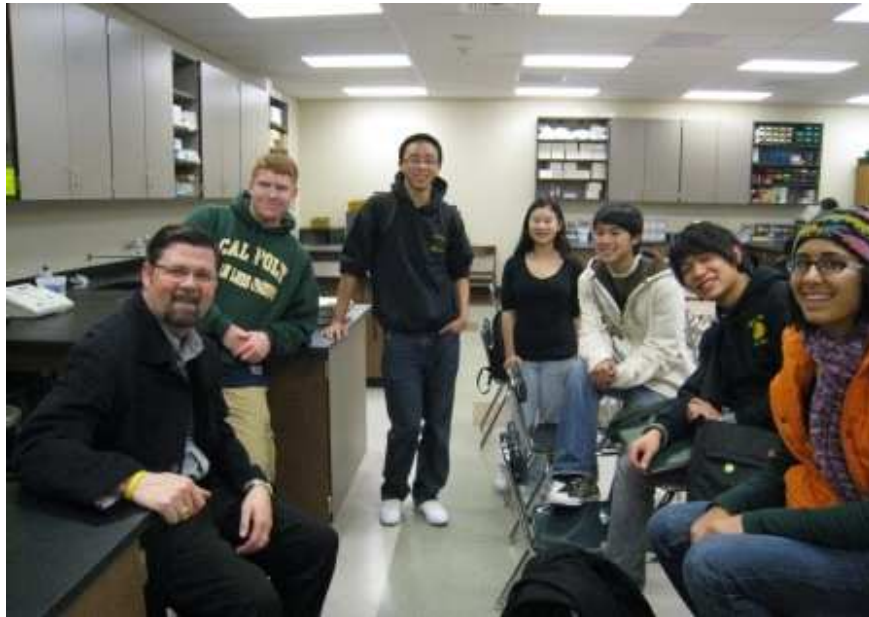


東京農工大学遺伝子実験施設
第22回「学校教員のための遺伝子組換え実験教育研修会」

遺伝子リテラシー教育と米国の教育教材



2023年7月27日
おおとう みちえい
大藤 道衛

トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育

2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材

3. 身近になったPCRと遺伝子解析

4. ゲノム編集トマト(参考)

遺伝子リテラシー教育

- 遺伝子 (gene)、遺伝 (heredity) の違い
- 遺伝子は、タンパク質設計図
- 個人遺伝情報とはDNAの塩基配列
- 遺伝子は化学物質、その配列は情報
ゲノム科学⇒情報科学
個人遺伝情報⇒保護されるべき情報
- バイオ技術がもつベネフィットとリスク

実験や体験を通じて学ぶ生命科学教育

生命科学→実験に基づいた科学

仮説を立てて実験(対照との比較)で検証

遺伝子/ゲノムリテラシー教育と Public understanding (市民の理解)

生命科学・バイオに関する記事や情報が溢れている。
ゲノム医療、DTC(消費者直結型)遺伝子検査、GM作物ゲ
ノム編集作物など生命科学は、たいへん身近になっている。

「知らないため、解らないため起こる無用な不安」

- ・生命科学やバイオ技術を知ること、情報を取捨選択し
医療や食品選択の意思決定の基となる教養

意思決定：科学的根拠/*感覚的根拠

***情動的、感情的、emotional**

遺伝子組換え食品に関する消費者意向調査の概要

調査概要

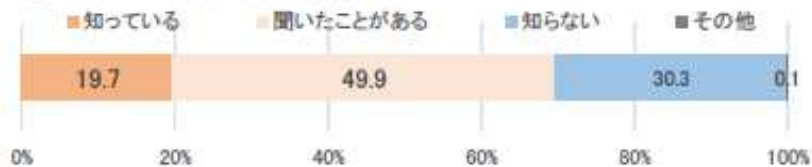
目的: 消費者の遺伝子組換え食品やその表示に関する意識を把握するため、ウェブでのアンケート調査を実施。

期間: 平成28年12月12日～平成29年1月4日、委託先: 株式会社アイデア・プロジェクト、回答者: 10,648名(男性: 5,296名、女性: 5,352名)

