

バイオスティミュラント ハンドブック

植物の生理活性プロセスから資材開発、適用事例まで

監 修

山内 靖雄、須藤 修、和田 哲夫

編集協力

日本バイオスティミュラント協議会



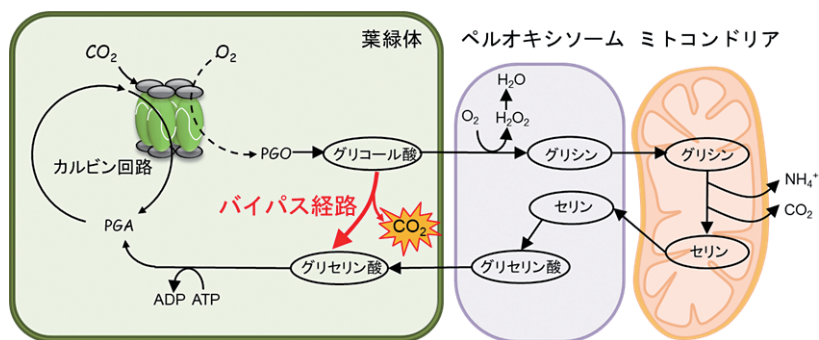


図5 光呼吸経路のバイパス (p.41)

赤色で「バイパス経路」と書かれた経路は、大腸菌のグリコール酸代謝経路に必要な3つの酵素（グリコール酸オキシゲナーゼ：glycolate dehydrogenase, グリオキシル酸カルボリガーゼ：glyoxylate carboligase, タルトロン酸コハク酸セミアルデヒド還元酵素：tartronic semialdehyde reductase）をシロイヌナズナに導入した研究例である。このバイパス経路を導入することによって、酵素学的特性として、葉緑体内でグリコール酸をグリセリンに変換することができ、葉緑体内で CO_2 が放出される。

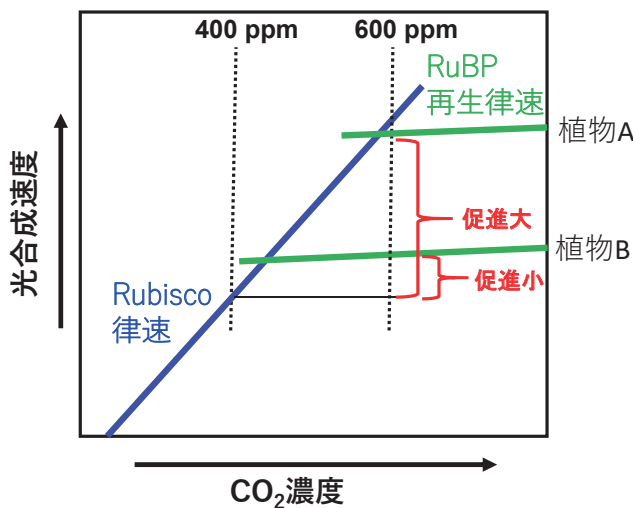


図2 光合成の律速要因と CO_2 応答 (p.67)

光合成速度は低 CO_2 濃度（400 ppm）ではRubisco（青）、高 CO_2 濃度（600 ppm）ではRuBP再生（緑）の能力によって律速される。実際の光合成速度は、それらの低い方に従うこととなる。光合成速度は CO_2 濃度の上昇により増加するが、その程度はRubisco律速の場合の方が大きい。光合成の律速のバランスは植物によって異なる。植物Aは植物BよりもRubisco律速が強いいため高 CO_2 による光合成の促進効果が大きくなる。

