関する OECD ワークショップ報告(OECD, 1995b)」は、1995 年に OECD により出版された。

調和に向けた第二段階として、バイオテクノロジーの規制的監督の調和に関する専門家グループは、加盟国が**相互に受入れ可能なコンセンサス文書**の作成に着手した。その目的は、各国間での情報の共有化を促進し、努力の重複を防ぐために、バイオテクノロジーを利用して開発された新品種植物の安全性評価に共通する要素を明らかにすることである。この共通要素は、宿主植物または作物の生物学と遺伝子産物という 2 つのカテゴリーに整理される。この文書では、すなわち「*Zea mays* (トウモロコシ)の生物学」では、8 番目の検討作物に *Zea mays* (トウモロコシ)を選んでいる。ちなみに、1 番目は *Brassica napus* L. (アブラナ)、2 番目が *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* (ジャガイモ)、3 番目が *Triticum aestivum* (小麦)、4 番目が *Oryza sativa* (米)、5 番目が *Glycine max* (L.) Merr. (大豆)、6 番目が *Beta vulgaris* L. (テンサイ)、7 番目が *Prunus* sp. (石果)である。

安全性の問題は特定作物の生物学に関するコンセンサス文書で明らかにされるが、この問

題には遺伝子導入の可能性、雑草性、形質効果、遺伝的表現型変異性、生物学的ベクター効果、病原体からの遺伝物質も含まれる (OECD, 1993a)。しかし、この文書では作物が栽培される個々の環境を考慮できないので、さらに検討を続ける必要がある。

この文書は、法的リスク評価に関係する最新情報の「スナップショット」でもある。これは、規制当局ばかりでなく、産業界、科学者、その他研究を行う者たちにとって、一般の案内書や参考文献として役に立つと思う。

本文書や作物生物学に関係する他の文書を利用するにあたって、近年、出版された OECD の 2 つの出版物が参考となる。「在来作物の品種改良：バイオテクノロジー評価基準の歴史的検討 (OECD, 1993b)」には、17 種類の作物に関する情報が掲載され、作物の生殖質や最新の最終用途に関する動向など植物衛生に関する考察が記載されており、最新の品種改良に関しても詳しく記載されている。「バイオテクノロジーの安全性の考察：作物の大型化 (OECD, 1993a)」は、品種改良の経緯が記載され、大型化依存効果についての検討があり、「新しい形質」をもつ植物を生み出すことに関する様々な安全性の問題について触れている²。

OECD 加盟国は、科学的発展と技術的発展を確実に考慮して、コンセンサス文書の定期的な更新に同意している。各コンセンサス文書のテーマに関する新しい分野は、更新の際に考慮される。

したがって、本文書の利用者は、該当する科学情報や技術情報の提供、ならびに将来考慮しなければならない新しい分野に関する要望を OECD 事務局に知らせていただきたい。**本文書の最後にあらかじめ宛名を記した簡単なアンケートが添付されている。アンケートに必要事項を記入して、記載された住所の OECD 宛て送付していただきたい。**

² 本文書ならびに OECD のその他の出版物の詳細は、OECD 出版局、2 rue Andre-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, フランス、Fax : (33) 01 49 10 42 76, E-mail : PUBSINO@oecd.org または [consult http://www.oecd.org](http://www.oecd.org) に連絡されたい。

第1節 概 説

1. トウモロコシは、イネ科 (Poaceae) の Maydeae 属に分類される。トウモロコシは雌雄同株の丈夫な一年生植物で、繁殖と生き残りのためには人間がその種子を蒔いてやる必要がある。トウモロコシは、太陽のエネルギーを吸収しそれを食品に転換することにおいては最も効率のよい植物であり、湿度、日照、海拔高度、温度に関わる極限条件や異なる条件に適応できる。トウモロコシは、実験的に *Tripsacum* 属とだけ交配種を作ることができるが、Maydeae 属と同種のブタモロコシは自然の条件のもとで雑種を生じる。

2. 本文書には、トウモロコシとその近縁野生種の固有の状況や放任受粉品種とブタモロコシとの相互作用について記載されている。また、野生種の生殖質を保存することの重要性やその起源と多様性に関する状況についても述べている。トウモロコシ栽培とその多様性については、生物学的要素と社会経済的要素も重要である。したがって、この点についても考察する。

A. 作物としての利用

3. 先進国では、トウモロコシを 1) 飼料として動物に与える 2) 産業用製品の原料とする、いう2つの目的で利用している。「大半の先進国においては、人間の食糧としての需要はほとんどない」(Morris、1998年、Galiant、1988年、Shaw、1988年)。欧州連合 (EU) においては、トウモロコシを飼料や産業用製品の原料として利用している (Tsaftaris、1995年)。したがって、米国やEUのトウモロコシ育種家は、飼料産業向けの農業用と高果糖コーンシロップ、燃料用アルコール、スターチ、グルコース、デキストロースなどの産業用として位置づけている (Tsaftaris、1995年)。開発途上国では、スイートコーンやポップコーンの消費が増えているので、これらのトウモロコシをどのように利用するかも検討する必要がある (White と Pollak、1995年、Benson と Pearce、1987年)。

4. 開発途上国におけるトウモロコシの利用方法は変化に富んでいる。メキシコなどでは、トウモロコシは主食のひとつであり、ラテンアメリカと同じ様に、アフリカでは、サハラ以南に住む者はトウモロコシを食糧にしており、アジアでは、一般的には動物の飼料に利用している (Morris、1998年)。

5. トウモロコシは、ラテンアメリカの大半の国では主食であり、これらの国の国民の食生活における重要な食材でもある。トウモロコシのすべての部位が異なる目的で利用されている。すなわち、粒を挽いたものは、「トーティーヤ」、「タマーレ」、「トスターダ」(パン生地)に利用し、「pozole」、「pinole」、「pozol」は穀草、乾燥させた茎で柵を作り、トウモロコシの特殊な穂軸 (トウモロコシ黒穂病または *Ustilago maydis* にかかった穂) を食用にする。一般的に、地域によって多種多様なトウモロコシの利用法がある。地球レベルでは、穀物生産合計のちょうど21%が食品として消費されている。

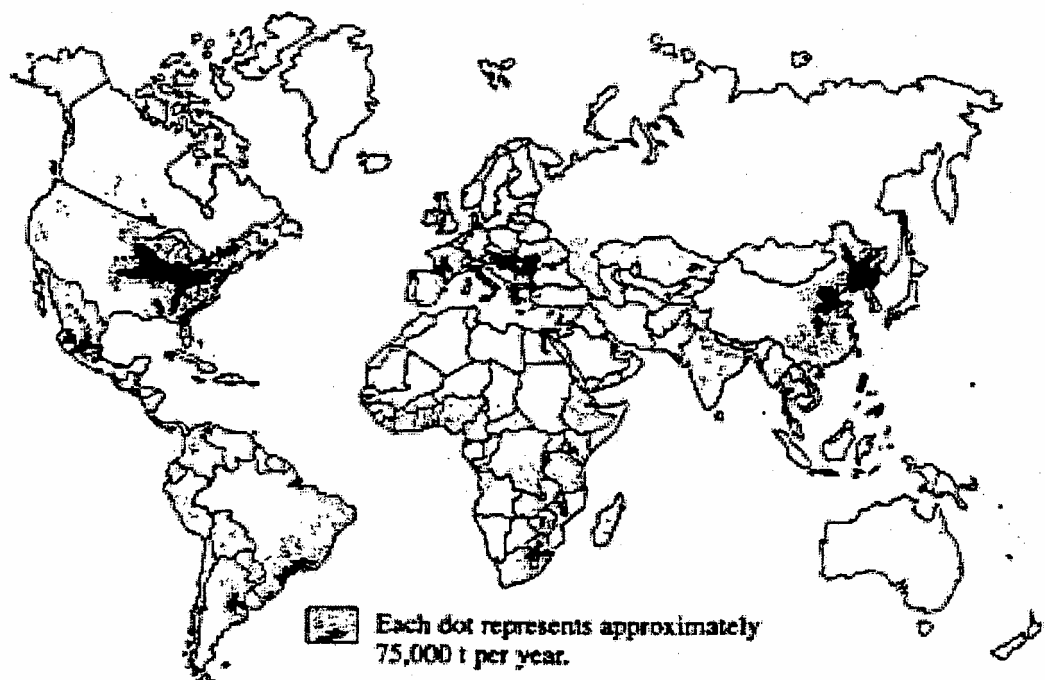
6. トウモロコシの一人当たり年間消費量の多い国を表1にまとめた。

表1. 国別トウモロコシ一人当たり年間消費量

国	トウモロコシの一人当たり年間消費量 (Kg)
マラウイ	137
メキシコ	127
ザンビア	113
グアテマラ	103
ホンジュラス	98
南アフリカ	94
エルサルバドル	93
ケニア	93
ジンバブエ	89
レソト	87
ベネズエラ	68
ニカラグア	56

出典：(Morris、1998年)

図1. 世界のトウモロコシ生産地



出典：Morris、1998年

7. Morris (1998 年)によれば、「トウモロコシは世界で最も広範に栽培されている穀物で、幅広い生産環境に適応できる能力があることを反映している」(図 1.)

8. 形質転換トウモロコシは、すでいくつかの先進国において農業目的にはもちろん作物にも利用されている。先進国は、トウモロコシが余る環境にあるので、トウモロコシの主要産出国である。先進国では、まず、「トウモロコシは、一般的に雨量が豊富で肥沃な土地帯で栽培される」(Morris、1998 年)。次に、大量の技術投入が集中的に使われる (Pollak と White、1995 年、Rooney と Serna-Sldivar、1987 年、Shaw、1988 年、White と Pollak、1995 年)。対照的に、開発途上国においては、かなり変化に富んでいる。南米のメキシコから北アンデス山脈までの農村では、トウモロコシは極めて重要な主食であり、改良種とともに技術の使用は限定される。しかし、ブラジル、アルゼンチン、チリでは、「大勢の商業生産者が大規模な機械を使用して換金農産物を栽培している」ので、これらの国は先進国に似ているところがある (Morris、1998 年)。

9. ラテンアメリカの大半の国では、トウモロコシは小規模単位で栽培されている。例えば、メキシコでは、トウモロコシの作付面積の大半 (77%) が 5 ヘクタール未満で、これらは合計生産高の 67% を占める (Turrent-Fernandez ほか、1997 年における Calva、1992 年)。トウモロコシを専門に生産しているのは、わずかに土地面積の 5% だけで、その面積は平均すると 12.2 ヘクタールである。最近 (Turrent-Fernandez ほか、1997 年)、トウモロコシ栽培用の土地面積は増えてきているが、技術投入量は平均を下回っている。品種改良後の種子を使用しているのは、生産者の 40% にすぎない。土地を肥沃にするために生産者の 64% が窒素と磷を使用し、42% が技術援助を受けている。

10. アフリカでは、トウモロコシは主に東南部で重要な作物であり、東南部ではトウモロコシが「主食用作物で農村の食事の中心」である (Morris、1998 年)。また、アフリカのトウモロコシ生産は、農村地域の農民がわずかに開墾された狭い土地でトウモロコシを栽培し、大量の技術投入は行われず改良品種も使用されていない点で、ラテンアメリカの一部の国と類似している。

11. アジアでは、中国がトウモロコシ生産の中心である。中国は、トウモロコシの生産では米国について第 2 位である (Morris、1998 年)。アジア諸国は、中米や大半のアフリカ諸国同様、家畜用飼料としてトウモロコシを栽培している。「農地は狭く、改良した生殖質種の使用や購入した技術投入量は適度で、一般に収穫量は少ない (Morris、1998 年)。

第 2 節 Zea の分類学上の状況

12. 西半球の *Zea* 属と *Tripsacum* 属は、Maydeae 族に分類されている (表 2 参照)。アジアの Maydeae 属には、*Coix* ($2n = 10, 20$)、*Polytoxa* ($2n = 20$)、*Chionachne* ($2n = 20$)、*Schlerachne* ($2n = 20$)、*Trilobachne* ($2n = 20$)がある。

13. 雄の小穂の苞穎に関する形態学に基づき、Iltis と Doebley (1980 年) および Doebley と Iltis (1980 年) は、*Zea* 属の新しい分類制度について提案した。まず、*Zea* を LUXURIANTES と ZEA の 2 つの節に分離した。LUXURIANTES 節を *Z. luxurians*, *Z. diploperennis*, *Z. perennis* の 3 つにグループ分けし、ごく最近になって、これらに *Z. nicaraguensis* を追加した (Iltis と Benz, 2000 年)。ZEA 節は *Z. mays* の 1 種のみだが、これも *ssp. mays* (トウモロコシ) *Nobogame*, *Central Plateau*, *Durango*, *Chalco* 品種 (Wilkes, 1967 年, 1977 年) のある *ssp. mexicana*, ならびに *ssp. parviglumis* の 3 つの亜種に分けられている。最近、これも、2 つの品種、つまり Wilkes (1967 年) による *Balsas* 品種, *var. parviglumis* と Wilkes (1967 年) による *Huehuetenango* 品種, *var. huehuetenangensis* に分けられた。後になって、Doebley (1984 年, 1990 年) は、*var. huehuetenangensis* を亜種レベルにするべきだと述べている。