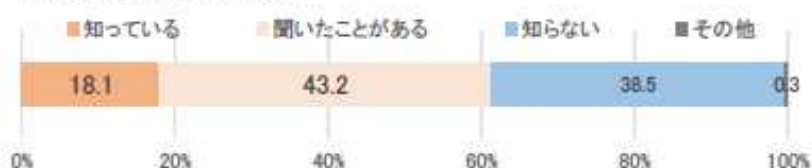
不安感

- 「組換えDNA技術」に関する認知度は7割、「安全性審査」に関する認知度は6割

【組換えDNA技術の認知度】

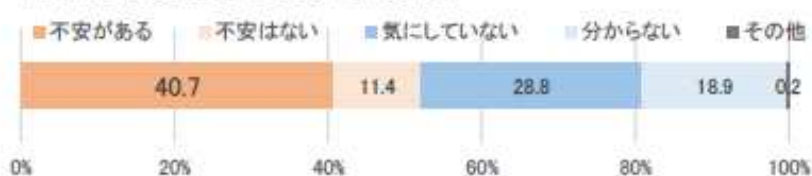


【安全性審査の認知度】



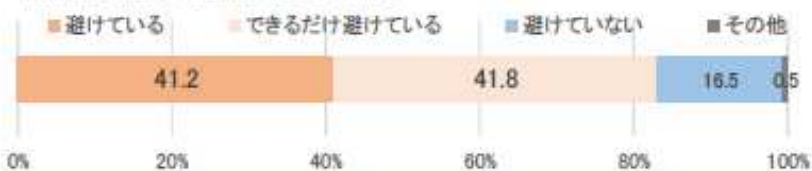
- 遺伝子組換え食品に不安があるかについては、「不安がある」が4割

【遺伝子組換え食品に対する不安感】



- 遺伝子組換え食品について「不安がある」、「不安はない」と回答した者のうち、8割以上は遺伝子組換え食品を忌避

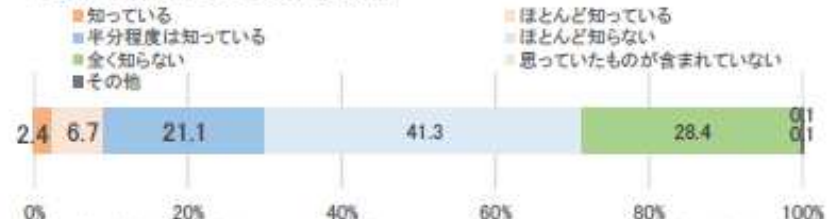
【遺伝子組換え食品の忌避状況】



対象品目

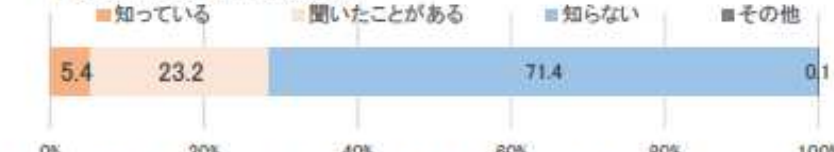
- 表示義務対象品目に関する認知度は、「半分程度は知っている」を含め3割

【表示義務対象品目の認知度】



- DNA等が検出できない品目を表示不要としていることに関する認知度は、3割

【表示不要品目の認知度】



- DNA等が検出できない品目を表示不要としていることについては、「表示すべき」が3割

【表示不要の妥当性】



主な原材料

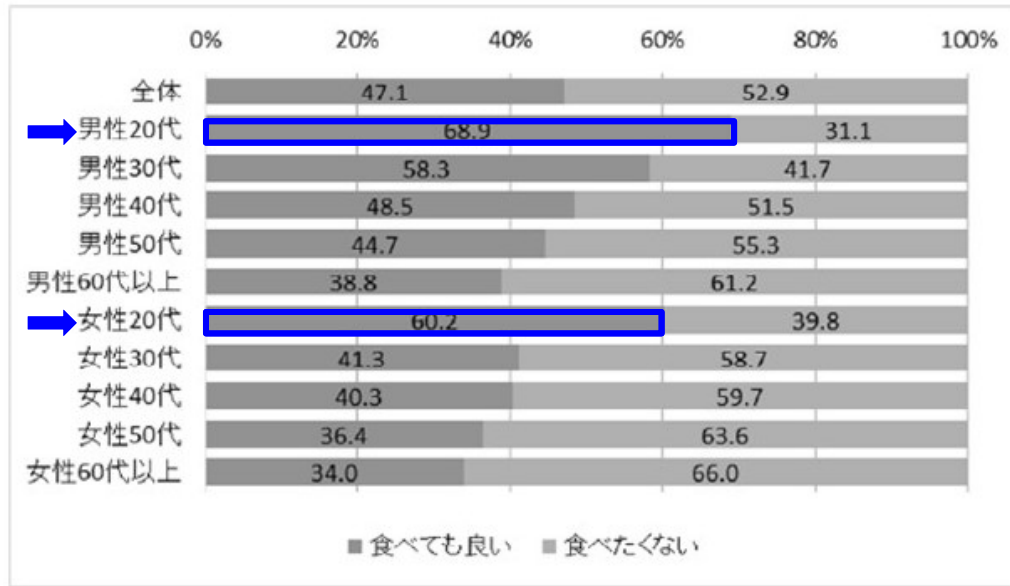
- 表示義務の原材料については、「表示義務を拡充すべき」が3割

【主な原材料のみ表示義務の妥当性】

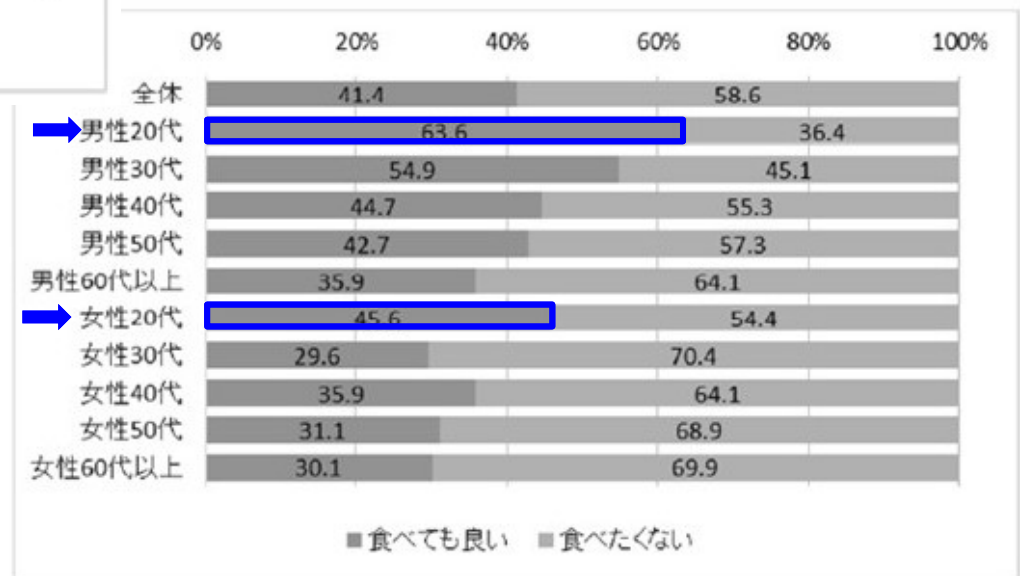


遺伝子組換え/ゲノム編集食品の摂食意向

遺伝子組換え食品。食べたいですか？



ゲノム編集食品。食べたいですか？



足立香織：新たな遺伝子改変技術「ゲノム編集」の取扱いと倫理的問題点の検討 (KAKEN報告書)
<https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-15K00979/15K00979seika.pdf>

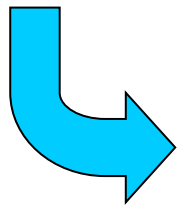
一般市民各世代 200名、合計 2,000名の調査(2018年2月)

遺伝子/ゲノムリテラシー教育*

初等・中等教育機関

生物系以外の高等教育（大学学部）

市民教育（博物館等）



生命科学の教養を持つ市民

生命科学分野の人材

*遺伝子リテラシー教育、生命科学リテラシー教育、バイオリテラシー教育などが同じような概念で使われることがある。

トピックス

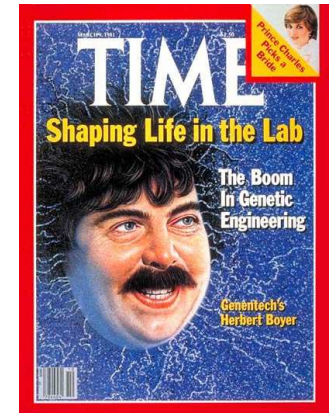
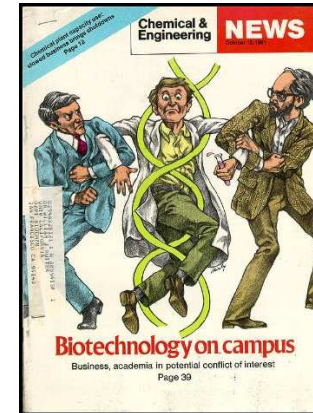
1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育
- 2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材**
3. 身近になったPCRと遺伝子解析
4. ゲノム編集トマト(参考)