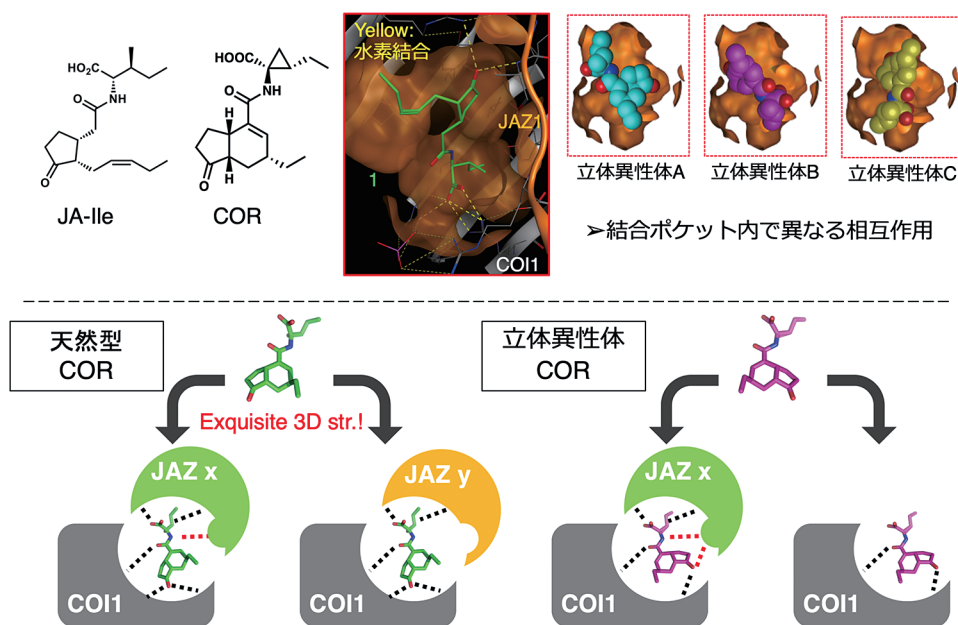


図3 立体異性体を用いるバイアス型アゴニスト開発戦略 (p.219)

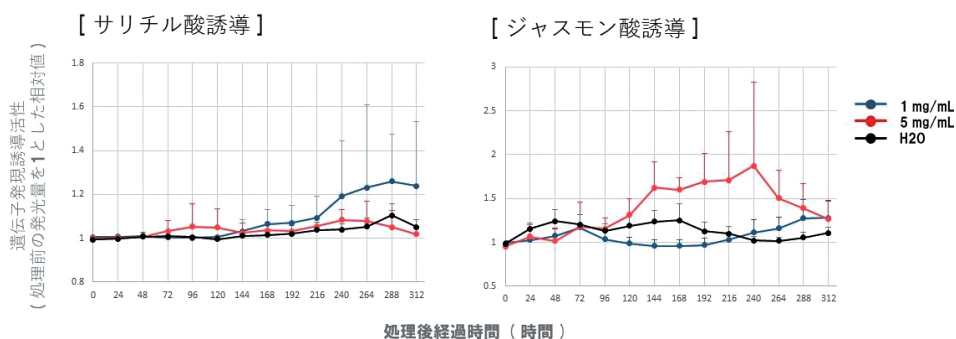


図4 LMC刺激による植物ホルモン：サリチル酸およびジャスモン酸の遺伝子発現変動 (p.285)

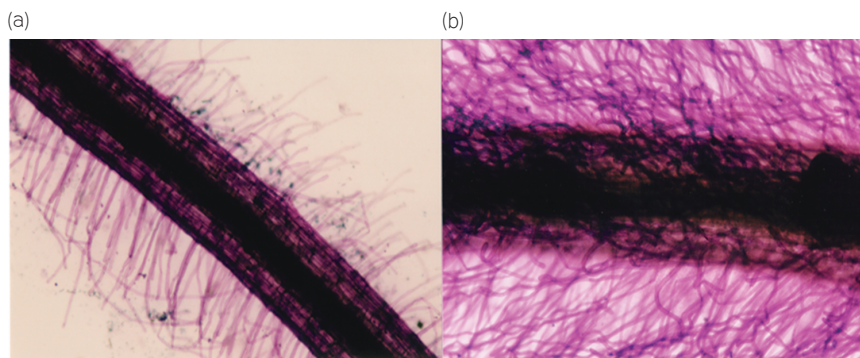


図5 ペプチドのコマツナ根毛増殖効果 (p.309)