14. *Zea* 属を LUXURIANTES 節と ZEA 節に分離することに関しては、形態学 (Doebley, 1983 年, Smith ほか, 1981 年)、イソ酵素 (Doebley ほか, 1984 年, Smith ほか, 1984 年)、細胞質器官 DNA (Doebley ほか, 1987 年 a, b, Sederoff ほか, 1981 年, Timothy ほか, 1979 年)、細胞学 (Kato, 1984 年, Kato と Lopez, 1990 年) からの裏付けがあり、論争は起きていない。

15. ZEA 節、特に単一種、*Z. mays* に一年生ブタモロコシとトウモロコシをグループ分けすることについての異論がある。一年生ブタモロコシとトウモロコシは、染色体瘤データ (Kato, 1984 年, Kato と Lopez, 1990 年) と形態学生態学的データ (Doebley, 1984 年) から判断して、完全に分離するべきであることを示す裏付けがある。イソ酵素データには、これら 2 つの植物の個体群に低レベルの遺伝子導入が見られるが (Doebley, 1984 年, 1990 年) これら 2 つの個体群は主として同一のイソ酵素の対立遺伝子をもっており、これらの発生頻度により、大半のブタモロコシ品種とトウモロコシ品種を識別することができる (Goodman, 1988 年)。もし、一年生ブタモロコシとトウモロコシが遺伝学的に分離していると認めるならば、生物学的種概念に従い、Iltis と Doebley (1980 年) ならびに Doebley と Iltis (1980 年) が行った ZEA 節の分類には従わず、Wilkes (1967 年) が提案した分類に従うべきだと思う。

16. Wilkes (1967 年) は、一年生ブタモロコシを次の 6 種類に分類した: *Central Plateau*, *Chalco*, *Balsas*, *Huehuetenango*, *Guatemala* である。Bird (1978 年) は、*Guatemala* 品種を種のランク、*Z. luxurians* に上げた。

17. メキシコ、ハリスコ州の多年生ブタモロコシは、倍数性が異なる 2 つの種、すなわち *Z. perennis* ($2n = 40$) と *Z. diploperennis* ($2n = 20$) に分けられている (Iltis ほか、1979 年)。

18. Doebley と Iltis (1980 年)ならびに Iltis と Doebley (1980 年)は、ブタモロコシを *Z. mays* の 2 つの亜種に分類した。すなわち、*mexicana* (Chalco, Central Plateau, Nobogame) と *parviglumis* (Var. *Parviglumis* = Balas ならびに var. *huehuetenangensis* = Huehuetenango)である。

表 2. 西半球の Maydeae 族の Zea 属と Tripsacum 属の分類

科：Poaceae
亜科：Panicoideae
族：Maydeae
西半球：
Zea 属 ¹
ZEA 節
Zea mays L. (トウモロコシ)
Zea mays subsp. mays (L.) Iltis (トウモロコシ、 $2n^2 = 20$)
Zea mays subsp. mexicana (Schrader) Iltis (ブタモロコシ、 $2n = 20$)
Nobogame 品種 ³
Central Plateau 品種 ³
Durango 品種 ⁴
Chalco 品種 ³
Zea mays subsp. parviglumis Iltis と Doebley (ブタモロコシ、 $2n = 20$)
var. parviglumis Iltis と Doebley (= Balsas 品種)
var. huehuetenangensis Doebley (= Huehuetenango 品種)
LUXURIANTES 節 Doebley と Iltis
Zea diploperennis Iltis, Doebley, Guzman (多年生ブタモロコシ、 $2n = 20$)
Zea luxurians (Durieu) Bird (ブタモロコシ、 $2n = 20$)
Zea nicaraguensis ⁵ ($2n = 20?$)
Zea perennis (Hitchc.) Reeves と Mangelsdorf ($2n = 40$)
Tripsacum 属
T. andersonii ($2n = 64$)
T. australe ($2n = 36$)
T. bravum ($2n = 36, 72$)
T. cundinamarce ($2n = 36$)
T. dactyloides ($2n = 72$)
T. floridanum ($2n = 36$)
T. intermedium ($2n = 72$)
T. manisuroides ($2n = 72$)
T. latifolium ($2n = 36$)
T. pereuvianum ($2n = 72, 90, 108$)
T. zopilotense ($2n = 36, 72$)
T. jalapense ($2n = 72$)
T. lanceolatum ($2n = 72$)
T. laxum ($2n = 36?$)
T. maizar ($2n = 36, 72$)
T. pilosum ($2n = 72$)

¹Iltis と Doebley、1980 年、Doebley、1990 年。²二倍数。³Wilkes、1967 年。⁴Sanchez-Gonzalez ほか、1998 年。⁵Iltis と Benz、2000 年。

第3節 識別法

A. *Zea mays* の概要

19. *Zea mays* は、重複葉鞘でかなり広幅の二列生葉身をもつ背丈の高い雌雄同株の一年生草である。この植物には、多数の大きな葉状の苞葉（穂）に包まれた、長さが7 cm から40 cm ほどの雌花の花序があり、葉腋の濃化軸（穂軸）上に8列から16列の小穂と末端が大きく広がっている円錐花序（雄穂）を形成する長い穂のような総状花序の雄の小穂がある。

B. *Zea mays* 品種間での識別

20. この膨大な品種を研究し分類するために、品種を分類するシステムが設定された（Wellhausen ほか、1952年、Wellhausen ほか、1957年、Brown、1953年、SatoとYoshida、1956年、Hateway、1957年、Roberts ほか、1957年、Briger ほか、1958年、Timothy ほか、1961年、1963年、Gronman ほか、1961年、Grant ほか、1963年、Brandolini、1968年、Mochizuki、1968年、Cost-Rodriguez、1971年、PaternianiとGoodman、1977年、Wellhouse、1988年、AvilaとBrnadolini、1990年）。ラテンアメリカ諸国、特にメキシコには、トウモロコシの生物学的な多様性という大きな財産がある。メキシコには40種以上のトウモロコシの在来種があり（Wellhausen ほか、1952年、Hernandez-XolocotziとAlanis、1970年、Ortega-Pazcka、1980年、Benz、1986年、Sanzchez-Gonzalez、1989年）、アメリカにはだいたい250種の在来種がある（GoodmanとBrown、1988年）。

C. *Zea mays* と野生種との識別

21. *Zea* に最も近い種は *Tripsacum* である。*Tripsacum* 属は2つの節からなり、5種からなる FASCICULATA 節と12種からなる TRIPSACUM 節がある。この染色体数は $2n = 36$ から $2n = 108$ まで様々である。すべての種が多年生である（de Wet ほか、1982年、1983年）。これらのうち12種はメキシコとグアテマラが原産で、米国の東半分の至る所で見られる *T. dactyloides* の仲間であり、染色体は東海岸近くのもの4倍体で、中央部のは2倍体である。*T. lanceolatum* は米国の南西部原産で、*T. floridanum* は南部フロリダとキューバの原産である。*Tripsacum* の3種は南アメリカでよく知られている。

22. FASCICULATA 節に属する種は中米に多く、そして広く分布しているが、*T. lanceolatum* はメキシコの Sierra Madre Occidental 地方北部から米国アリゾナ州に見られる。一方、TRIPSACUM 節に属する種は、FASCICULATA 節よりさらに広く分布しているが、比較的限られた領域で異なる種が見られる。例えば、*T. Dactyloides* はおおよそ北緯 42° から南緯 24° で見られる。また、*T. Dactyloides* の4倍体形は米国のカンザス州およびイリノイ州で見られる。*T. manisuroides* はメキシコ、チアパス州、Tuxtla Gutierrez 地方特有の原産として知られている（de Wet ほか、1981年、1982年、1983年）。*T. andersonii* は、原産地がはっきりして

おらず、ほとんど実をつけない。これは珍しい種で、その $2n = 64$ 染色体が 54 *Tripsacum* 染色体と 10 *Zea* 染色体という細胞学的証拠 (de Wet ほか、1983 年) と分子生物学的証拠がある (Talbert ほか、1990 年)。

D. 遺伝学および分子識別

23. トウモロコシは、古典遺伝学から分子生物学まで専門分野において最も研究された植物のひとつである。トウモロコシの研究は、転移因子の発見など科学の進歩に大きな貢献をしてきた (McClintock、1929 年、1934 年、1944a、1944b、1944c、1945 年、Botstein、1992 年)。McClintock は、最初に有糸分裂の研究をしてから、トウモロコシの染色体の解析研究を行った。現在は、染色体の染色技術、減数分裂による突然変異、B 染色体の検査、接合機構の理解などの細胞学的研究を行っている。転移因子は、トウモロコシ遺伝学に極めて重要なものである。トウモロコシの多種多様な転移因子システムが解明されており、代表例は、解離 (Ds) 活性化因子 (Ac) 系である。Ac/Ds は一群のトウモロコシ転移因子からなっている。Ac はその一群の自律的因子で、移動性に必要な転移因子を作ることができる。Ds 因子は自律的因子ではなく、Ac がトランスで活性化している場合のみ転移できる。現在では、両因子のクローンを作ることができ、その作用形態をよく特徴づけている (Tsaftaris、1995 年)。最近の転移因子のレビューとしては、Federoff (2000 年) が挙げられる。

24. トウモロコシのミトコンドリアおよび葉緑体に関する遺伝学は、特に重要である。高等植物のミトコンドリア DNA (mtDNA) は、哺乳類や菌類のものよりも大きく、その組織体のなかで多様に変化し、哺乳類や菌類のミトコンドリア DNA よりも多くの遺伝子を持っている。現在までに、5 種類のミトコンドリア DNA が明らかにされている。これらの呼称には、標準雄性稔性表現型の NA と Nb、3 つの異なる細胞質雄性不稔性 (cms) 表現型の T, S, C がある。トウモロコシについて、3 つのサイトタイプの物理的地図が作られている。高等植物のミトコンドリア DNA は、他の細胞画分に由来する DNA 塩基配列を包含している (Tsaftaris、1995 年)。ミトコンドリア DNA とは対照的に、葉緑体 DNA は小さくて単純である。葉緑体 DNA はほぼ完全に配列決定されている。葉緑体の DNA と細菌とは類似点がある。転写促進因子や終結因子などの基本的な制御配列は、両方で共通である。葉緑体遺伝子にコードされたタンパク質配列は細菌のものと同様と認識され、じで、同じ機能をもつ遺伝子クラスターが、葉緑体、大腸菌 (*E. coli*)、藍藻類の DNA で同じ構造として存在している。トウモロコシなど高等植物の約 3 分の 2 は、葉緑体やミトコンドリア DNA は母系遺伝で受け継がれていく (Tsaftaris、1995 年)。

25. トウモロコシについての遺伝学、生理学、細胞遺伝学、分子生物学に関する文献は豊富にあり、簡単に調べることができる (Coe ほか、1988 年、Carlson、1988 年、Walbot と Messing、1988 年、Hageman と Lambert、1988 年、Freeling と Walbat、1994 年)。

E. トウモロコシのゲノム地図

26. 最初のトウモロコシのRFLP(制限断片長多型)地図は、Helentjaris ほか(1985年、1986a、1986b)によって作られた。このトウモロコシ連鎖地図はおおよそ1200 図単位からなっている。RFLPの標識は規則正しく分布している。トウモロコシのゲノムは、約 5×10^6 kbで、図単位ごとにおおよそ 4×10^3 kbある。これには、ゲノムの20%からなる反復配列が含まれる。この配列には約10個の配列タイプがある。合計でゲノムの40%に相当する1000個以上の異なる反復配列があり、これは、おおよそ40%の単一コピー配列、あるいは約 10^6 以上の遺伝子サイズ片はそのままである。

27. トウモロコシには良好の遺伝子地図がある。基本的には、この遺伝子地図により導入遺伝子の位置を簡単に見つけられ、特定の遺伝子型を明らかにすることができる(Tsaftaris、1995年)。最近のトウモロコシのゲノム地図とゲノム地図に関する大半の情報については、以下のウェブサイトで見ることができる：<http://www.agron.missouri.edu>, <http://www.zmdb.iastate.edu>, <http://w3.aces.uiuc.edu/maize-coop/>。また、遺伝子の発現配列のデータベースについては<http://www.zmdb.iastate.edu>でも見ることができる。