米国高校(特に西海岸)における遺伝子リテラシー教育の歴史

1970年代後半 生命科学がバイオ技術を通じ産業に発展(バイオベンチャー)



1980年代前半 教育レベルの生物学と生命科学の
ギャップを埋めるカリキュラム
草の根的に発展(高校教員)



1985年～ 研究者と高校教員による共同カリキュラム、大学での高校教員の遺伝子教育トレーニング(Stanford 大学などで、生命科学のAPプログラム)



1990年 初の“DNA SCIENCE”教科書
教育目的実験は、NIHガイドラインと無関係

クリントン大統領

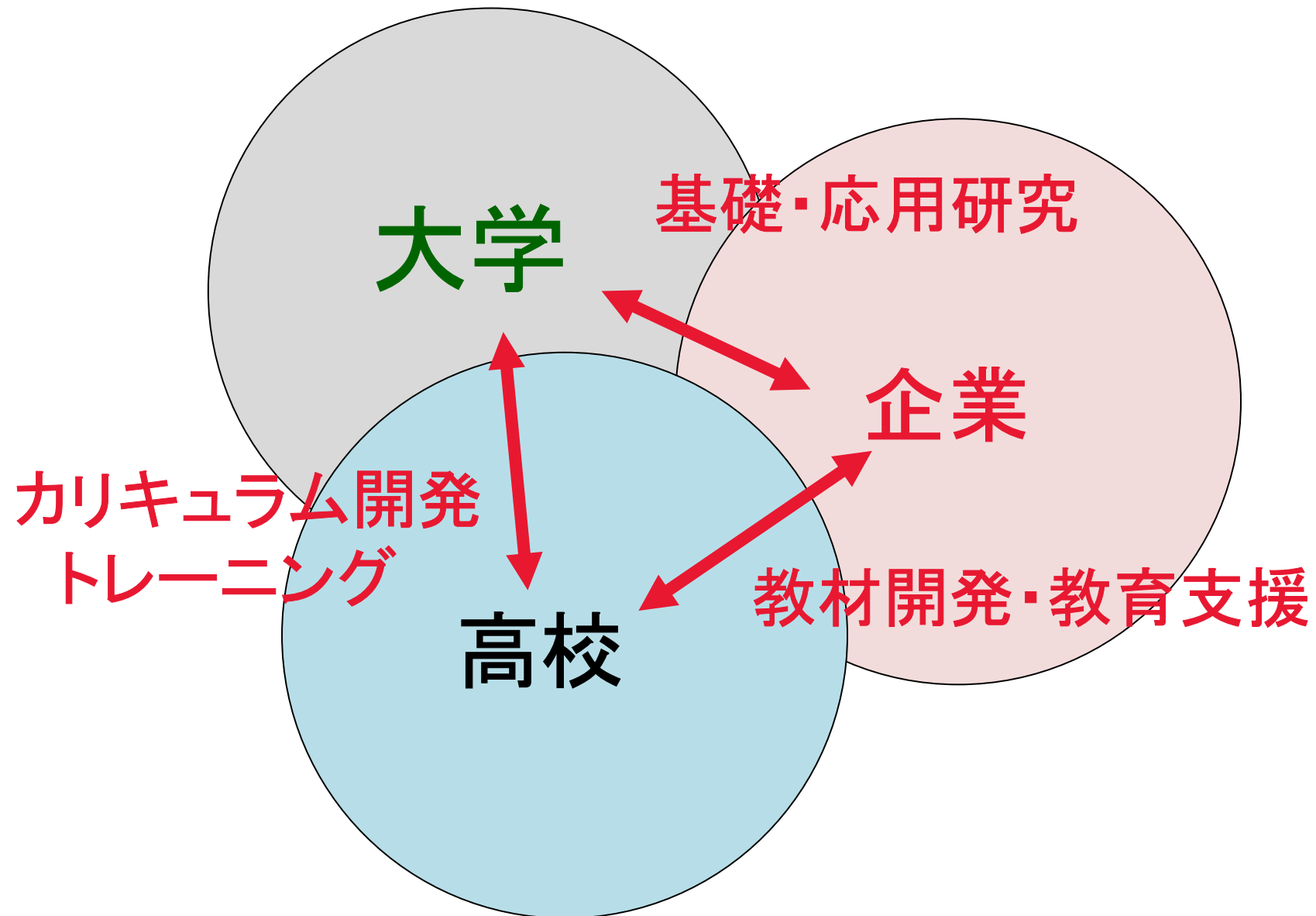


1995年 DNA SCIENCEが 21世紀はBT & IT
National Science Education Standard(NSES)に掲載
(K11, 12*にて実施)充実した生物学教科書多数出版、遺伝子教育教材多数開発

2013年 次世代科学スタンダード(NGSS)

*高校2-3年生に相当

大学・企業・高校の連携(米国1980年代)



BABEC (Bay area biotechnology education consortium)

大学・企業・高等学校の連携(1996年設立)

教員・高校生向けワークショップの実施、教材やリソースの提供



<http://www.babec.org/>

ABOUT CURRICULUM WORKSHOPS & EVENTS CONTACT



BABEC believes the best learning happens by doing.

BABEC enables Bay Area students to perform biotechnology experiments using our advanced, research-grade equipment and curricula. We give teachers the technical skills and pedagogical knowledge to teach biotechnology, so that every student can experience the thrill of hands-on scientific discovery.



ABOUT CURRICULUM WORKSHOPS & EVENTS CONTACT

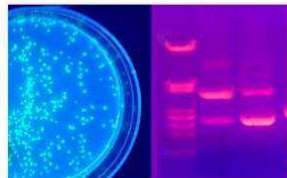
BABEC believes the best learning happens by doing.

BABEC enables Bay Area students to perform biotechnology experiments using our advanced, research-grade equipment and curricula. We give teachers the technical skills and pedagogical knowledge to teach biotechnology, so that every student can experience the thrill of hands-on scientific discovery.