(a)ペプチド添加なし, (b)ペプチド添加あり

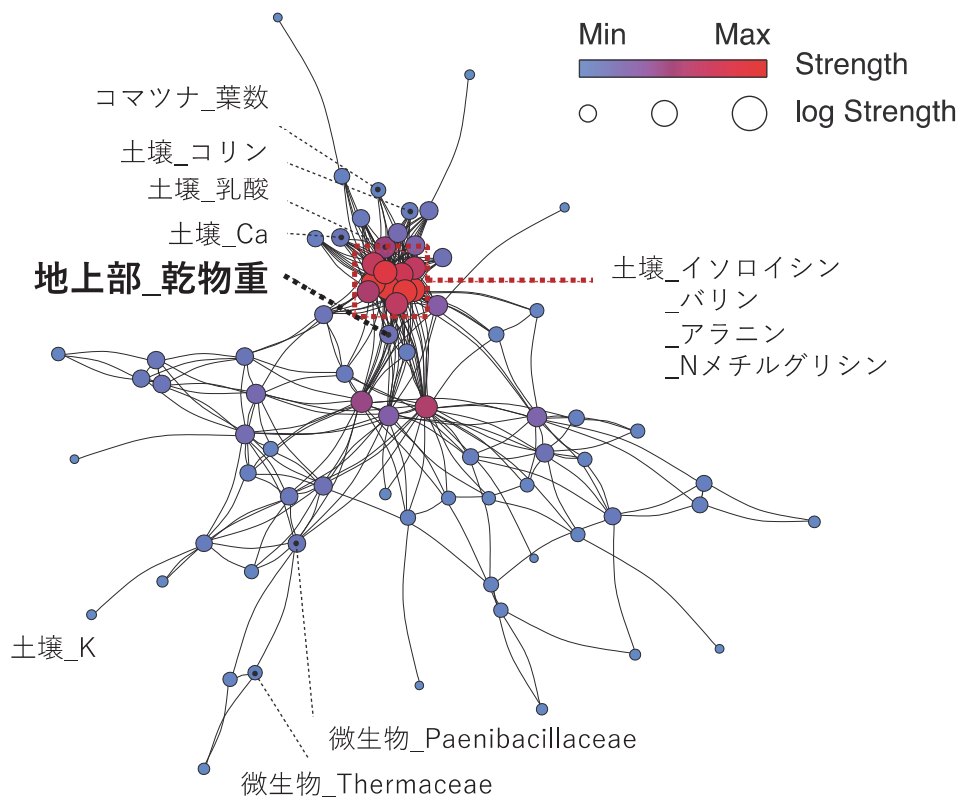


図3 作物収量(乾物重)を含むモジュール (p.325)

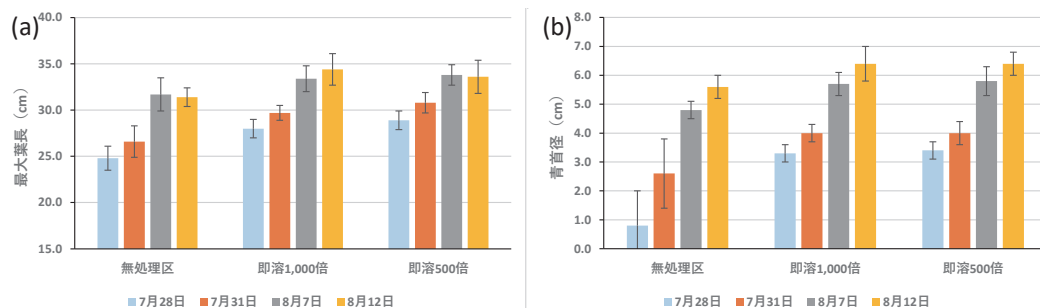


図3 「アラガーデン・ファーム【即溶】」を葉面散布したダイコンの生育調査 (2020年 北海道) (p.333)