第4節 起源 / 多様性の中心地、トウモロコシの多様性

28. トウモロコシの起源については4つの仮説がある。

1. **ブタモロコシ下降説**。これは最も古い説で、1895年に Ascherson は、(Mangelsdorf と Reeves、1939年)、トウモロコシはブタモロコシを人間が選別して栽培植物化したものであると唱えた。現在は、この説が最も広く受け入れられている (Beadle、1986年、deWet と Harlan、1972年、Doebly と Stec、1991年、Doebly、1990年、Galinat、1977年、Iltis と Doebly、1980年、Goodman、1988年、Kato、1984年、Kato と Lopez、1990年、Timothy ほか、1979年)。しかし、この説の問題点は、栽培植物化する際に、どのようにして小さな二列性の雌花穂をトウモロコシの巨大な花穂に変えたのかということである。しかし、Doebly ほか (1990年) は、トウモロコシとブタモロコシを区別する「重要な」形質をコントロールする5つの遺伝子を発見し、さらに最近になって、Wang ほか (1999年) は、ブタモロコシとトウモロコシの花序の性質をコントロールする遺伝子について議論を重ねている。
2. **三連染色体説**。この説は、過去に現在のトウモロコシとは異なる野生のトウモロコシが存在していたというものである。この野生トウモロコシと *Tripsacum* との交雑により、一年生ブタモロコシが生まれた。野性トウモロコシとブタモロコシとの交雑がさらに続き、現在のトウモロコシになった (Mangelsdorf と Reeves、1939年、Mangelsdorf、1974年) とするもの。後になって、Mangelsdorf ほか (1981年) は、*Z. diploperennis* とトウモロコシの Palomero Toluqueno 種との試験的交配、ならびにその後代の観察結果から、一年生ブタモロコシはこの交雑による品種であると発表した。今までのところ、過去や現在において野生のトウモロコシがあったことという発見はまったくなく、この説は最近では信用されていない (Eubanks、1995年を参照されたい)。
3. **一般起源説**。この説は、トウモロコシ、ブタモロコシ、*Tripsacum* が原種から「通常の枝わかれ進化」によって生まれたとするものである。したがって、人間の選別や手入れによって栽培植物化された野生のトウモロコシがあったと考えられる (Weatherwax、1955年、Randolph、1955年、Randolph、1959年)。この説でも三連染色体説の場合と同様、野生のトウモロコシが過去に存在したという仮説が前提にあり、あまり信用されていない。
4. **突発的生殖変質説**。この説は、「おそらく環境の変化がきっかけになって、主要な枝の凝縮に関係する突然変異と間による選別によって、ブタモロコシの側生枝の雄頂生花序からトウモロコシの穂が進化したとするものである (Iltis、1983年)。トウモロコシをブタモロコシと区別する重要な特徴をコントロールする5つの遺伝子が発見されたことにより (Doebly と Stec、1991年、Doebly ほか、1990年)、突発的生殖

殖変質説は受け入れがたくなつたと思われる。

トウモロコシの栽培植物化の中心地

29. 南部メキシコ中部から中央アメリカにかけての地域は、農業の起源と発達を中心地、ならびに 100 種類以上の作物の起源と多様性の中心地と認識されている(Vavilov, 1951 年、Smith, 1995 年、Harlan, 1992 年)。今日まで、トウモロコシがどこで栽培植物化されたかについての意見は一致しておらず、意見がいくつかに分かれている。米国とメキシコのトウモロコシ畑から考古学上のサンプルが発見され、これらが南アメリカのもより古いことから、Randolph (1959 年) は、トウモロコシが米国南部、メキシコ、中米で個別に栽培植物化されたと発表している。

30. Mangelsdorf (1974 年) は、「トウモロコシの起源は一カ所ではなく、メキシコと南アメリカの数カ所にあった」とし、その理由として、考古学上の証拠がメキシコで発見され、中央アメリカのトウモロコシと比較して、南アメリカ(アンデス地区)に現存する個体群に形態的特徴がいくつかあることを挙げている。

31. 南アメリカ、メキシコ、中央アメリカのトウモロコシのいくつかの品種に見られる McClintock (1959 年、1960 年) の染色体節に関する予備調査により、「今日のトウモロコシはいくつかの異なる場所から生まれた可能性がある」との結論を彼女は出した。この染色体に関する調査はさらに継続されている(Kato, 1976 年、1984 年、McClintock, 1978 年、McClintock ほか、1981 年)。彼らは、McClintock の最初の結論を検証し、トウモロコシの栽培植物化はメキシコの 4 カ所とグアテマラ高地の 1 カ所で個別に行われたとの結論に至っている(オアハカ州からチアパス州にかけて 2 カ所、モレロス州北部の Guerrero の中央高地に 1 カ所、同じく中央高地に 1 カ所)。「この結論は、染色体節は地理や人種によって分布が一様でないこと、すなわち、一部の節は特定の領域において限られた分布をすること、あるいは、特定地域あるいは中心点から発生したことを示すばらつきがあるという事実に基づいている。これらの中心点は、トウモロコシの個体群から原始のトウモロコシの生殖質が栽培されたと考えられる場所で、そのトウモロコシはすでに細胞遺伝学的に十分多様化していたと推察される」(Kato, 1984 年)。

32. 上記のトウモロコシの起源説とは対照的に Doebley ほか(1987a)、トウモロコシとトウモロコシに関するイソ酵素研究から、トウモロコシが嘗てバルザス川盆地で栽培植物化されていたと主張している。その理由は「メキシコのすべてのトウモロコシは、他のトウモロコシよりも Var. *parviglumis* のイソ酵素に近い」からである。遺伝子型の研究からもトウモロコシが 9000 年前にメキシコ南部のひとつの栽培植物化から生まれたことが示唆されている(Matsuoka, 2002 年)。

トウモロコシの多様性

33. コロンブスは、アメリカ大陸を発見したときから、キューバの北部海岸のトウモロコシの存在に注目し、スペインを通してこれをヨーロッパに紹介した。そのときは、トウモロコシはチリからカナダの南東部まで栽培されていた。ヨーロッパに紹介されてから二世代の間に、トウモロコシは世界中で耕作されるようになった（Goodman、1988年）。生殖質源は、世界のいたる所でエクシチュー法により保存されているが、中央アメリカ地域においてのみ、世界のすべての地域で栽培されている品種を改良させるもととなった当時のトウモロコシをインシチュー法により今でも保存している。トウモロコシの変種の大半を中央アメリカと南アメリカ北部で見ることができる。環境および条件に関する様々な多様性により、過酷な土壌条件や厳しい気候条件、および生命に関わるストレスに十分適応できるトウモロコシを作る基盤は揃っている。トウモロコシの多様性と変種については、トウモロコシの地域社会文化、生産システム、消費の仕方と密接な相関関係がある（Aguirreほか、1998年、LouetteとSmale、1998年）。

34. トウモロコシの生殖質の多様性を脅かす要因には、改良種子の導入、換金農産物へのシフト、土地利用法の変更などがある（Aguirreほか、1998年、Bellonほか、2000年、Louette、1997年）。ある地域においては、雑種と改良種子の導入が劇的に増えており、そのために従来の利用法を目的にしたトウモロコシの生産が減少し、結果的に遺伝的な侵食が増加している。これらの要因により、トウモロコシの生殖質の多様性は減少しつつあるが、中央アメリカ地域では在来種が存続していくのは明らかである。ラテンアメリカの国の零細農家、小作農家や原住民族、地域社会は、いまだに従来のトウモロコシを保存し選別している。

35. 在来種のトウモロコシの生き残りに関する議論が行われている（Ortega-Pazcka、1973年）。小さな地域社会、民族、小作農家、零細農家にとって、自生のトウモロコシが最も重要である理由は、それが収穫量でなく、第1節で述べたように食品や特別な用途のために極めて特別な品質が求められるからである。したがって、トウモロコシの在来種の大半が、政府機関が推奨するより生産性の高いトウモロコシによって置き換えられるようなことはない。例えば、トウモロコシの遺伝子改良計画が実施された50年後のメキシコであっても、雑種と改良品種の導入の可能性は低い。Hernandez-Xolocotzi（1972年）、Ortega-Pazcka（1973年）、Benz（1986年）、Ortega-Pazckaほか、（1988年）によるトウモロコシの多様性と小作農家社会に関する研究には、基本的に原形を保ったままの伝統的な手法により、小作農家はその地方のトウモロコシを数十年間保存していることが述べられている。1992年に行われた世論調査の結果からも分かるように（CIMMYT、1994年）、低開発国におけるトウモロコシ専用耕地の42%は放任受粉在来種であるという結果が出ている。

36. ラテンアメリカ在来種の保存への取り組みは、特殊な生態学的地位への適応と、特定在来種消費の特別な形態という2つを考慮する必要がある。野生種の生殖質を利用するかどうかは、国の方針や開発ニーズにより様々である。一般的な方法は、分析・評価により、

複合的なグループ、個体数、プールからなる在来種のサンプルをから優秀な生殖質を特定する方法である。国家機関、国際機関、民間の種子産業や大学などがこれらの生殖質を利用している。品種改良をするためにトウモロコシの在来種が使われることは非常に少なかった。例えば、メキシコではトウモロコシの在来種のうち 10%しか育種に用いられていない。メキシコにおいて、在来野生種を分析評価し放任受粉品種として改良品種が作られた例としては、V520 種（在来種 San Luis Potosi-20 から）と Rocamex V7 種（在来種 Hidalgo-7 から）が挙げられる。しかし一方で、農家の畑では、品種改良とその利用法がいまだに検討されていないトウモロコシが栽培されている（Marquez-Sanchez、1993 年）。

37. 特に、特定の条件に順応させたトウモロコシの在来種の例には（Hernandez-Xolocotzi、1988 年）Gaspe、短期栽培（早期熟成）Guatemalan Big But、長期栽培（晩期熟成）Tuxpeno, Celaya, Chalqueno, Cuban Yellow Flint, Cuzco Gigante、多雨のもとの高品質と高い生産性、Chococeno, Enano, Piricincó、耐高温多湿、Conico norteno、耐半乾燥環境、Palomero Toluqueno, Conico, Cacahuacintle, Sabanero、耐高地低温、Nal-teł、石灰質土壤に順応、などがある。

第5節 生殖生物学

A. 有性生殖

38. *Zea mays* は他殖性植物で、ほとんどは他家受粉によって作られた種子で繁殖し、主として風で運ばれる他家受精に依存している。*Z. mays* は雄性先熟花序をつける植物であるが、数十年におよぶ伝統的選別と改良により、雌性先熟形質をもつトウモロコシの品種を作り出した。*Z. mays* は雄穂には雄花をつけ、穂の茎頂部には雌花をつける。

39. **雄穂。**おしべの構造と発育は、他の草と類似している。葯は、4つの房または子房室を育成し、これらの各々には、孢子形成組織のもとである孢子嚢がある。7週間後には、小孢子母細胞は減数分裂段階に入る。小孢子は4つの核の周りに発生し、成熟花粉粒になる。房で作られる花粉の量は、1,800万花粉粒と推測されている（Kieselbach, 1980年）。最も改良された品種では、これ以上の花粉を作っていると思われる。1000個の核心をもつ穂のそれぞれの核心で平均21,000の花粉粒が作られていることになる。Kieselbach（1980年）は、次のように計算した。「高台に42インチずつ間隔を空けて3つの茎を立てるとすれば、それぞれの茎には588平方インチの地面が使える。したがって、平均42,500の花粉粒が畑の各平方インチに散らばる。穂の絹ひげが合計4平方インチの面積に広がれば、絹ひげは約17万花粉粒を捕らえることになる。1つの穂あたり1000絹ひげと推定すると、これは1絹ひげあたり170花粉粒になる。畑のトウモロコシが13日間で花粉を減らしてくることを考慮すると、各絹ひげは一日あたり平均13花粉粒を捕らえることになる。」

40. **穂の茎頂。**茎の各節に、プロフィラムに包まれた腋芽がある。この腋芽の1つか2つが穂の茎頂に発育し、受精段階に達する。最初は、穂はすべすべしているが、すぐに突起を列状に形成する。まず根元に突起が形成され、穂の先端に向かって発育していく。それぞれに2枚の小葉が出て、各小葉は2つの花をつける小穂に発育する。普通、花は1つだけ生き残る。上部の花の成長点は、めしべを作るために分化する。心皮をつける上の部分は単一の無茎の胚珠に発育し、この胚珠は2つの珠心のある外皮あるいは不完全発育の種皮からなっている。成熟した核心の子房壁または果皮を形成する心皮は、これが完全に胚珠を包むまで上方に生育する。条件が満たされると、無機能のいわゆる花柱溝が形成される。穂先に面している腹側の2つの心皮は、花柱または絹ひげに発育する外植を形成する。絹ひげの表面は、たくさんの毛で覆われるようになり、表皮細胞が発育する。絹ひげの底部は、新しい細胞が発育する成長地帯で、これが受粉し受精が行われるまで、絹ひげの伸長は継続される。胚嚢の発育は草の特徴でもある。3つの核のうち1つは珠孔の端部で成長し、卵の核になるが、他のものは助細胞の核になる。この段階で、胚嚢は受精の準備ができていますが、もし受粉が行われないと、暫くの間は、多分2週間程度は、このままの状態が続くが、その後胚嚢と珠心が機能しなくなり、受精はできなくなる。

41. 受精は花粉粒が絹ひげに捕らえられてから起こり、珠孔に通じる花粉管を作るために

出芽し、胚嚢に入る。花粉は風で運ばれ、非常にまれだが、数キロメートル離れた距離であっても受粉できるのは注目に値する。

B. 無性生殖

42. 無性生殖のトウモロコシはない。カルスを繁殖させ、組織や植物を無性で生殖させるために細胞 / 組織培養技術を使用することはできる。しかし、トウモロコシの細胞や組織を使って、これを行うことは難しい。