PORTABLE BIOTECH LABS



OUR CURRICULUM



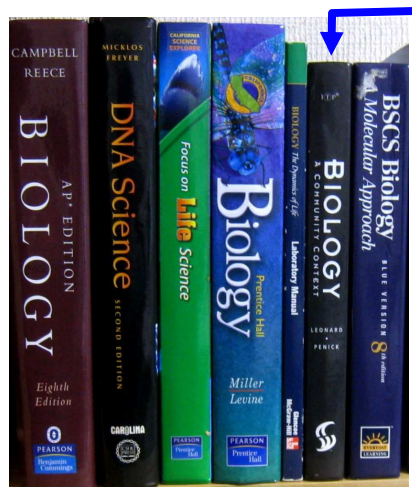
WORKSHOPS & EVENTS



サンフランシスコ湾岸地区

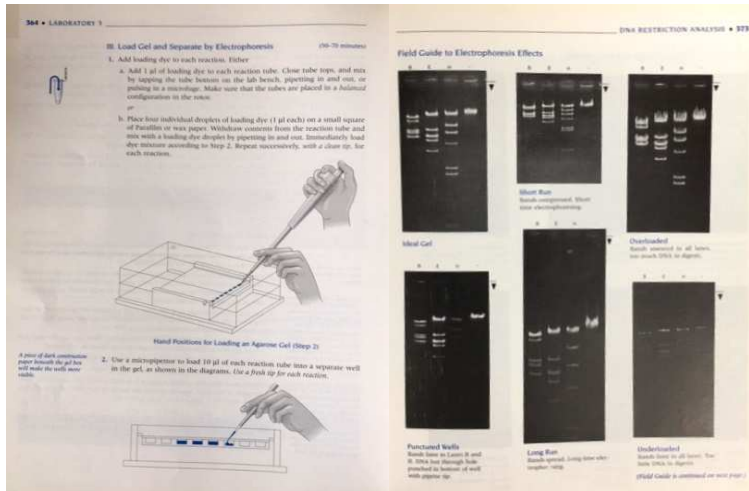
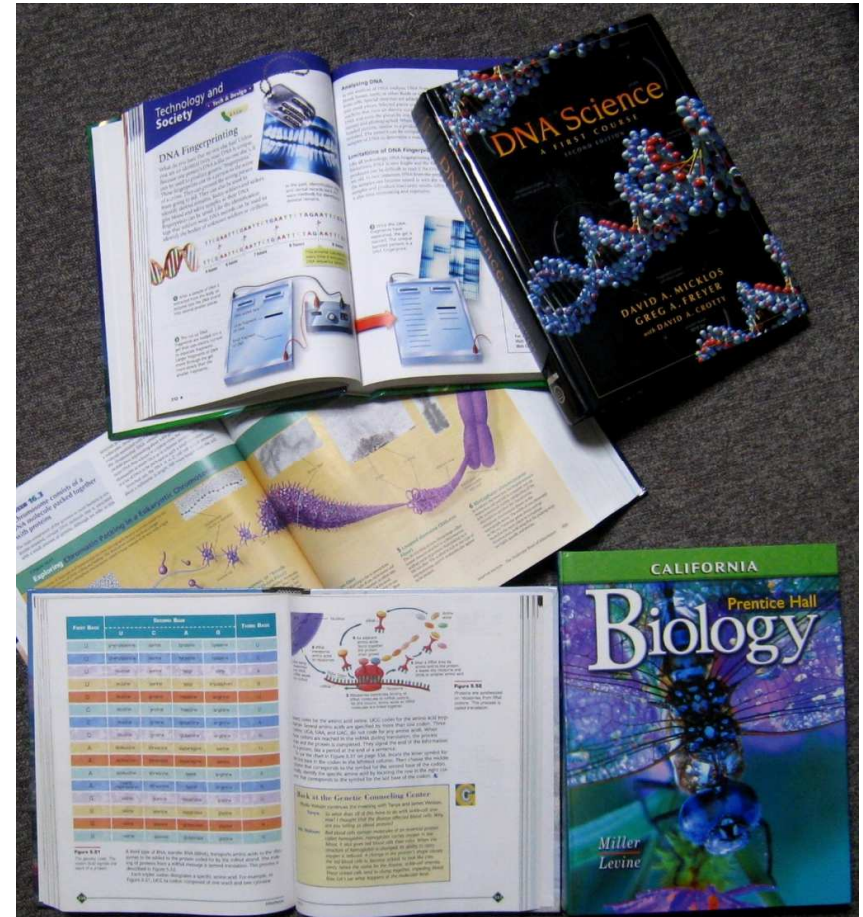


米国高校生物学教科書



分子生物学、遺伝の法則
 ポリゾーン遺伝
 DNA抽出実験
 ヒトの遺伝性疾患
 ビクトリア家系の血友病
 鎌型赤血球症
 ハンチントン病
 ヒトの染色体異常

Biology
 A community context (1998)



DNA Science 2nd ed. (2003)

分子生物学含む遺伝について: ~20%
ヒト生物学、実験、職業や社会との関係
 Advanced placement (AP) Biology

遺伝子リテラシー教育に向けた教育教材

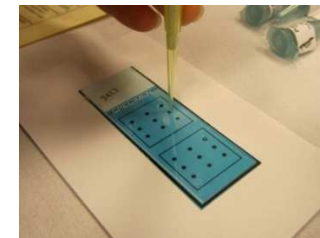
1. 実際のサンプルを用いて、研究現場と同様の実験を行う教材

- ・大腸菌を用いた遺伝子組換え実験 (**GFP遺伝子**による形質転換など)
- ・食品や作物からのDNA抽出とGM作物由来成分の**PCR検知実験**
- ・ヒト細胞のDNA抽出と**PCR-電気泳動**による遺伝子解析 (味覚受容体遺伝子のSNP、Alu配列など)



2. シミュレーションサンプルを用いた模擬実験を行う教材

- ・模擬検体を用いたDNAシーケンシング
- ・模擬検体を用いたDNA鑑定実験
- ・模擬検体を用いたがん細胞の遺伝子解析 他



3. 実験を含まないweb配信教材(コロナ禍で有効)

- ・動画のweb配信(研究者講演、アニメによる解説)
生命科学の基礎、がんゲノム医療、ゲノム編集、COVID-19など
- ・模擬データをもちいた解析(がん患者カード他)



pGLOキットとBio-Rad Explorer の開発

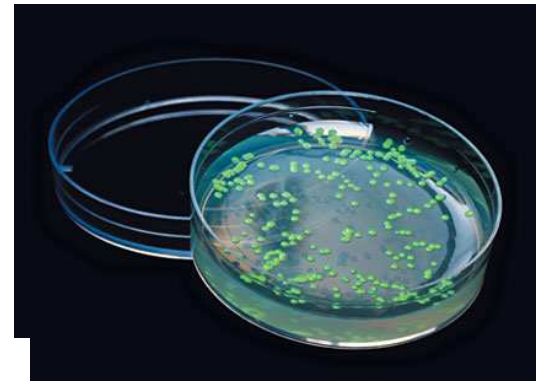
BIO-RAD

pGLOキットは、1990年代、設備のない高等学校の教室でもすぐに使える教材として、高校教員、大学教員のアイデアにより開発された。(1995年βサイト、1997年発売)
その後、分子生物学教材としてシリーズ化された。



Mr. Ron Mardigian

1997@Bio-Rad



Mr. Ron Mardigian (故人: 元高校教員、Bio-Rad社社員)

Mr. Kirk Brown (高校生物教員)