(a)最大葉長, (b)青首径。いずれもエラーバーは標準偏差。

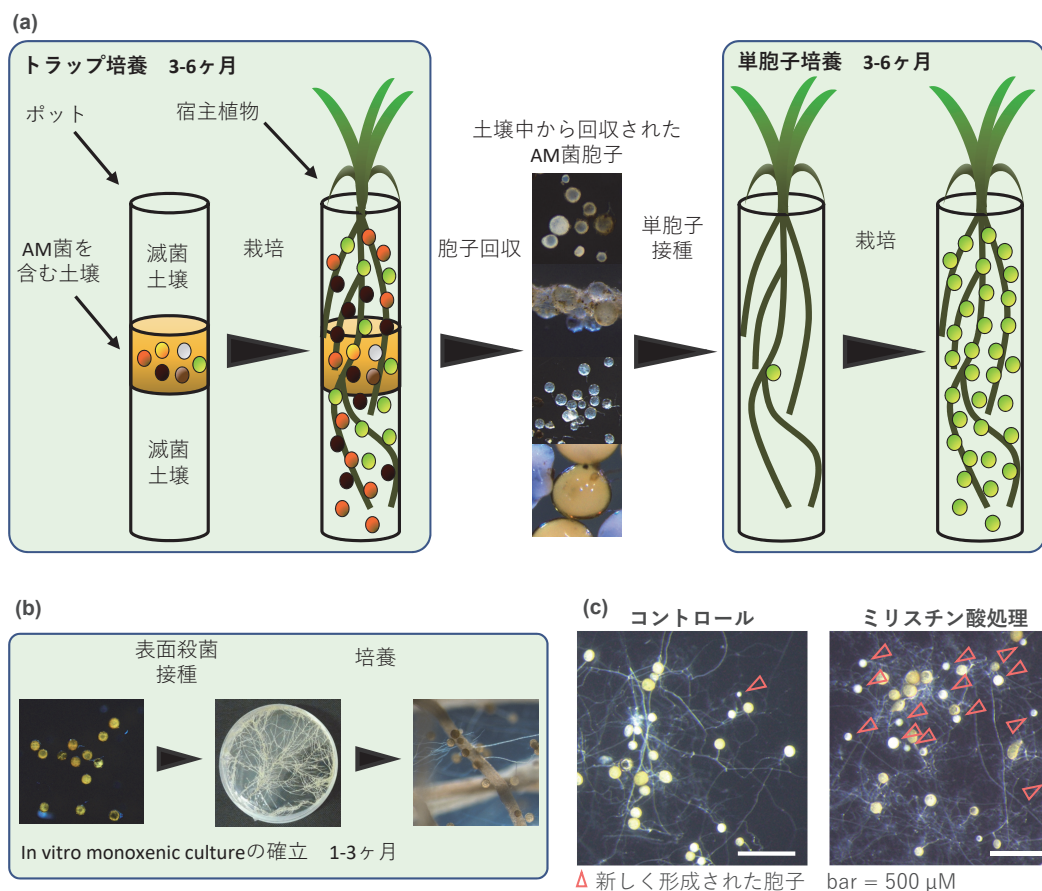


図2 ポット栽培によるアーバスキュラー菌根 (AM) 菌のトラップ培養から単離培養までのフロー(a), AM 菌の *in vitro* 二員培養(b), 脂肪酸による AM 菌の純粋培養(c)^[16] (p.345)

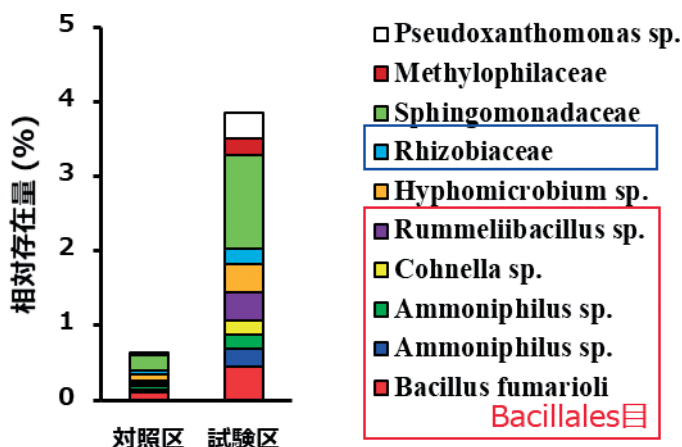


図4 土壌フローラ解析 (p.410)

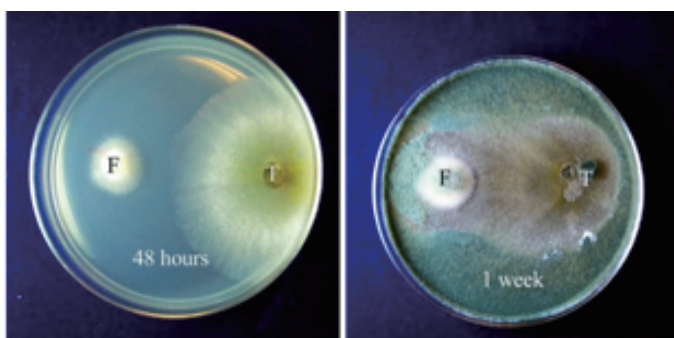


図1 フザリウム菌とトリコデルマ菌の生育速度の違い (p.441)