第6節 交配

A. 種内交配

43. トウモロコシは本来 100%放任受粉（他家受精）の作物種である。20世紀までに、アメリカに存在した種々の文明の人々が、放任受粉によって選別し生育させてきた、異種で異質な個体の集合である（Hallauer, 2000年）。トウモロコシの花粉は極めて乱交雑で、絹ひげに付着しやすく、受粉直後に発芽し24時間以内に受精する。したがって、すべてのトウモロコシは種内受粉だが、第4染色体に対立遺伝子 Ga と ga に関する配偶体因子をもつ特定のポップコーン種および雑種は例外である（Kermicle, 1997年）。

44. トウモロコシと一年生ブタモロコシとの生殖的適合性が大きく、繁殖性雑種を生み出していることはよく知られている（Wilkes, 1977年）。メキシコやグアテマラ地区では、お互いが近接している場合、トウモロコシとブタモロコシは自由に交雑する。Wilkes（1977年）は、メキシコ渓谷の Chalco 地域では、500のトウモロコシ畑ごとにひとつの F1 雑種（トウモロコシとブタモロコシ）または 3~5%のブタモロコシの個体群が発生していることを発表した。Kermicle と Allen（1990年）は、トウモロコシからブタモロコシへの遺伝子移入が可能であることを明らかにした。しかし一方では、一部のトウモロコシと特定のブタモロコシ間には適合性がないので、遺伝子移入を高い確率で妨げる一部の雑種との適合性が低いことが分かっている（Evans と Kermicle, 2001年）。

B. 種間交雑

45. *Tripsacum* 種（*T. dactyloides*, *T. floridanum*, *T. lanceolatum*, *T. pilosum*）はトウモロコシと非常に稀に交雑できるが、雑種は高い確率で生殖不能で、遺伝学的にも不安定である（Mangelsdorf, 1974年）。Galinat（1988年）は、*Tripsacum* と *Zea* の染色体数が異なることから、トウモロコシのゲノムに *Tripsacum* の過剰染色体を追加するため発生の頻度が低くなり、その結果、交叉率が極めて低下すると発表した。Eubanks（1995年、1998年）は、*Tripsacum* ゲノムをトウモロコシに導入する方法を開発した。この方法では、トウモロコシの2つの野生近縁種、*Tripsacum* と二倍体多年生ブタモロコシ（*Zea diploperennis*）は、トリプサコーンと言われる雑種を作るために交雑し、トウモロコシ・トリプサコーンの雑種を作るのに使われる。トリプサコーンを使用する目的は、有害生物や病気、旱魃などへの耐性、および、単一性を持たせるためである。最近、無配偶生殖、全能性、多年生、有害土壌や炭酸ガスを多く含む大気への順応などの形質を、トウモロコシ × *Tripsacum* 種 - 多年生ブタモロコシを通してトウモロコシ（および/またはその逆方向）に移入できるようになった。

46. トウモロコシと *Tripsacum* 間の交雑については昔から研究されており（etWet ほか、1973年、Bernard と Jewell, 1985年）最近になって、*Tripsacum* からトウモロコシへの無配偶生殖のような形質に関係する遺伝子を導入する研究が行なわれている（Burson ほか、1990年、

Savidan と Berthaud、1994 年、Hanna、1995 年、Leblanc ほか、1995 年、Grimanelli ほか、1998 年、Grossniklaus ほか、1998 年）。トウモロコシと *Tripsacum* の交雑が行われた結果、アポミクス・トウモロコシの開存性についていくつか出版されている（Kindiger と Sokolov、1998 年、Savidan ほか、1998 年、Eubanks、2000 年）。

C. 遺伝子拡散

47. 栽培植物とその近縁野生種との相互作用により、雑種が生まれ、多くの場合、新しい作物から野生個体群に対し新しい対立遺伝子の遺伝子拡散が行われる（Ellstrand ほか、1999 年）。遺伝子拡散自体は理論的には、積極的雑草の進化や希少種の絶滅に結びつく可能性がある。本件に関する予備的な文書があるが、一部、トウモロコシに関係のない部分もある（Ellstrand ほか、1999 年）。

48. 第 6 節 A 項で述べたように、一部のブタモロコシはトウモロコシとの繁殖性雑種を作ることができる。LUXURIANTES 節と亜種、*mexicana* と *parviglumis* の仲間であるすべてのブタモロコシは、メキシコとグアテマラのみで生育している（Sanchez-Gonzalez と Ruiz-Corral、1997 年）。トウモロコシとブタモロコシ、特に *Zea mays* ssp. *mexicana* は、お互いに作用し合うことがよくあると述べられている（Wilkes、1977 年）。また、添付書類 B に示すように、メキシコのトウモロコシ生産地区の在来種とともによく知られているブタモロコシの分布から、従来型トウモロコシ、在来種、ブタモロコシ間で遺伝子交換が行われた可能性が高いことが分かる（Sanchez-Gonzalez と Ruiz-Corral、1997 年、Serratos-Hernandez ほか、1997 年、Serratos-Hernandez ほか、2001 年）。しかし、主としてブタモロコシからトウモロコシに現れる *Zea* spp.間に限定された遺伝子拡散の証拠がいくつかある（Doebely 他、1987a）。今日まで、「トウモロコシ・ブタモロコシの中間体は本当の雑種、遺伝子導入や作物擬態なのかどうか」についての形態学的な中間性植物の遺伝子分析はない（Ellstrand 他、1999 年）。トウモロコシと *Tripsacum* 種との異系交雑が野生で発生するのかどうかについては分かっていない。

49. 遺伝子拡散に関して考慮しなければならない他の要素は、田舎の農業社会と零細農家によって行われている種子と従来型トウモロコシの改良の交換である。Louette（1997 年）による観察結果のように、田舎社会は、「広範囲で途切れることのない地域社会の流れがある」開放的なシステムである。したがって、メキシコの場合のように、「トウモロコシの在来種、改良種、あるいは遺伝子組み換え種は、ブタモロコシが生えている場所がかなり遠くに離れた場所であっても、その国のあらゆる場所に到達できる。」トウモロコシの生産に関する方針や戦略の変更とともに（Nadal 1999 年）人的要因によって改良トウモロコシ、ブタモロコシ、在来種間の遺伝子拡散の機会が増える可能性がある。

第7節 農業生態学

A. 栽培

50. トウモロコシは栽培植物化され中央アメリカ地域のほとんどのに広がっているが、現在では、栽培条件がこの作物に最も適している温暖地域で主に栽培されている(Norman ほか、1995 年)。

51. トウモロコシは一年生植物で、品種やその品種が栽培される環境によってライフサイクルの期間が決まる(Hanway、1966 年)。トウモロコシは、成長点が地上に出てから(葉が5~7枚程度の段階)6~8時間以上、零度以下の外気にさらされると生存できない。しかし、凍結による損傷度は、零度以下の温度の範囲、土壌の状態、残余部分、凍結温度にさらされた時間、風の向き、相対湿度、植物の発育程度で決まる。温帯域での晩春の軽い霜により葉やけを起こすが、霜で損傷を受けた葉の部分は成熟するまで残っているので、トウモロコシはでこぼこになるが、致命的な損傷には至らない。トウモロコシは、成熟に必要な湿度と霜が降りない日の日数などの条件が揃えば、温帯域でよく育つ。霜の降りない日の日数は、長さの異なるライフサイクルのトウモロコシが育つことのできる緯度の影響を受ける。100~115日で相対的に成熟するトウモロコシは、主として米国のコーンベルトで栽培されている。トウモロコシは、天候、地形、水質、土壌の種類によって成熟期が異なるので、東と西の地域で同時に栽培されることはない(Hallauer、2000年の中のTroyer、1994年)。

52. 熱帯地方では、標高の関係でトウモロコシの成熟が早い。現代の品種は低い穂を持ち分げつが抑制されているのに対し、熱帯の在来種には、3~5本の穂と腋生の分げつが見られる(Norman ほか、1995年)。熱帯においては、オキシゾル、ウルチゾル、アルフィゾル、インセプティゾルがトウモロコシの栽培に最も適しているが、トウモロコシは熱帯地方では砂地から粘土層まで幅広い土壌に順応する。特に注意しなければならないのは、熱帯の酸性土壌におけるアルミニウムの毒性のトウモロコシへの影響である。この問題はライミングで解決できる。「オキシゾルの心土に石灰を深く練り込めば、アルミニウムの毒性に対処でき、トウモロコシの根の深さの問題も改善でき、乾燥期にも耐えられる」(Norman ほか、1995年)。

53. メキシコの農地については、様々な生態学条件を持っている。すなわち、海面から標高2800メートルまで、強烈な乾燥期から湿気の多い季節まで、水はけのよい土壌から水はけの悪い土壌まで、平坦地から急な斜面まで、浅層土壌から深層土壌まで、太陽の放射線の弱い場所から強い場所まで、早魃、風害や霜害などである。

54. 極貧農家は、大体はコルトバ山脈に住むインディオである。白インゲンマメ、カボチャ、グレーンアマランスなどは、主食を補うものとして、この地域の住民が栽培植物化し

たものである。また彼らは、トウモロコシ、マメ、カボチャ、グリーンアマランス、樹木や一部の耐性のあるハーブ種の共生、間作、繋ぎ作に関する耕作地として、典型的な「ミルパ耕作システム」を開発した。この農民社会の孤立がトウモロコシの生殖質の多様性を大きく進化させることになり、この多様性はインシチュー法とエクスシチュー法（生殖質バンク）を使って保存されている。トウモロコシと他の作物との間作は、低開発国の多くの地域で行われている（Norman ほか、1995 年）。間作の継続により、生態学の観点から重要であるトウモロコシの栽培と管理レベルが変化する可能性がある。

B. 自然播種および雑草性

55. トウモロコシは、その種子を播種するには人間の仲介が必要で、長い間、栽培植物化されていたために、野生として生き残る能力を失ってしまった。前年に収穫されたトウモロコシの種子は、越冬し翌年に発芽するが、本体は、草としては生存できない。前年にトウモロコシを栽培した大豆畑に、トウモロコシが残っていることはよくあることだ。鋤や除草剤を使って大豆畑のトウモロコシを取り除く作業を行うが、翌年まで残って実をつけることはまずない。農業において自然播種は一般的であるが、自然播種を操作することは簡単にできる。また、トウモロコシは、栽培されている耕地を除いて、継続して繁殖はできない。トウモロコシは、自然環境においては非侵襲性植物である（Dould、1968 年）。雑草とは対照的に、トウモロコシには、殻に覆われた穂芯のついた雌花のある花序（穂）がある。したがって、個々の核心の種子の拡散は、自然には行われぬ。しかし、トウモロコシの個々の核心は、作物を収穫する際や穀物を収穫地から貯蔵施設へ運搬する際の農作業によって畑や主要な道路に配布されることがある（Hallauer、2000 年）。

C. 土壌生態学（トウモロコシ根圏の微生物学）

56. トウモロコシの根系には、細菌、菌類、放線菌などの微生物（Vega-Segovia と Ferrera-Cerrato、1996a）原生動物やダニが共生しており、これらが土壌改良因子の役割を果たしている。最も高度な微生物個体群は細菌で、菌類や放線菌類がこれに続く。これらすべての微生物は、食物循環や植物の成長に必要な栄養の効用など土壌生態学上重要である。また、これらの微生物有機体は、土壌病原体に対しての根系の保護に役立っている。

57. 微生物活動とその生理学についてより詳しく理解するための研究が一部進んでいる。例えば、いくつかのトウモロコシ栽培品種とブタモロコシに発見されている *Azotobacter*、*Beijerenckia*、*Azospirillum* などの遊離型窒素固定細菌に関するものである（Gonzalez-Chavez ほか、1990 年、Gonzalez-Chavez と Ferrera-Cerrato、1995 年、Vega-Segovia と Ferrera-Cerrato、1996b 年）。

58. 菌根（AMF）の共生に関する資料には、菌類が特定のトウモロコシの遺伝子型と関係していることが記載されている（Gonzalez-Chavez、ならびに Ferrera-Cerrato、1989 年、

Gonzalez-Chavez と Ferrera-Cerrato、1996 年)。ある AMF は、様々なトウモロコシの在来種やブタモロコシと共生する能力があるという報告もある(Santamaria と Ferrera-Cerrato、1996 年、Benitez ほか、未発表データ)。これらの資料はすべてメキシコの農業に利用されている。この共生関係は、根の新陳代謝を増やして、磷の取り込みを改善するという効果がある。

59. トウモロコシの非常な多様性には、コルドバ山脈のミルパシシステム(焼畑農法)が密接に関係している。その例のひとつに、オアハカ州の Mixe Sierra 地方のトウモロコシを使って改良した環境適応品種がある。その支柱根はかなり発達しており、窒素固定細菌が産生する粘液物質で覆われている(R. Ferrera-Cerrato の所感)。

60. トウモロコシの栽培地において農業的に価値のある微生物を特定するために、土壌生態学の研究が行われている(Perez-Moreno と Ferrera-Cerrato、1997 年)。今日では、トウモロコシの収穫量を増やすために、これらの微生物が研究されている。また、同じ目的で、選択育種と栄養管理についても研究が行われている。