Mr. Stan Hitomi (高校生物教員)

Dr. Lane Conn (大学教員) 他



遺伝子工学と実習キットシリーズ

Bio-Rad Explorer program

ゲノムDNA抽出

Genes in a Bottle Kit

遺伝子クローニング

Cloning and Sequencing Explorer Series
Secrets of the Rainforest kit

遺伝子解析

DNA Fingerprinting kit
PV92 PCR | Informatics kit
Crime Scene Investigator PCR Basics™ kit
GMO investigator™ kit
Lambda DNA kit

遺伝子組換え実験

pGLO™ Bacterial Transformation kit

遺伝子発現タンパク質

Green Fluorescent Protein Chromatography Kit

タンパク質解析

Got Protein?™ kit
Comparative Proteomics kit I, II
ELISA Immuno Explorer™ kit
Size Exclusion Chromatography kit

ゲノム編集

Out of the blur CRISPR Kit
Out of the blue and genotyping extension Kit

COVID-19 教材

COVID-19 Teaching Resources

STEM教育

IDEA Kit
STEM Electrophoresis Kit

遺伝子リテラシー教育に向けた教育教材

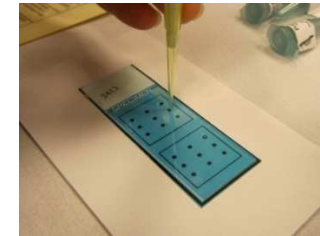
1. 実際のサンプルを用いて、研究現場と同様の実験を行う教材

- ・大腸菌を用いた遺伝子組換え実験（**GFP遺伝子**による形質転換など）
- ・食品や作物からのDNA抽出とGM作物由来成分の**PCR検知実験**
- ・ヒト細胞のDNA抽出と**PCR-電気泳動**による遺伝子解析（味覚受容体遺伝子のSNP、Alu配列など）



2. シミュレーションサンプルを用いた模擬実験を行う教材

- ・模擬検体を用いたDNAシーケンシング
- ・模擬検体を用いたDNA鑑定実験
- ・模擬検体を用いたがん細胞の遺伝子解析 他



3. 実験を含まないweb配信教材（コロナ禍で有効）

- ・動画のweb配信（研究者講演、アニメによる解説）
生命科学の基礎、がんゲノム医療、ゲノム編集、COVID-19など
- ・模擬データをもちいた解析（がん患者カード他）



トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育
2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材
- 3. 身近になったPCRと遺伝子解析**
4. ゲノム編集トマト(参考)

色々なサーマルサイクラー(定性PCR反応装置)

BIO-RAD

T100™ Thermal Cycler

550,000円(+税 230701現在 A代理店経由)



ThermoFisher
SCIENTIFIC

ProFlex™ PCR システム, 96-Well

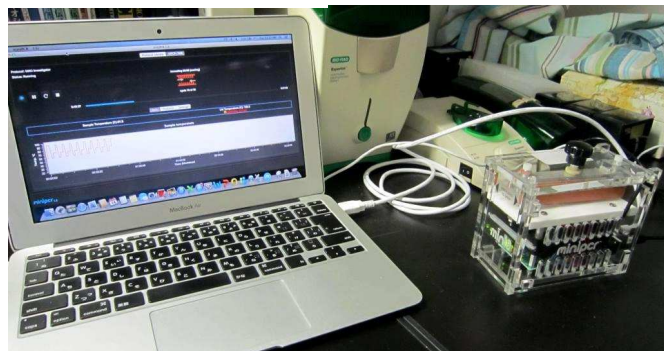
1,450,000円(+税 230701現在 A代理店経由)




minipcr™

miniPCR

\$695

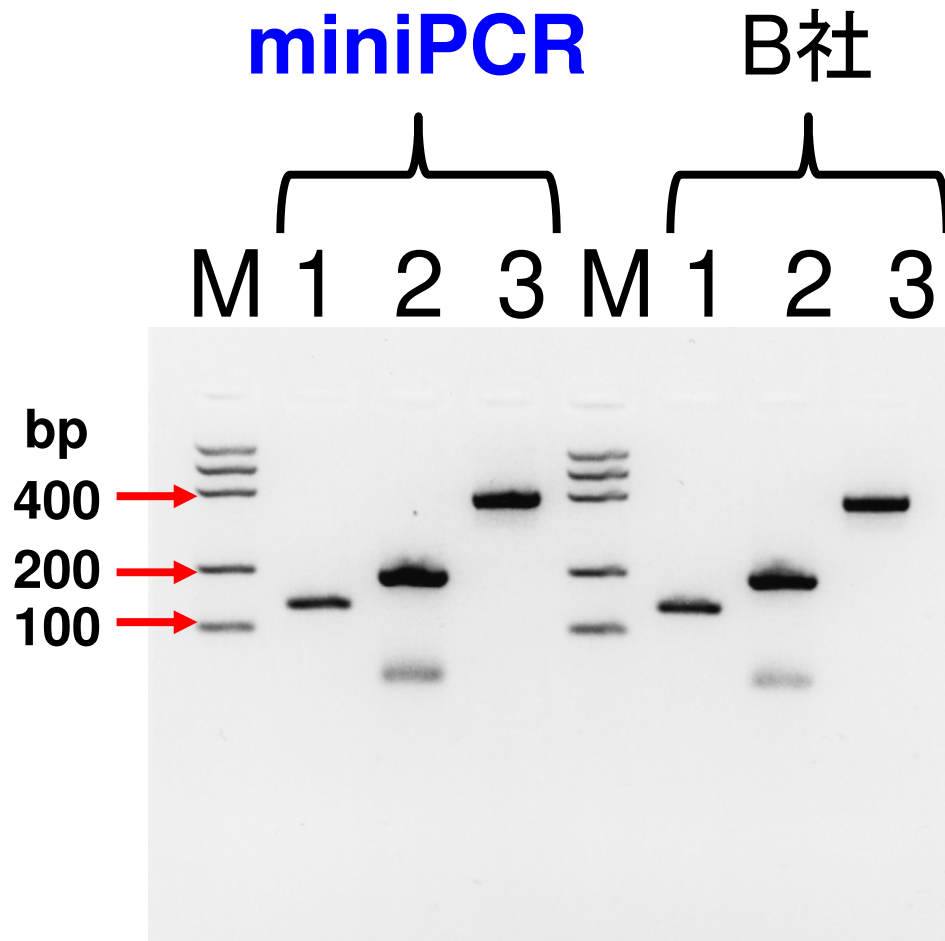


 北海道システム・サイエンス株式会社
Hokkaido System Science Co., Ltd.