T：トリコデルマ，F：フザリウム，左：対峙培養開始 48 時間後，右：対峙培養開始 1 週間後

監修者・執筆者一覧 (掲載順・敬称略)

【監修者】

山内 靖雄	神戸大学 大学院農学研究科 准教授
須藤 修	日本バイオステイミュラント協議会 事務局長／アリスタライフサイエンス株式会社 プロダクトマネージャー
和田 哲夫	日本バイオステイミュラント協議会 技術顧問／ジャパンアイピーエムシステム株式会社 代表

【執筆者】

山内 靖雄	神戸大学 大学院農学研究科 准教授
須藤 修	日本バイオステイミュラント協議会 事務局長／アリスタライフサイエンス株式会社 プロダクトマネージャー
広田 知良	九州大学 大学院農学研究院 教授
平山 隆志	岡山大学 資源植物科学研究所 教授
矢守 航	東京大学 大学院農学生命科学研究科 准教授
真野 純一	山口大学 大学研究推進機構総合科学実験センター 教授
且原 真木	岡山大学 資源植物科学研究所 教授
深山 浩	神戸大学 大学院農学研究科 准教授
山根 浩二	近畿大学 農学部 准教授
三屋 史朗	名古屋大学 大学院生命農学研究科 准教授
大井 崇生	名古屋大学 大学院生命農学研究科 助教
谷口 光隆	名古屋大学 大学院生命農学研究科 教授
吉田 拓也	Technische Universität München Lehrstuhl für Botanik Group Leader
篠崎 和子	東京農業大学 農生命科学研究科 教授
伊藤 晋作	東京農業大学 生命科学部 准教授
森 昌樹	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門
浅見 忠男	東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授
草島 美幸	東京大学 大学院農学生命科学研究科 研究員
仲下 英雄	福井県立大学 生物資源学部 教授
原 正和	静岡大学 グリーン科学技術研究所 教授
城所 聡	東京大学 大学院農学生命科学研究科 特任講師／現 東京工業大学 生命理工学院 助教
金丸 研吾	神戸大学 大学院農学研究科 准教授

執筆者一覧

佐藤 奏音	東北大学 大学院工学研究科
石丸 泰寛	東北大学 大学院工学研究科 准教授
魚住 信之	東北大学 大学院工学研究科 教授
開 勇人	岩手大学 大学院連合農学研究科／現 岩手医科大学 医菌薬総合研究所 助教
上村 松生	岩手大学 農学部 教授
河村 幸男	岩手大学 農学部 准教授
三ツ井 敏明	新潟大学 農学部 教授
Yuniar Devi Utami	東京大学 大学院総合文化研究科 特任研究員
晝間 敬	東京大学 大学院総合文化研究科 准教授
番場 大	東北大学 大学院生命科学研究科 助教
佐藤 修正	東北大学 大学院生命科学研究科 教授
土松 隆志	東京大学 大学院理学系研究科 准教授
岩田 道顕	元 明治製菓株式会社 生物産業研究所
藤田 萌香	福井県立大学 生物資源学部 研究員
鳴坂 真理	岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所 植物活性化研究グループ 流動研究員
鳴坂 義弘	岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所 植物活性化研究グループ グループリーダー
古屋 俊樹	東京理科大学 理工学部 准教授
朽津 和幸	東京理科大学 理工学部 教授
上田 実	東北大学 大学院理学研究科/生命科学研究科 教授
渡辺 和彦	一般社団法人食と農の健康研究所 代表理事/所長
和田 哲夫	日本バイオステイミュラント協議会 技術顧問／ジャパンアイピーエムシステム株式会社 代表
佐古 香織	近畿大学 農学部 助教
戸高 大輔	国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員
Zarnab Ahmad	国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター 国際プログラム・アソシエイト
Khurram Bashir	国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター 研究員
関 原明	国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター チームリーダー／国立研究開発法人理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員／横浜市立大学 木原生物学研究所 客員教授
飯野 藤樹	デンカ株式会社 インフラソリューション開発研究所
工藤 徹	アクプラント株式会社 研究開発チーム チームリーダー
金 鍾明	アクプラント株式会社 代表取締役社長／東京大学 大学院農学生命科学研究科 特任准教授