D. トウモロコシと虫の相互作用

61. 添付書類 C に、トウモロコシに関係のある一般的な害虫と病原体のリストを掲載した。

SECTION VIII - REFERENCES

- Aguirre G., J. A., M. R. Bellon and M. Smale. 1998. A regional Analysis of Maize Biological Diversity in Southeastern Guanajuato, Mexico. CIMMYT Economics Working Paper 98-06. Mexico, D. F.: CIMMYT.
- Anthony J., W.L. Buhr, D. Ronhovde, G. Genovesi, D. Lane, T. Yingling, R. Aves, K. Rosato M. and Anderson P. 1997. Transgenic maize with elevated 10 KD zein and methionine. In: W. Cram (ed.) Sulphur Metabolism in Higher Plants: Molecular, Ecophysiological and Nutrition Aspects Backhuys Publishers. pp. 295-297.
- Avila, G. and A. G. Brandolini. 1990. I Mais Boliviani, p.99. Instituto Agronomico per L'oltemare, Firenze, Italia.
- Beadle, G.F. 1986. The origin of corn. Scientific American 254(8): 80-86.
- Bellon, M. R., M. Smale, A. Aguirre, S. Taba, F. Aragón, J. Díaz and H. Castro. 2000. Identifying Appropriate Germplasm for Participatory Breeding: An Example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. CIMMYT. Economics Working Paper 00-03. México, D. F.: CIMMYT.
- Benítez, L. J. M., R. Ferrera-Cerrato, A. Alarcón and F. Cárdenas. Simbiosis micorrizica en diferentes razas de maiz en México (Datos no publicados).
- Benson, G. O. and R. B. Pearce. 1987. Corn Perspective and Culture. In: S. A. Watson and P. E. Ramstad (eds.). Corn: Chemistry and Technology. Amer. Assoc. of Cereal Chemistry. St. Paul, MN. pp 1-29.
- Benz, B. F. 1986. Racial systematics and the evolution of mexican maize. In: L. Manzanilla (ed.). Studies in the Neolithic and Urban Revolutions. B.A.R. International Series 349. pp. 121-136.
- Bergvinson, D., M. Willcox and D. Hoisington. 1997. Efficacy and deployment of transgenic plants for stemborer management. Insect Sci. Applic. 17: 157-167.
- Bernard S. and D.C. Jewell. 1985. Crossing maize with sorghum, Tripsacum and millet: the products and their level of development following pollination. Theor. Appl. Genet. 70 : 474-483.
- Bird, R. McK. 1978. A name change for Central American teosinte. Taxon 27: 361- 363.
- Brandolini, A. 1968. European races of corn . Ann. Corn. Sorghum Res. Conf. Proc. 24:36-48.
- Briger, F. G., J. T. A. Gurgel, E. Paterniani, A. Blumenschein and M. R. Alleoni. 1958. Races of maize in Brazil and other eastern South American countries. Publication 593. NAS-NRC, Washington, D. C.
- Brown, W. L. 1953. Maize of the West Indies. Trop. Agric. 30:141-170.

- Burson, B.L., P.W. Voight, R. A. Sherman and C. L. Dewald. 1990. Apomixis and sexuality in eastern gamagrass. *Crop Sci.* 30 : 86-89.
- Carlson, W. R. 1988. The cytogenetics of corn. In: G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). *Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18.* American Society of Agronomy: Madison, WI. pp. 259-344.
- CIMMYT, 1994. *World Maize Facts and Trends. Maize Seed Industries Revisited: Emerging Roles of the Public and Private Sectors.* México, D. F.
- Coe, E. H. Jr., M. G. Neuffer and D. A. Hoisington. 1988. The genetics of corn. In: G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). *Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18.* American Society of Agronomy: Madison, WI. pp. 81-258.
- Costa-Rodriguez, L. 1971. Races of maize in Portugal. *Agron. Lusit.* 31:239-284.
- deWet, J. M. J. and J. R. Harlan. 1972. Origin of maize. The tripartite hypothesis. *Euphytica* 21: 271-279.
- deWet, J. M. J., J.R. Harlan, L.M. Engle and C.A. Grant. 1973. Breeding behaviour of maize-Tripsacum hybrids. *Crop Sci.* 13 : 254-256.
- deWet, J. M. J., D. H. Timothy, K. W. Hilu and G. B. Fletcher. 1981. Systematics of South American *Tripsacum* (Gramineae). *Amer. J. Bot.* 68(2): 269-220.
- deWet, J. M. J., J. R. Harlan and D. E. Brink. 1982. Systematics of *Tripsacum dactyloides* (Gramineae). *Amer. J. Bot.* 69(8): 1251- 1257.
- deWet, J. M. J., D. E. Brink and C. E. Cohen. 1983. Systematics of *Tripsacum* section *Fasciculata* (Gramineae). *Amer. J. Bot.* 70(8): 1139-1146.
- Doebley, J. 1983. The maize and teosinte male inflorescence: a numerical taxonomic study. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 70: 32-70.
- Doebley, J. 1984. Maize introgression into teosinte. A reappraisal. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 71: 1100-1113.
- Doebley, J. 1990. Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *BioScience* 40(6): 443-448.
- Doebley, J. and H. H. Iltis. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. *Amer. J. Bot.* 67(6): 982-993.
- Doebley, J. and A. Stec. 1991. Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte. *Genetics* 129: 285-295.
- Doebley, J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1984. Isoenzymatic variation in *Zea* (Gramineae). *Syst. Bot.* 9(2): 203-218.
- Doebley, J., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1987a. Patterns of isozyme variation between maize and Mexican annual teosinte. *Econ. Bot.* 41(2): 234-246.
- Doebley, J., W. Renfro and A. Blanton. 1987b. Restriction site variation in the *Zea* chloroplast genome. *Genetics* 117: 139-147.

- Doebley, J., A. Stec, J. Wendel and M. Edwards. 1990. Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F2 population: implications for the origin of maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 9888-9892.
- Duncan, D. R., M. E. Williams, B.E. Zehr and J. M. Widholm. 1985. The production of callus capable of plant regeneration from immature embryos of numerous *Zea mays* genotypes. *Planta* 165: 322-331.
- Ellstrand, N. C., H. C. Prentice and J.F. Hancock. 1999. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 30: 539-563.
- Eubanks, M. 1995. A cross between two maize relatives: *Tripsacum dactyloides* and *Zea diploperennis* (Poaceae). *Economic Botany* 49 (2): 172-182.
- Eubanks, M. 1998. United States Patent 5750828. Method and materials for conferring tripsacum genes in maize.
- Eubanks, M. 2000. International Application Published under the Patent Cooperation Treaty (PCT) WO00/07434. Novel genetic materials for transmission into maize.
- Evans, M. M. S. and J. L. Kermicle. 2001. Teosinte crossing barrier1, a locus governing hybridization of teosinte with maize. *Theor. Appl. Genet.* 103 : 259-265.
- Fedoroff, N. 2000. Transposons and genome evolution in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97: 7002-7007.
- Fedoroff, N. and Botstein, D. 1992. *The dynamic genome*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY.
- Freeling, M. and V. Walbot. 1994. *The maize handbook*. Springer-Verlag New York, Inc.
- Galinat, W. C. 1977. The origin of corn. In: G. F. Sprague and J.W. Dudley (eds.). *Corn and Corn Improvement*. Amer. Soc. Agron. Madison, WI. pp 1- 47.
- Galinat, W. C. 1988. The origin of corn. In: G.F. Sprague and J.W. Dudley (eds.). *Corn and Corn Improvement*. Agronomy Monographs No.18. American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 1-31.
- González, R. L. P. and R. Ferrera-Cerrato. 1995. Microbiology of adventitial roots of oloton corn (*Zea mays* L.) Proceedings of First International Meeting on Microbial Ecology. CINVESTAV-IPN. México, D. F.
- González-Chávez, M. C. and R. Ferrera-Cerrato. 1989. Distribución de la endomicorriza (VA) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en un andosol del Estado de México. *Micol. Neotrop. Apl.* 2:115-121.
- González-Chávez M. C. and R. Ferrera-Cerrato. 1996. Ecología de le endomicorriza vesículo arbuscular en un agrosistema sostenible de maíz en el trópico húmedo de México. *Micol. Neotrop. Apl.* 9:53-66.
- González-Chávez, M. C., R. Ferrera-Cerrato, R. García E. and A. Martínez G. 1990. La fijación biológica de nitrógeno en un agroecosistema de bajo ingreso externo de energía en Tamulte de las Sabanas, Tabasco. *Agrociencia. Serie Agua-Suelo-Clima.* 1:133-153.
- Goodman, M. M. 1988. The history and evolution of maize. *CRC Critical Rev. Plant Sci.* 7(3): 197-220.

- Goodman, M. M. and W. L. Brown. 1988. Races of corn. In: G.F. Sprague and J.W. Dudley (eds.). Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18. American Society of Agronomy: Madison, WI. pp. 33-79.
- Gould, F. W. 1968. Grass systematics. McGraw Hill, N.Y., USA.
- Grant, V. J., W. H. Hatcher, D.H. Timothy, C. Cassalet D. and L.M. Roberts. 1963. Races of maize in Venezuela. NAS-NRC Publication 1136. Washington DC.
- Grimanelli, D., O. Leblanc, E. Espinosa, E. Perotti, D. Gonzalez-de-León and Y. Savidan. 1998. Non-mendelian transmission of apomixis in maize-Tripsacum hybrids caused by a transmission ratio distortion. *Heredity* 80 : 40-47.
- Grobman, A., W. Salhuana and R. Sevilla, with P.C. Mangelsdorf. 1961. Races of maize in Peru. NAS-NRC Publication 915. Washington, D. C.
- Grossniklaus, U., A. Koltunow and M. van-Lookeren-Campagne. 1998. A bright future for apomixis. *Trends in Plant Science* 3(11) : 415-416.
- Gutiérrez-Nava, M. L., C. A. Warren, P. León and V. Walbot. 1998. Transcriptionally active MuDR, the regulatory element of the mutator transposable element family of *Zea mays*, is present in some accessions of the Mexican land race *Zapalote chico*. *Genetics* 149: 329-346.
- Hageman, R. H. and R. J. Lambert. 1988. The use of physiological traits for corn improvement. In: G.F. Sprague and J.W. Dudley (eds.). Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18. American Society of Agronomy: Madison, WI. pp. 431-462.
- Hallauer, A. R. 2000. Potential for outcrossing and weediness of genetically modified insect protected corn. APHIS-USDA.
- Hanna, W. W. 1995. Use of apomixis in cultivar development. *Advances in Agronomy* Vol. 54.
- Hanway, J. J. 1966. How a corn plant develops. Spec. Rep. No. 48. Iowa State Univ. Coop. Extension Service. Ames, IA.
- Harlan, J.R. 1992. Crops and man. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Madison, WI. USA. 284 pp. Second edition.
- Hatcher, W. H. 1957. Races of maize in Cuba. NAS-NRC Publication 453. Washington, D. C.
- Helentjaris, T., G. King, M. Slocum, C. Siedenstrang, and S. Wegman. 1985. Restriction fragment polymorphisms as probes for plant diversity and their development as tools for applied plant breeding. *Plant Mol. Biol.* 5: 109-118.
- Helentjaris, T., M. Slocum, S. Wright, A. Schaefer and J. Nienhuis. 1986a. Construction of genetic linkage maps in maize and tomato using restriction fragment length polymorphisms. *Theor. Appl. Genet.* 72:761-769.
- Helentjaris, T., D. F. Weber and S. Wright. 1986b. Use of monosomics to map cloned DNA fragments in maize. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 83 : 6035-6039.

- Hellmich, R. L., B. D. Siegfried, M. K. Sears, D. E. Stanley-Horn, M. J. Daniels, H. R. Mattila, T. Spencer, K. G. Bidne and L. C. Lewis. 2001. Monarca larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 98: 11925-11930.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1972. Exploración etnobotánica en maíz. Fitotecnia Latinoamericana 8 (2):46-51. Reimpreso en: E. Hernández X. 1987. Xolocotzia, Tomo II. UACH. Chapingo, México. pp.751-756.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1988. Experiences in the Collection of Maize Germplasm. In: Recent Advances in the Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop. CIMMYT, México, D. F. pp. 1-8
- Hernández-Xolocotzi, E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 1:3-30.
- Hoisington, D., G. M. Listman and M.L. Morris. 1998. Varietal development: Applied Biotechnology. In: M. L. Morris (ed.) Maize Seed Industries in Developing Countries, Lynne Rienner Publishers, Inc. and CIMMYT, Int. pp. 77-102.
- Iltis, H. H. 1983. From teosinte to maize. The catastrophic sexual transmutation. Science 222: 886- 894.
- Iltis, H. H. and B.F. Benz. 2000. *Zea nicaraguensis* (Poaceae), a new teosinte from Pacific Coastal Nicaragua, Novon 10 : 382-390.
- Iltis, H. H. and J. F. Doebley. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. Amer. J. Bot. 67(6): 994- 1004.
- Iltis, H. H., J. F. Doebley, R. Guzman M. and B. Pazy. 1979. *Zea diploperennis* (Gramineae): a new teosinte from Mexico. Science 203: 186-188.
- Instituto Nacional de Ecología and Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (INE-CONABIO). 2001. Mexican Approach: Overview and Status. LMOs and the Environment: An International Conference, Raleigh, North Carolina, November 2001 (OECD, in preparation).
- Kato Y., T. A. 1976. Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrader Kuntze) in relation to their origin and evolution. Massachusetts Agric. Expt. Sta. Bull. 635.
- Kato Y., T. A. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. Evol. Biol. 17: 219-253.
- Kato Y., T. A. and A. Lopez R. 1990. Chromosome knobs of the perennial teosintes. Maydica 35: 125-141.
- Kermicle, J. L., 1997, Cross incompatibility within the genus *Zea*. In: J.A. Serratos, M.C. Willcox and F. Castillo (eds.) Gene Flow among Maize Landraces, Improved Maize Varieties, and Teosinte: Implications for Transgenic Maize. Mexico, D. F. CIMMYT. pp.40-43.
- Kermicle, J. L. and J.O. Allen, 1990, Cross-incompatibility between maize and teosinte. Maydica 35:399-408.
- Kiesselbach, T. A. 1980. The structure and reproduction of corn. Reprint of the 1949, Research Bulletin No. 161 from the Agricultural Experiment Station, University of Nebraska Press. Lincoln, NE. p. 93.