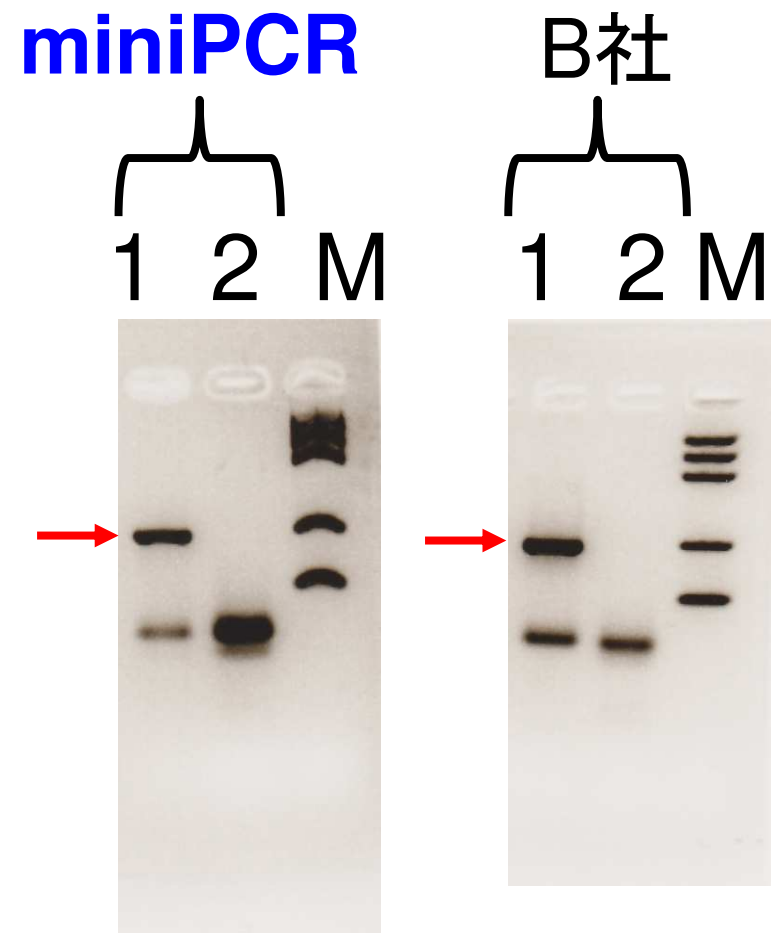


PCRくん DuxCycler 248,000円(+税)

汎用機器との比較



PCR増幅 DNA断片の電気泳動パターン
レーン1: 130bp, 2: 200bp, 3: 400bp



アニーリング温度の検討
1: 54 °C, 2: 59 °C

miniPCR社ウェブサイト

https://www.minipcr.com/wp-content/uploads/miniPCR-iCycler-150507-M.OTO_contact-info.pdf

身近になったPCR

オンサイトでのPCR増幅



Ian Goodfellow 教授
(ケンブリッジ大学のウイルス学者)

Ebola Detection in
Makeni, Sierra Leone
2014



<http://www.minipcr.com/news/minipcr-ebola-crisis/>

34

国際宇宙ステーション (ISS) でPCR増幅



Genes In Space - First DNA amplification by PCR in Space
<https://www.youtube.com/watch?v=hwok8eYXRdK> 2016

家庭でPCR増幅

Daniels family in Chicago



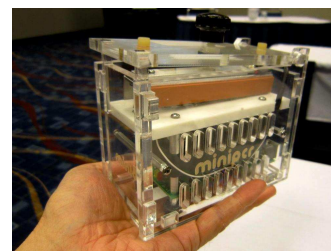
their home DNA copier

<http://www.minipcr.com/wp-content/uploads/minipcr-at-home.pdf>

36

Astronaut Tim Peake

35



定性PCR

- ・オンサイト実験
- ・教育

で活用。\$650-700

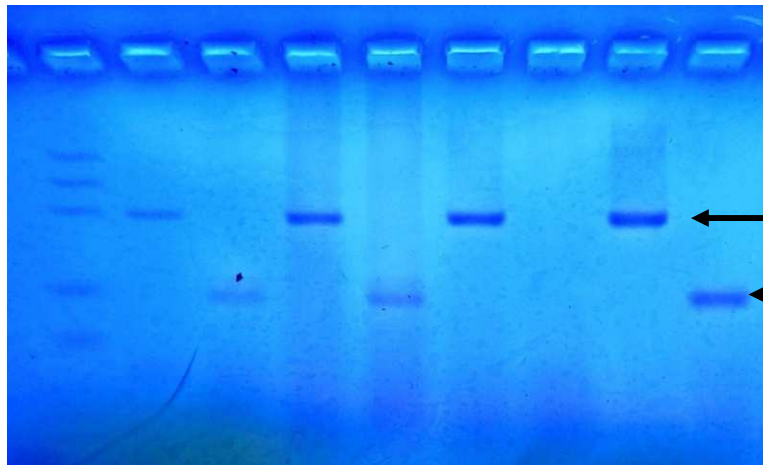
20

身近な遺伝子解析(米国)

～食品/食材からのGM配列検出(GMO investigator kit)～



M 1 2 3 PC



コントロール

GM配列

1. スナック(米国), 2. Rainbowパパイア, 3. nonGM (陰性検体), PC. 陽性検体

GM作物の栽培と遺伝子解析

Growing and Testing Roundup Ready Soybean Kit

- ・育種・遺伝学・遺伝子組換え技術・農業
- ・GM / nonGM大豆の栽培
- ・種/葉からのタンパク質抽出とGMタンパク質の検知(イムノクロマト)
- ・DNA粗抽出とPCRによるGM遺伝子の検知

NSTA in LAでの研修会(2017)




minipcr

 nsta
National Science Teaching Association

MONSANTO 

現: Bayer Crop Science

GM大豆種子の提供契約書(見本)



4. You are responsible for ensuring that the receipt, use and disposal of the Material, and any other activities you may conduct with the Material, are done safely and in accordance with all legal and regulatory requirements, including any Federal, State, County, Municipality or other restrictions.

Date: [Redacted]

Teacher Name: [Redacted]

School Name: [Redacted]

School Address: [Redacted]

Teacher Email: [Redacted]

Re: Material Transfer of Monsanto Crop Biotechnology: Growing and Testing Roundup Ready Soybean Kit

Dear _____:

Print Teacher Name (First, Last)

Subject to your acceptance of the conditions listed below, Monsanto Company is pleased to give you the following referenced material in Monsanto Crop Biotechnology: Growing and Testing Roundup Ready Soybean Kit:

- Approximately 10 seed of glyphosate tolerant soybean; variety A3525, (Event 40-3-2, OECD unique identifier: MON-04032-6)
- Approximately 10 seed of conventional soybean; variety A3525
- Approximately 10 seed of conventional soybean variety Williams 82

Additionally, a lesson plan titled Monsanto Crop Biotechnology: Growing and Testing Roundup Ready Soybean Kit will be included (send to email after NSTA conference).