- Kindiger, B. K. and V. Sokolov. 1998. United States Patent 5,710,367. Apomictic maize.
- Leblanc, O., D. Grimaneli, D. González-de-León and Y. Savidan. 1995. Detection of the apomictic mode of reproduction in maize-Tripsacum hybrids using maize RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 90 : 1198-1203.
- Louette, D. 1997. Seed exchange among farmers and gene flow among maize varieties in traditional agricultural systems. In: A. Serratos, M.C. Willcox and F. Castillo (eds.). *Gene Flow among Maize Landraces, Improved Maize and Teosinte: Implications for Transgenic Maize*. CIMMYT, Mexico, D. F. pp. 56-66.
- Louette, D. and M. Smale. 1998. Farmers' Seed Selection Practices and Maize Variety Characteristics in a Traditionally-Based Mexican Community. CIMMYT Economics Working Paper No. 98-04. Mexico, D. F.: CIMMYT.
- Losey, J. E., L. S. Rayor and M. E. Carter. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 339: 214.
- Mangelsdorf, P. C. 1974. *Corn. Its Origin, Evolution and Improvement*. Harvard Univ. Press, Cambridge, MA.
- Mangelsdorf, P. C. and R. G. Reeves. 1939. The origin of Indian corn and its relatives. *Texas Agric. Expt. Sta. Bull.* 574.
- Mangelsdorf, P. C., L. M. Roberts and J. S. Rogers. 1981. The probable origin of annual teosintes. *Bussey Inst., Harvard Univ. Publ.* 10: 1-69.
- Márquez-Sánchez, F. 1993. Mejoramiento genético de maíces criollos mediante retrocruza limitada. In: *El maíz en la década de los 90, Memoria del simposio*. SARH, Jalisco, México. pp. 16-19.
- Marvier, M. 2001. Ecology of transgenic crops. *Am. Sci.* 89: 160-167.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 6080-6084.
- McClintock, B. 1929. Chromosome morphology in *Zea mays*. *Science* 69: 629.
- McClintock, B. 1934. The relation of a particular chromosomal element to the development of the nucleoli in *Zea mays*. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.* 21: 294-328.
- McClintock, B. 1944a. The relation of homozygous deficiencies to mutations and allelic series in maize. *Genetics* 29: 478-502.
- McClintock, B. 1944b. *Maize Genetics*. Carnegie Inst. Wash. Yearbook 43: 127-135.
- McClintock, B. 1944c. Breakage-fusion-bridge cycle induced deficiencies in the short arm of chromosome 9. *Maize Genet. Coop. Newslett.* 18: 24-26.
- McClintock, B. 1945. Cytogenetic studies of maize and *Neurospora*. Carnegie Inst. Washington. Yearbook 44: 108-112.

- McClintock, B. 1959. Genetic and cytological studies of maize. Carnegie Inst. Washington. Yearbook 58: 452-456.
- McClintock, B. 1960. Chromosome constitutions of Mexican and Guatemalan races of maize. Carnegie Inst. Washington. Yearbook 59: 461-472.
- McClintock, B. 1978. Significance of chromosome constitutions in tracing the origin and migration of races of maize in the Americas. In: D. B. Walden (ed.). *Maize Breeding and Genetics*. J. Wiley, New York. pp. 159-184.
- McClintock, B., T. A. Kato Y. and A. Blumenschein. 1981. Chromosome Constitutions of Races of Maize. Its Significance in the Interpretation of Relationships between Races and Varieties in the Americas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico.
- Mochizuki, N. 1968. Classification of local strain of maize in Japan and selection of breeding materials by application of principal component analysis. In: *Symposium on Maize Production in Southeast Asia*. Agriculture Forestry and Fisheries Research Council, Ministry of Agriculture and Forestry, Tokyo. pp. 173-178
- Morris, M. L. 1998. Overview of the world maize economy. In: M. L. Morris (ed.). *Maize Seed Industries in Developing Countries*. Lynne Rienner Publishers, Inc. and CIMMYT, Int. pp. 13-34.
- Nadal, A. 1999. El maíz en México: Algunas implicaciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. In: "Evaluación de los efectos ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte". Comisión para la Cooperación Ambiental. Montréal, Québec, Canada. <http://www.cec.org>
- Nikolov, Z. L. 1999. Production of recombinant proteins in transgenic plants. Department of Food Science and Human Nutrition, and Department of Agricultural and Biosystems Engineering. Iowa State University, Ames, IA.
- Norman, M. J. T., C.J. Pearson and P.G.E. Searle. 1995. *The ecology of tropical food crops*. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain. pp. 126 - 144. Second edition.
- Obrycki, J. J., J. E. Losey, O. R. Taylor and L. C. H. Jesse. 2001. Transgenic insecticidal corn: Beyond insecticidal toxicity to ecological complexity. *Bioscience* 51: 353-361.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 1993a. *Safety Consideration for Biotechnology: Scale-up of Crop Plants*. OECD, Paris.
- OECD. 1993b. *Traditional Crop Breeding Practices: An Historical Review to Serve as a Baseline for Assessing the Role of Modern Biotechnology*. OECD, Paris.
- OECD. 1995a. *Commercialisation of Agricultural Products Derived Through Modern Biotechnology: Survey Results*. OECD, Paris.
- OECD. 1995b. *Report of the OECD Workshop on the Commercialisation of Agricultural Products Derived Through Modern Biotechnology*. OECD, Paris.
- Ortega-Pazcka, R. 1973. Variación de maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas, Mex. 1946-1971. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados Chapingo, México. 199 pp.

- Ortega-Pazcka, R. 1980. Resultados preliminares del reestudio de las razas mexicanas de maíz. Resúmenes del VIII Congreso Nacional de Fitogenética. México, pp. 68-69.
- Ortega-Pazcka, R., C. Solano S., F. Aragón C. Y J. Bustamante L. 1988. Trabajos recurrentes de colecta de maíces nativos de Oaxaca. Resúmenes del XII Congreso de Fitogenética. 18-22 de Julio, 1988. Chapingo México. 218 pp.
- Paterniani, E., and M. M. Goodman. 1977. Races of maize in Brazil and adjacent areas. CIMMYT, México, D. F.
- Pérez-Moreno, J. and R. Ferrera-Cerrato. 1997. Mycorrhizal interactions with plants and soil organisms in sustainable agroecosystems. In: L. Brussard and R. Ferrera-Cerrato (eds.). Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. CRC Lewis Publishers. Boca Raton. FL. pp. 91-112.
- Pollak, L. M. and P.J. White. 1995. Corn as a Food Source in the United States: Part I. Historical and Current Perspectives. Cereal Foods World. Amer.Assoc. of Cereal Chemists. St. Paul, MN. pp.749-754.
- Quist, D. and I. H. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landrace in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414: 541-543.
- Randolph, L. F. 1955. History and origin of corn. II. Cytogenetic aspects of the origin and evolutionary history of corn. In: G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). Corn and Corn Improvement. Academic Press, New York. pp. 16- 61.
- Randolph, L. F. 1959. The origin of maize. *Indian J. Genet. Plant Breed.* 19: 1-12.
- Roberts, L. M., V. J. Grant, R. Ramírez E., W.H. Hatheway and D.L. Smith, with P.C. Mangelsdorf. 1957. Races of maize in Colombia. NAS-NRC Publication 510. Washington, D. C.
- Rooney, L. W. and S. O. Serna-Saldivar. 1987. Food uses of whole corn and dry milled fractions. In: S. A. Watson and P.E. Ramstad (eds.). Corn: Chemistry and Technology. Amer. Assoc. of Cereal Chemistry. St. Paul, MN. pp. 399-429.
- Sánchez-González, J. J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. Ph. D. Diss. North Carolina State University, Department of Crop Science. Raleigh, NC. 187 pp.
- Sánchez-González, J. J. and J. A., Ruiz-Corral. 1997. Distribución del teocintle en México. In: J. A. Serratos, M. C. Willcox and F. Castillo (eds.). Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. CIMMYT, México, D. F.
- Sánchez-González, J. J., T. A. Kato-Yamamake, M. Aguilar-Sanmiguel, J. M. Hernández-Casillas, A. López-Rodríguez, y J. A. Ruiz-Corral. 1998. Distribución y caracterización del teocintle. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Libro técnico No. 2, CIPAC-INIFAP-SAGAR, Guadalajara, Jalisco, México.
- Santamaría, R. S. and R. Ferrera-Cerrato. 1996. Adición de vermicomposta e inoculación de endomicorriza en seis variedades criollas de maíz cultivadas en tepetate. Memorias del Tercer Simposium Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. pp. 245-250.
- Sato, T. and Y. Yoshida. 1956. Characteristics of the oriental maize. In: H. Kihara (ed.). Land and Crops of Nepal Himalaya Vol. 2 Kyoto: Fauna and Flora Res. Soc., Kyoto University. pp. 375-530.

- Savidan, Y. and J. Berthaud. 1994. Maize x *Tripsacum* hybridization and the potential for apomixis transfer for maize improvement. In: Y. P. S. Bajaj (ed.) *Biotechnology in Agriculture and Forestry* Vol. 25., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany.
- Savidan, Y., D. Grimanelli, E. Perotti and O. Leblanc. 1998. International Application Published under the Patent Cooperation Treaty (PCT) WO98/36090. Means for identifying nucleotide sequences involved in apomixis.
- Sears, M. K., R. L. Hellmich, D. E. Stanley-Horn, K. S. Oberhauser, J. M. Pleasants, H. R. Mattila, B. D. Siegfried and G. P. Dively. 2001. Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98: 11937-11942.
- Sederoff, R. R., C. S. Levings III, D. H. Timothy and W. W. L. Hu. 1981. Evolution of DNA sequence organization in mitochondrial genomes of *Zea*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 78(10): 5953-5957.
- Serratos-Hernández, J. A., M. C. Willcox and F. Castillo. 1997. Gene Flow among Maize Landraces, Improved Maize and Teosinte: Implications for Transgenic Maize. CIMMYT, Mexico, D. F.
- Serratos-Hernández, J. A., F. Islas-Gutierrez and Berthaud. 2001. Preliminary definition of risk zones for transgenic maize in Mexico by means of geographic information systems. Internal Report, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, Mexico, Mexico.
- Shaw, R. H. 1988. Climate requirement. In: G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). *Corn and Corn Improvement*. Amer. Soc. Agron. Madison, WI. pp. 609-633.
- Smith, B. D. 1995. *The emergence of Agriculture*. Scientific American Library, New York. 231 pp.
- Smith, J. S. C., M. M. Goodman and R. N. Lester. 1981. Variation within teosinte. I. Numerical analysis of morphological data. *Econ. Bot.* 35(2): 187-203.
- Smith, J. S. C., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1984. Numerical analysis of allozyme data. *Econ. Bot.* 38(1): 97-113.
- Talbert, L. E., J. F. Doebley, S. Larson and V. L. Chandler. 1990. *Tripsacum andersonii* is a natural hybrid involving *Zea* and *Tripsacum*: molecular evidence. *Amer. J. Bot.* 77(6): 722-726.
- Timothy, D. H., B. Peña V. and R. Ramírez E. with W.L. Brown and E. Anderson. 1961. Races of maize in Chile. NAS-NRC Publication 847. Washington, DC.
- Timothy, D. H., W. H. Hatheway, V.J. Grant, M. Torregroza C., D. Sarria V. and Varela A. 1963. Races of maize in Ecuador. NAS-NRC Publication 975. Washington, DC.
- Timothy, D. H., C. S. Levings III, D. R. Pring, M. F. Conde and J. L. Kermicle. 1979. Organelle DNA variation and systematic relationships in the genus *Zea*: Teosinte. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 76(9): 4220-4224.
- Tsaftaris, A. S. 1995. *The biology of maize (Zea mays, L.)*. Document XI/754/95 European Commission.
- Turrent-Fernández, A., N. Gómez-Montiel, J. L. Ramírez-Díaz, H. Mejía-Andrade, A. Ortega-Corona and M. Luna-Flores. 1997. Plan de investigación del sistema maíz-tortilla en los Estados Unidos Mexicanos. Internal Document, INIFAP-SAGAR.

- Vavilov, N. I. 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated from the Russian by K. Starr Chester. The Ronald Press Co. New York. 94 pp.
- Vega-Segovia, M.L. and R. Ferrera-Cerrato. 1996a. Microorganismos del rizoplano del maíz y frijol inoculados con mutantes de *Rhizobium* y *Azospirillum*. In: J. Pérez-Moreno and R. Ferrera-Cerrato (eds.) Avances de Investigación, Área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-IRENAT, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp. 9-17.
- Vega-Segovia, M. L. and R. Ferrera-Cerrato. 1996b. Microorganismos del mucigel, rizoplano y rizosfera del maíz olotón de la región Mixe, Oaxaca. In: J. Pérez-Moreno and R. Ferrera-Cerrato (eds.) Avances de Investigación, Área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-IRENAT, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. pp. 41-49.
- Walbot, V. and J. Messing. 1988. Molecular genetics of corn. In: G.F. Sprague and J.W. Dudley, (eds.). Corn and Corn Improvement. Agronomy Monographs No.18. American Society of Agronomy: Madison, WI. pp. 389-430.
- Wan, Y., J. M. Widholm and P. G. Lemaux. 1995. Type I callus as a bombardment target for generating fertile, transgenic plants. *Planta* 196: 7-14.
- Wang, R-L, A. Stec, J. Hey, L. Lukens and J. Doebley. 1999. The limits of selection during maize domestication. *Nature* 398: 236-239.
- Weatherwax, P. 1955. History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In: G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). Corn and Corn Improvement. Academic Press, New York. pp. 1- 16.
- Wellhausen, E. J. 1988. The indigenous maize germplasm complexes of Mexico: Twenty-five years of experience and accomplishments in their identification, evaluation and utilization In: Recent Advances in The Conservation and Utilization of Genetic Resources: Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop, CIMMYT, Mexico, D. F. pp. 17-28.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, and E. Hernandez X. 1952. Races of maize in Mexico. Bussey Inst., Harvard Univ., Cambridge.
- Wellhausen, E. J., A. Fuentes O. and A. H. Corso with P. C. Mangelsdorf. 1957. Races of maize in Central America. Publication 511. NAS-NRC, Washington, DC.
- White, P. J. and L. M. Pollak. 1995. Corn as a Food Source in the United States: Part II. Processes, Products, Composition and Nutrient Values. Cereal Foods World. Amer. Assoc. of Cereal Chemists. St Paul. MN. pp. 756-762.
- Wilkes, H. G. 1967. Teosinte: the closest relative of maize. Bussey Inst., Harvard Univ., Cambridge.
- Wilkes, H. G. 1977. Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. *Economic Botany* 31: 254-293.
- Willcox, M. C. and D. Bergvinson. 1997. Consideraciones para el maíz Bt en México. In: A. J. Hruska, and M. Lara-Pavón (eds.). Plantas transgénicas *Bacillus thuringiensis* en la agricultura mesoamericana, Zamorano. Academic Press, Tegucigalpa, Honduras C.A. pp. 108-114.

- Wraight, C. L., A. R. Zangerl, M. J. Carroll and M. R. Berenbaum. 2000. Absence of toxicity of *Bacillus thuringiensis* pollen to black swallowtails under field conditions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97: 7700-7703.
- Wu, S., A. L. Kriz and J. M. Widholm. 1994. Molecular analysis of two cDNA clones encoding acidic class I chitinase in maize. Plant Physiol. 105: 1097-1105.
- Zangerl, A. R., D. McKenna, C. L. Wraight, M. Carroll, P. Ficarello, R. Warner and M. R. Berenbaum. 2001. Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98: 11908-11912.

APPENDIX A: MAIZE BIOTECHNOLOGY

- A) For practical purposes maize biotechnology could be divided into two fields: genetic engineering and molecular genetics.
- B) Molecular genetics refers to the identification and location (genome mapping) of genes within the genome of organisms by means of molecular techniques that make use of the chemical properties of DNA (Hoisington *et al.*, 1998). The marker technologies presently available for genomics work are: 1) Restriction Fragment Length Polymorphisms (RFLPs); 2) Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs); 3) Sequence Tagged Sites (STSs); 4) Simple Sequence Repeats (SSRs); 5) Amplified Fragment Length Polymorphisms (AFLPs); and 6) Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs). These technologies have been applied in maize breeding through fingerprinting for identification of genotypes, monitoring genetic diversity and for the efficient management of genetic resources (Hoisington *et al.*, 1998). Other applications of molecular genetics and molecular markers are 1) Comparative Mapping, and 2) Marker Assisted Selection.
- C) Genetic engineering methodologies can make possible the insertion of foreign DNA, from organisms of different species, into another individual organism. In maize, at the commercial level, the introduction of foreign DNA has been successfully accomplished through a technique known as biolistics. In this technique, DNA coated microparticles are shot by means of an air compression device, to cells in plant tissue or callus. In the case of maize, embryogenic callus is used for bombardment with foreign DNA. To identify the cells that have taken up the foreign DNA in maize, a herbicide resistant selectable gene has been used. Fertile transgenic maize plants have also been produced using 1) PEG-mediated protoplast transformation; 2) electroporation of intact or partly degraded cells of immature embryos, callus or embryonic suspensions; 3) 'whiskers' technology; and 4) *Agrobacterium*-mediated transformation.
- D) At present there are two types of commercially released transgenic maize produced by means of genetic engineering: 1) Insect pest resistant maize or Bt-maize; and 2) Herbicide resistant maize. However, more research and development in this area is underway. Transgenic maize with elevated (10 KD) zein and methionine has been obtained (Anthony *et al.*, 1997). Antifungal proteins, such as chitinases and beta-1,3-glucanases, have been genetically engineered to attempt expression in the maize kernels with the aim to prevent the growth of *Aspergillus flavus* and the production of aflatoxins (Duncan *et al.*, 1985; Wu *et al.*, 1994; Wan *et al.*, 1995). Transgenic maize will serve as bioreactors for producing various biomolecules with applications in food, feed and the pharmaceutical industry (Nikolov, 1999).
- E) The complicated and plastic nature of organellar genomes especially those of maize mitochondria, requires special consideration for the stability of the cytoplasmic male sterility genes if they are used for preventing pollen formation. Equally these features of organelle genomes would also apply to any genes cloned into them (since recent developments indicate that organelles could be a better target for generating transgenic plants). Therefore, stable incorporation of a transgene into the plastid genome guarantees amplification of the transgene, potentially resulting in a very high level of foreign gene expression. Since chloroplast (and mitochondrial) genomes resemble the genomes of other organisms and are most probably evolutionarily related, the possible transfer of genes from

these organelles to microorganisms should be studied in the future if more and more transgenes are targeted to these organelles

- F) The great similarity between the chloroplastic genome and microbial genomes was one of the reasons for choosing the chloroplast as a target for transferring native microbial genes to plants. For instance since the transcriptional machinery of the plastid is prokaryotic in origin and its genome is relatively A-T rich, it was possible that native Bt toxin genes from *B. thuringiensis* might be efficiently expressed in this organelle without nuclear modification. In addition, plant cells may contain up to 50,000 copies of the circular plastid genome.
- G) Transposable elements are not expected to affect transgenes differently from their reported effects on non-modified genes of maize, unless sequences of the transposable element are contained in the inserted genetic material (Tsaftaris, 1995).
- H) The potential crossing of landrace maize germplasm with transgenic improved maize, hybrids or inbreds should be considered carefully since, for example in Mexico, it is well known the high incidence of transposable elements in landraces of maize (Gutiérrez-Nava *et al.*, 1998).
- I) Several investigations conducted by national and international research institutions have demonstrated that gene exchange between improved maize and landraces is a continuing process taking place in small farmers' corn fields. The report on the presence of transgenes in peasants' maize fields of Oaxaca (Quist and Chapela, 2001), have been further demonstrated by the Mexican government (INE-CONABIO, 2001), confirming that gene movement in traditional agriculture is an open system.

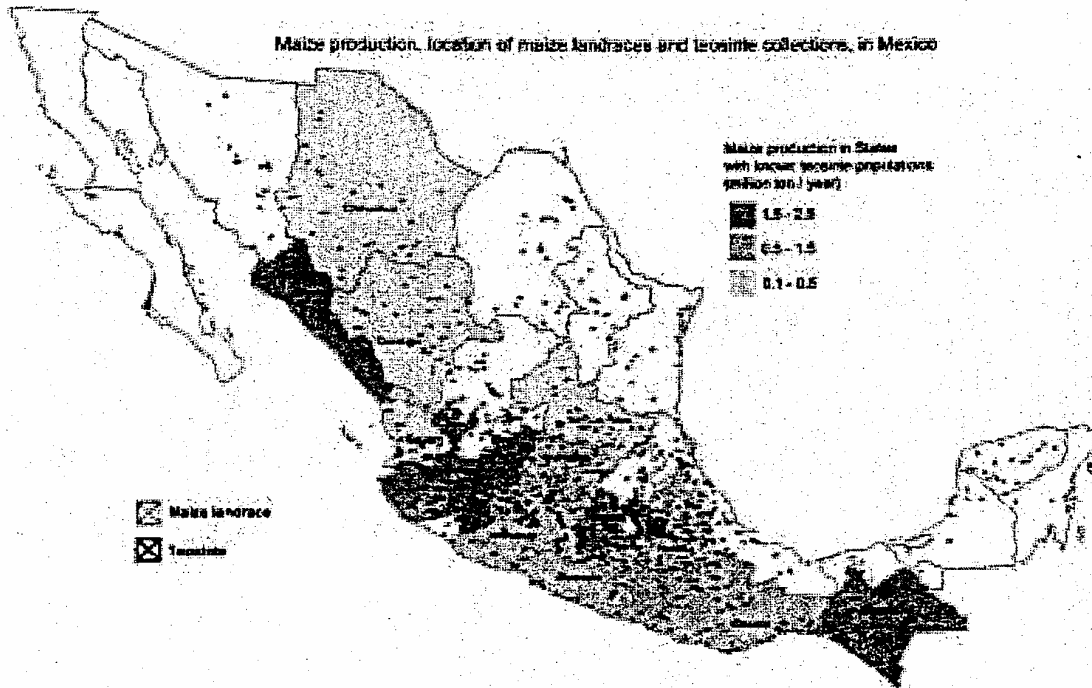
Weediness of transformed corn varieties

- J) Gene transformation is the acquisition by a cell of new gene(s) by the uptake of naked DNA, which in the case of maize can be by direct introduction of DNA. As stated before, the more common applications of gene transfer in corn are insect resistance or tolerance to herbicides. Herbicide tolerance is usually conferred by single genes that interact with key enzymes in important metabolic pathways. Insect resistance is conferred by the expression of an insecticidal protein from *B. thuringiensis*. The overall phenotype of transformed plants with these two types of genes is similar to the original phenotype: the reproductive organs (tassels and ears), duration of plant development, methods of propagation, ability to survive as a weed, will not change with these two types of genes.
- K) Gene exchange between cultivated corn and transformed corn would be similar to that which naturally occurs at the present time. Wind-blown pollen would move about among plants within the same field and among plants in nearby fields. Free flow of genes would be similar to that which occurs in cultivated corn. The transformed plants include individual genes, and depending on the relative expression of the transformed genes (relative levels of dominance for gene expression), plant architecture and reproductive capacities of the inter-crossed plants will be similar to non-transformed corn. With the transgenic maize that is available at this moment in the world, the chance that a weedy type of corn will result from inter-crossing of transgenic maize with cultivated conventional maize is remote.
- L) Out-crossing of transformed corn plants with wild relatives of corn will be the same as for non-transformed corn plants. Out-crossing with teosinte species will only occur where teosinte is present in Mexico, Guatemala and probably in some other places of Central America. Out-crossing with *Tripsacum* species is not known to occur in the wild.

Unintended effects

- M) The commercial release of transgenic maize expressing delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* has driven the interest of ecologists concerned with the evolution of pest resistance to pesticide plants (Bergvinson *et al.*, 1997; Willcox and Bergvinson, 1997; Marvier, 2001; Obrycki *et al.*, 2001). The evolution of pest resistance is commonly known in any system where negative selection occurs from the use of traditional chemical pesticides, including plants bred traditionally for pest resistance. Recently, an effect of pollen from transgenic maize on the monarch butterfly larvae, a non-target insect, has preliminarily been described (Losey *et al.*, 1999). However, recent studies in the field have shown a less dramatic effect on non-target organisms (Wraight *et al.*, 2000; Hellmich *et al.*, 2001; Sears *et al.*, 2001; Zangerl *et al.*, 2001).

APPENDIX B: DISTRIBUTION OF MAIZE LANDRACES AND TEOSINTE IN MEXICO



Source: Serratos-Hernández *et al.*, 2001.