This gift is subject to the following conditions:

1. Children (anyone under 18 years old) may only use the material subject to strict adult supervision.
2. The Material may only be used for the purposes listed in the guidebook and consistent with those instructions. Any additional products used in conjunction with the referenced material, including but not limited to glyphosate, may only be used consistent with those product's label instructions.
2. The Material and/or individual genes in the Material may be covered by one or more patents, and no license under those patents is granted beyond the specific sample supplied. If the Material contains enhanced traits subject to patents or trade secrets, no grant, permission, or license to use the enhanced traits extends beyond the use of the Material for the purposes described in the request form.
3. You must dispose of the Material Monsanto has given to you (including test Material and unused Material) in a safe and secure manner, as permitted by applicable laws and regulations.

Please acknowledge your acceptance of these conditions by signing in the space provided below and returning one scanned copy to me via email.

Sincerely,

Valerie Bayes
K12 STEM Engagement Lead
Valerie.n.bayes@monsanto.com

Glen Rogan
Confined Environment Crop Assessment Platform Lead
glenro.j.rogan@monsanto.com

Accepted: _____

Teacher's First and Last Name Signature

On behalf of her/him and on behalf of _____

Cash
Print School Name

GM種

[Redacted]
Monsanto Scientific Outreach
Crop: SOYBEANS
Material Name: MON04032
Material Type: GMO (Roundup Ready - Herbicide Tolerant)
Source ID: [Redacted]
Kit: [Redacted]
Qty: 20 seed

Non-GM種

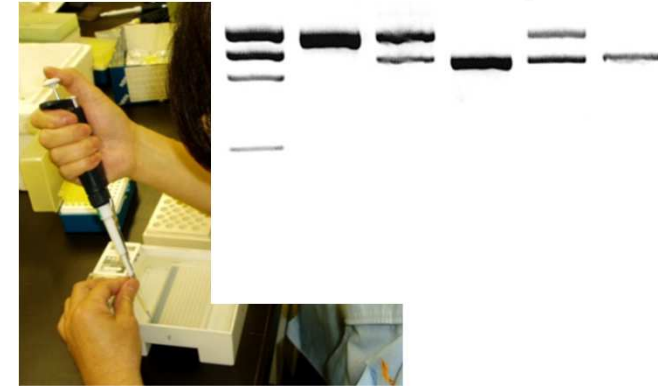
[Redacted]
Monsanto Scientific Outreach
Crop: SOYBEANS
Material Name: A3525
Material Type: Non-GMO (Conventional)
Source ID: [Redacted]
Kit: [Redacted]
Qty: 20 seed

身近なヒトゲノムDNAバリエーション*解析

Science



Technology



Engineering



PV92 PCR
informatics kit

STEM教育

Mathematics

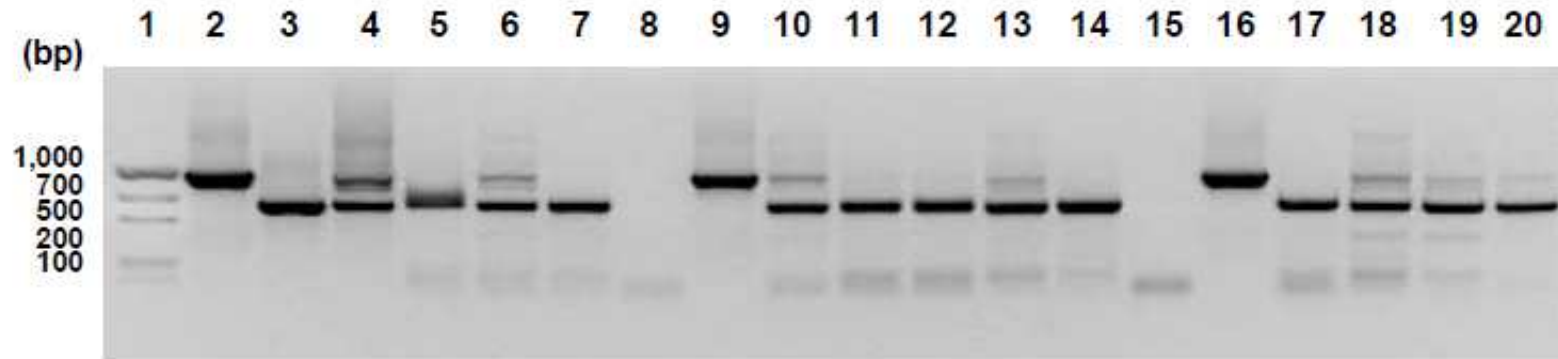
$$p=0.375, q=0.625$$
$$+/+ \quad p^2 = 0.14 \quad (0.25)$$
$$+/- \quad 2pq = 0.47 \quad (0.25)$$
$$-/- \quad q^2 = 0.39 \quad (0.50)$$

Hardy-Weinbergの法則
 χ^2 乗検定

*ゲノムDNAの変異・多型

PV92 PCR/informatics kit

染色体16 PV92ローカスのAlu配列挿入多型



ホモ接合体 (+/+) : レーン 2, 9, 16



ヘテロ接合体 (+/-) : レーン 4, 6, 10, 13, 18, 19, 20



ホモ接合体 (-/-) : レーン 3, 5, 7, 11, 12, 14, 17

人それぞれがもつAlu配列挿入(有無の)多型を検出できる。

注: 日本では「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」(生命・医学系指針 令和4年一部改訂)の趣旨に則り、実験同意書の作成、DNAの酸処理などで個人遺伝情報を保護して実施する。

まとめ

1. 遺伝子リテラシー教育

- ・実験を通じた生命科学を育む教育として米国で始められた。
- ・教科書の充実、実験教材キットの普及により広まった(米国)

2. 米国高等学校での遺伝子リテラシー教育と教育教材

- ・pGLOキットは、高校教員、大学教員により共同開発された。
- ・安価なPCR装置の普及により遺伝子解析が身近になった。

参考資料

1. Oto M, Ono M & Kamada H “Gene literacy education in Japan –Fostering public understanding through practice of hands-on laboratory activities in high schools.” Plant Biotechnol 23: 339-346 (2006)
2. 大藤道衛 「米国における実践的な生命科学教育② 全米科学教員協会(NSTA)と米国の生命科学教育教材」バイオテクニシャン(日本バイオ技術教育学会誌)24(1) 60-78 (2016)
3. 大藤道衛, 丹生谷博, 佐々義子「ゲノムリテラシー教育教材の開発と一般市民向けワークショップパッケージ「私たちのDNA」のデザインと実践」生物の科学 遺伝 71(3) 269 - 278 (2017)
4. 大藤道衛「ゲノムリテラシーの醸成と教育」医療と検査機器・試薬 46(2): 46-51 (2023)

トピックス

1. 遺伝子/ゲノムリテラシー教育
2. 米国高等学校での遺伝子教育と教育教材
3. 身近になったPCRと遺伝子解析
4. ゲノム編集トマト(参考)

ゲノム編集により作られた作物 ～シシリアンルージュハイギャバ～

GABA 12倍^{※1}

シシリアンルージュ
ハイギャバ®

機能性表示食品 届出番号・H617

GABAの働き

- 1粒で 血圧が高めの方の 血圧を下げる
- 2粒で 仕事や勉強による 一時的な精神的 ストレスを緩和
- 5-7粒で 眠りの深さや、 すっきりとした目覚めの 睡眠の質を高める
- 5-7粒で 肌の弾力を維持し 肌の健康を守る

※1市販のミニトマトと比べた場合(2021秋自社調べ)

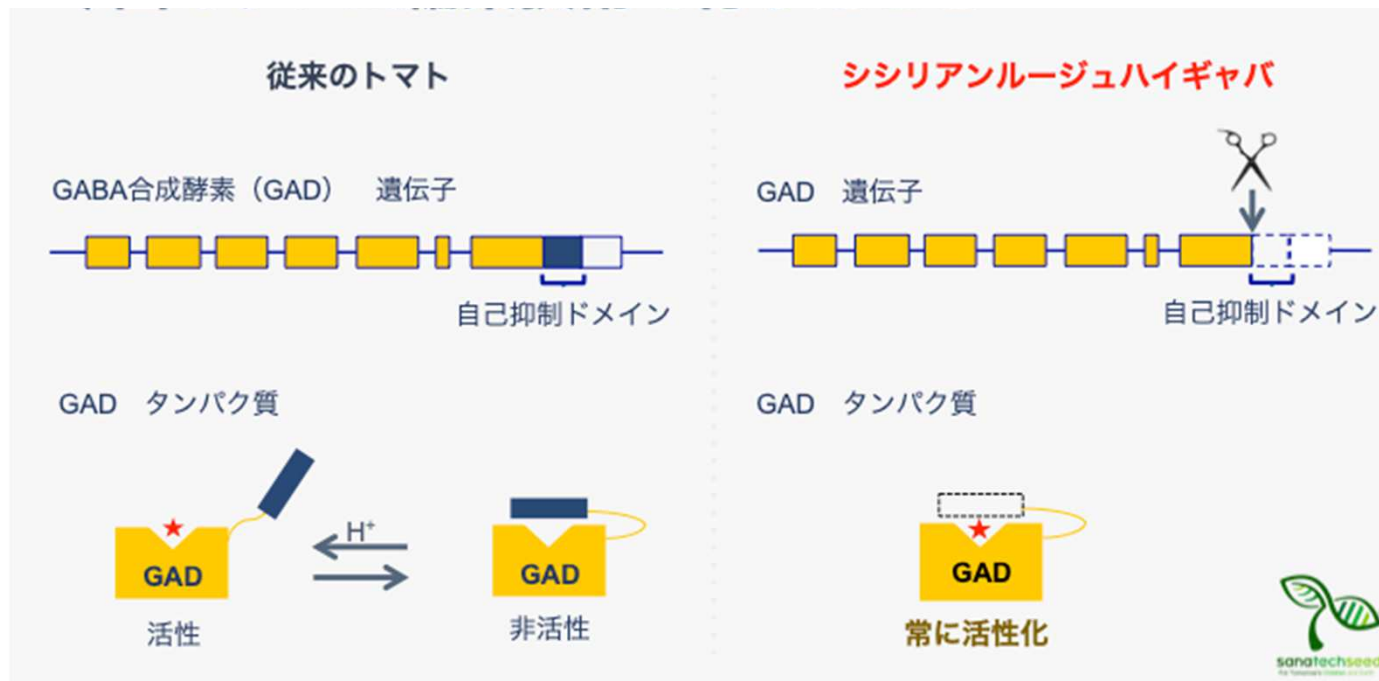
ハイギャバトマト
お試しパック
300g×2パック(約30～35粒)
1,750円(税込・送料別)

購入する >



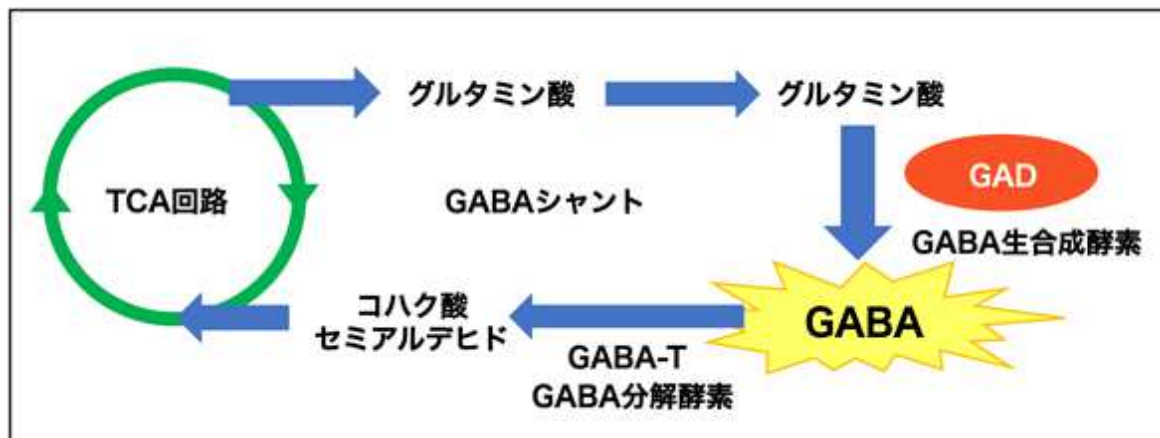
<https://aozora.p-e-s.co.jp/marche/lp-hgtTrial>

ゲノム編集によるGABA高蓄積トマトの開発



引用元:サナテックシード社ウェブサイト<<https://sanatech-seed.com/ja/product-trait/>>

Gamma aminobutyric acid(GABA:γアミノ酪酸)の生合成経路



引用元:江面 浩, 野中 聡子 化学と生物 56(7): 503-507, 2018.

#シシリアンルージュハイギャバ

栽培モニターを募集(2021年度)→約5000人が応募(講師も応募)



講師自宅にて栽培



講師栽培トマト: 190 mg GABA / 100 g
通常: 20 mg GABA / 100 g



一般家庭向けに苗を提供 サナテックシード社/江面浩教授(筑波大学)