**APPENDIX C: COMMON DISEASES AND INSECT PESTS OF MAIZE
(CIMMYT AND DGSV GUIDES)**

Maize	Insect pests	Diseases
Stalk	<p>Termites (<i>Coptotermes formosanus</i>), Sugarcane borer (<i>Diatraea saccharalis</i>), Southwestern corn borer (<i>Diatraea grandiosella</i>), Neotropical corn borer (<i>Diatraea lineolata</i>), Asian maize borer (<i>Ostrinia furnicalis</i>), Spotted sorghum stem borer (<i>Chilo partellus</i>), African maize stem borer (<i>Busseola fusca</i>), African pink borer (<i>Sesamia calamistis</i>), African sugarcane borer (<i>Eldona saccharina</i>), Maize stem weevils (<i>Cilindrocopturus adpersus</i>), European corn borer (<i>Ostrinia nubilalis</i>).</p>	<p>Charcoal rot (<i>Macrophomina phaseoli</i>), Diplodia stalk rot (<i>Diplodia maydis</i>), Gibberella stalk rot and Fusarium stalk rot (<i>Fusarium</i> spp), Brown spot (<i>Physoderma maydis</i>), Black bundle disease (<i>Cephalosporium acremonium</i>), Late wilt (<i>Cephalosporium maydis</i>), Maize bushy stunt disease (MBSD), Botryodiplodia stalk rot (<i>Botryodiplodia theobromae</i>), Maize lethal necrosis (simultaneous infection of maize chlorotic mottle virus and either maize dwarf mosaic virus or wheat streak mosaic virus), Maize chlorotic mottle virus (MCMV), Corn stunt disease (<i>Spiroplasma</i>), Pythium stalk rot (<i>Pythium aphanidermatum</i>, <i>Pythium</i> spp.), Erwinia stalk rot (<i>Erwinia carotovora</i> f. sp. <i>zeae</i>)</p>
Leaf	<p>Corn stunt leafhoppers (<i>Dalbulus maidis</i>), Maize streak virus leafhoppers (<i>Dalbulus maidis</i>, <i>D. elimatus</i>), Fall armyworm (<i>Spodoptera frugiperda</i>), Armyworm (<i>Mythimna unipuncta</i>), Spider mites (<i>Oligonychus mexicanus</i>), Corn leaf aphid (<i>Rhopalosiphum maidis</i>, <i>R. padi</i>), Maize Whorl Maggots (<i>Euxesta</i> spp.), Sugarcane Froghoppers (<i>Aeneolamia postica</i>, <i>Prosapia simulans</i>), Chafers, Grasshoppers (<i>Sphenarium</i> spp., <i>Melanoplus</i> spp.).</p>	<p>Downy mildew (<i>Sclerospora</i> spp., <i>Sclerophthora</i> spp), Curvularia leaf spot (<i>Curvularia lunata</i> and <i>Curvularia pallescens</i>), Cercospora leaf spot (<i>Cercospora zae-maydis</i>), Septoria leaf blotch (<i>Septoria maydis</i>), Turcicum leaf blight (<i>Helminthosporium turcicum</i>), Diplodia macrospora leaf stripe (<i>Diplodia macrospora</i>), Phyllosticta leaf spot (<i>Phyllosticta maydis</i>), Helminthosporium carbonum leaf spot (<i>Helminthosporium carbonum</i>), Bacterial leaf stripe (<i>Pseudomonas rubrilineans</i>), Eyespot of maize (<i>Kabatiella zae</i>), Leptosphaeria leaf spot (<i>Leptosphaeria michotii</i>), Maydis leaf blight (<i>Helminthosporium maydis</i>), Stewart's wilt (<i>Erwinia stewartii</i>), Maize dwarf mosaic (MDMV), Southern rust (<i>Puccinia polysora</i>), Common rust (<i>Puccinia sorghi</i>), Tropical rust (<i>Physopella zae</i>), Zonate leaf spot (<i>Gloeocercospora sorghi</i>), Banded leaf and sheath spot (<i>Rhizoctonia solani</i> f. sp. <i>sasakii</i>), Tar spot (<i>Phyllachora maydis</i>), Brown spot (<i>Physoderma maydis</i>) leaf anthracnose (<i>Colletotrichum graminicola</i>), Phaeosphaeria leaf spot, Fine stripe virus, Corn streak virus, Bacterial leaf stripe, Maize chlorotic mottle virus, Fine stripe</p>

		virus, Fine mosaic virus I, Corn stunt disease, Black bundle disease.
Ear	Ear maggots, Corn earworms (<i>Helicoverpa zea</i>), Stink bugs (<i>Euschistus servus</i> , <i>Nezara viridula</i>), Angoumois grain moth (<i>Sitotroga cerealella</i>), Indian meal moth (<i>Plodia interpunctella</i>), Grain weevils (<i>Sitophilus granarius</i> , <i>S. zeamais</i>), Grain borers (<i>Prostephanus truncatus</i>).	Corn stunt disease, Botrydiplodia, Penicillium ear rot, Cladosporium ear rot, Giberella ear rot, Maydis leaf blight (T strain), Nigrospora ear rot, Tar spot, Black bundle disease, Maize dwarf mosaic, Downy mildew, Giberella ear rot, Helminthosporium carbonum ear rot, Banded leaf and sheath spot, Ergot of maize, Head smut, Aspergillus ear rots, Banded leaf and sheath spot, Maize stripe virus, Comon smut, Gray ear rot, Diploidia ear rot, Charcoal ear rot.
Tassel	Corn stunt leafhoppers (<i>Dalbulus maidis</i>), Maize streak virus leafhoppers (<i>Dalbulus maidis</i> , <i>D. elimatus</i>), Fall armyworm (<i>Spodoptera frugiperda</i>), Armyworm (<i>Mythimna unipuncta</i>), Spider mites (<i>Oligonychus mexicanus</i>), Corn leaf aphid (<i>Rhopalosiphum maidis</i> , <i>R. padi</i>), Maize Whorl Maggots, Sugarcane Froghoppers (<i>Aeneolamia postica</i> , <i>Prosapia simulans</i>), Chafers, Grasshoppers (<i>Sphenarium</i> spp., <i>Melanoplus</i> spp.).	Head smut, Downy mildew, Maize chlorotic mottle virus, Bacterial leaf stripe, False head smut, Corn stunt disease, Maize stripe virus.
Seed, Root, and Seedling	Seedcorn maggots (<i>Hylemya platura</i>), Wireworms (<i>Agriotes lineatus</i>), Flea beetles (<i>Phyllotreta</i> spp.), Diabrotica beetles (<i>Diabrotica</i> spp.), Maize billbugs (<i>Sphenophorus maidis</i>), White grubs (<i>Phyllophaga</i> spp., <i>Anomala</i> spp.), Cutworms (<i>Agrotis</i> spp.), Thrips (<i>Frankliniella</i> spp.), Lesser cornstalk borer (<i>Elasmopalpus lignosellus</i>).	

APPENDIX D: MAIZE WORLD PRODUCTION

World Maize	Element			
	Seed (Mt)	Area Harvested (Ha)	Yield (Hg/Ha)	Production (Mt)
1961	6,223,099	105,484,151	19,435	205,004,683
1962	6,370,267	103,418,906	19,808	204,856,937
1963	6,193,721	108,384,382	20,319	220,228,333
1964	5,785,022	107,790,032	19,961	215,162,627
1965	5,988,088	106,591,240	21,252	226,524,256
1966	5,944,346	111,157,704	22,096	245,609,160
1967	5,872,917	112,313,038	24,266	272,538,473
1968	5,981,586	111,494,042	22,927	255,620,551
1969	5,838,480	111,242,302	24,226	269,491,068
1970	6,013,828	113,027,431	23,519	265,831,145
1971	6,185,867	118,150,571	26,544	313,622,622
1972	6,137,730	114,910,552	26,875	308,826,290
1973	6,132,362	116,856,034	27,238	318,290,469
1974	6,074,833	119,772,684	25,572	306,287,347
1975	6,429,594	121,442,141	28,133	341,656,971
1976	6,170,127	124,154,181	28,382	352,370,866
1977	6,181,283	125,192,168	29,679	371,561,355
1978	6,235,069	124,664,903	31,570	393,562,091
1979	6,281,256	123,598,634	33,866	418,577,993
1980	6,373,981	125,694,717	31,551	396,573,388
1981	6,440,288	127,816,716	34,950	446,722,107
1982	6,300,922	124,310,829	36,109	448,875,780
1983	6,605,234	117,763,540	29,468	347,024,034
1984	6,711,131	127,703,340	35,269	450,399,992
1985	6,646,135	130,454,042	37,214	485,474,301
1986	6,806,025	131,754,681	36,293	478,178,515
1987	6,623,584	129,888,090	34,880	453,054,894
1988	7,013,976	129,902,556	31,019	402,940,593
1989	7,158,041	131,711,470	36,203	476,833,660
1990	7,090,222	131,315,568	36,801	483,248,513
1991	7,379,181	134,125,220	36,851	494,267,664
1992	5,487,753	136,974,563	38,945	533,443,038
1993	5,497,737	131,500,199	36,242	476,576,466
1994	5,360,864	138,334,591	41,139	569,095,143
1995	5,474,640	136,271,016	37,914	516,655,836
1996	5,691,964	139,856,300	42,127	589,171,299
1997	5,588,723	141,270,173	41,407	584,954,064
1998	5,788,484	138,816,826	44,308	615,063,554
1999	5,765,380	138,460,288	43,786	606,261,782
2000	5,722,092	138,738,942	42,742	592,999,083
2001	5,912,420	137,596,759	44,273	609,181,620

Source: FAOSAT <http://apps.fao.org>

APPENDIX E: LIST OF CONTRIBUTORS AND PARTICIPATING INSTITUTIONS (FROM THE LEAD COUNTRY) IN THE PREPARATION OF THIS DOCUMENT

Name	Area of Expertise	Institution
J. Antonio Serratos-Hernández*	Biotechnology	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias</i> (National Institute of Research on Forestry Agriculture and Livestock)
Angel Kato	Genetic Resources (maize, teosinte)	<i>Colegio de Postgraduados</i> (Post-Graduated College)
Juan Manuel Hernández-Casillas	Maize germplasm bank	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias</i> (National Institute of Research on Forestry Agriculture and Livestock)
María Teresa Fernández-de-Castro	Regulation in biotechnology	<i>Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN.</i> (National School of Bioscience)
Antonio Turrent-Fernández	Maize program leader	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias</i> (National Institute of Research on Forestry Agriculture and Livestock)
Jorge Nieto	Molecular Biology	<i>Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México</i> (Biotechnology Institute, National Autonomous University of Mexico)
José Antonio Garzón-Tiznado	Biotechnology	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias</i> (National Institute of Research on Forestry Agriculture and Livestock)
Irineo Torres-Pacheco	Biotechnology	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias</i> (National Institute of Research on Forestry Agriculture and Livestock)
Alejandro Espinosa	Agronomy, Seed production	<i>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias</i> (National Institute of Research on Forestry Agriculture and Livestock)
Eduardo Casas Díaz	Agronomy	<i>Universidad Autónoma de Chapingo</i> (Autonomous University of Chapingo)
Sofía Tinoco (R.I.P)	Regulation in biotechnology	<i>Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Dirección General de Sanidad Vegetal</i> (Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food - Phytosanitary General Direction)
Fernando Ortiz Monasterio	Environmental Management	<i>Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados - CIBIOGEM</i> (Interministerial Commission on Biosafety and Genetically Modified Organisms)
Ignacio Ruiz Love	Social Sciences and Agriculture	<i>Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados - CIBIOGEM</i> (Interministerial Commission on Biosafety and Genetically Modified Organisms)

* Document Co-ordinator

We acknowledge comments and support from the following persons:

Sergio Colín from *Instituto Nacional de Ecología* (National Institute of Ecology); Eduardo Morales and Jorge Larson from *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad* (National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity); Ariel Rojo from *Dirección General de Vida Silvestre* (General Direction of Wildlife, Secretariat of Environment and Natural Resources), Veronique Deli and Araceli de la Llave from *Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales* (Foreign Affairs Coordination Unit- Secretariat of Environment and Natural Resources).

QUESTIONNAIRE TO RETURN TO THE OECD

This is one of a series of OECD Consensus Documents that provide information for use during regulatory assessment of particular micro-organisms, or plants, developed through modern biotechnology. The Consensus Documents have been produced with the intention that they will be updated regularly to reflect scientific and technical developments.

Users of Consensus Documents are invited to submit relevant new scientific and technical information, and to suggest additional related areas that might be considered in the future.

The questionnaire is already addressed (see reverse). **Please mail or fax this page (or a copy) to the OECD, or send the requested information by E-mail:**

OECD Environment Directorate
Environment, Health and Safety Division
2, rue André-Pascal
75775 Paris Cedex 16, France

Fax: (33-1) 45 24 16 75
E-mail: ehscont@oecd.org

For more information about the Environment, Health and Safety Division and its publications (most of which are available electronically at no charge), consult <http://www.oecd.org/ehs/>

- =====
1. Did you find the information in this document useful to your work?
 Yes No
 2. What type of work do you do?
 Regulatory Academic Industry Other (please specify)
 3. Should changes or additions be considered when this document is updated?
 4. Should other areas related to this subject be considered when the document is updated?

Name:
Institution or company:
Address:
City: Postal code: Country:
Telephone: Fax: E-mail:
<u>Which</u> Consensus Document are you commenting on?