東山 隆信	株式会社林原 フードシステムソリューション部門新領域開拓室
西村 安代	高知大学 農林海洋科学部 教授
樋口 昌宏	焼津水産化学工業株式会社 開発本部研究開発部 新規開拓グループ長
玉井 鉄宗	龍谷大学 農学部 講師
山田 拓史	ロイヤルインダストリーズ株式会社 専務取締役
久保 幹	立命館大学 生命科学部 教授
阿久澤 拓己	株式会社カネカ R&B 本部新規事業開発部 GSSG チーム 主任
二瓶 直登	福島大学 農学群食農学類 准教授
市橋 泰範	国立研究開発法人理化学研究所 植物-微生物共生研究開発チーム チームリーダー
西川 誠司	清和肥料工業株式会社 技術顧問
佐藤 匠	国立研究開発法人理化学研究所 植物-微生物共生研究開発チーム 特別研究員
小池 正徳	帯広畜産大学 畜産フィールド科学センター 教授/センター長
富田 悠斗	株式会社北海道糖業
山崎 蔵亨	株式会社北海道糖業
相内 大吾	帯広畜産大学 グローバルアグロメディシン研究センター 准教授
浅野 眞一郎	北海道大学 大学院農学研究院 教授
中安 大	京都大学 生存圏研究所 特任助教
杉山 暁史	京都大学 生存圏研究所 准教授
杉井 太一	十勝農業協同組合連合会 農産部農産化学研究所
BASLAM Marouane	新潟大学 農学部 特任助教
AYCAN Murat	新潟大学 農学部 特任助教
眞木 祐子	雪印種苗株式会社 研究開発本部北海道研究農場 植物機能性研究Ⅰグループ 係長
佐藤 長緒	北海道大学 大学院理学研究院 准教授
北川 隆徳	アサヒクオリティードイノベーションズ株式会社 新規事業開発部 プロジェクトマネジャー
鈴木 基史	愛知製鋼株式会社 未来創生開発部次世代あぐり開発グループ グループ長
谷口 伸治	片倉コープアグリ株式会社 筑波総合研究所 上席主任研究員
高木 篤史	株式会社サカタのタネ ソリューション統括部 主席技術員
高谷 憲之	株式会社ハイポネックスジャパン 農芸プロダクツ部 部長
雲川 雄悟	立命館大学 大学院生命科学研究科
荒木 希和子	立命館大学 生命科学部 講師
小西 淳一	大幸薬品株式会社 研究部 マネージャー

目 次

序論 バイオスティミュラントの現状と普及に向けた今後の課題

(山内 靖雄, 須藤 修)

1. 環境ストレスと戦う日本の農業の歴史 3
2. 環境ストレス応答研究の農業への貢献—研究者の視点から 3
3. バイオスティミュラントの開発と普及の現状—開発者の視点から 5
4. 本書のねらい 8

第 1 編 植物生理

第 1 章 気候変動と農業

第 1 節 気象予測から見る日本農業の未来

(広田 知良)

1. はじめに 11
2. 日本における温暖化・気候変動の現状と将来予測 11
3. 地球温暖化と 10 年規模海洋変動からの観点 12
4. 気候変動に伴う極端気象が農業に与える影響 13
5. 気象情報を活用した栽培対応, 水稻早期警戒システム, 栽培管理支援システム 16
6. 気象情報活用の土地利用型農業への展開 16

第 2 節 気候変動と植物の環境ストレス応答

(平山 隆志)

1. はじめに 19
2. 地球規模の気候変動 19
3. 想定される環境ストレス 21
4. 対処法の現状と課題 24
5. おわりに 26

第 2 章 環境ストレスに対する植物の応答メカニズム

第 1 節 高温環境下で光化学系活性が低下する 2 つの異なるメカニズム

—障害と応答—

(山内 靖雄)

1. はじめに 29
2. 光化学系を構成するタンパク質複合体群 29

目次

3. チラコイド膜内での2つの電子の流れ 一リニア電子伝達系とサイクリック電子伝達系—	30
4. 光化学系タンパク質複合体の異なる安定性	31
5. 高温ストレス時の光化学系活性低下に関わる障害と応答機構	32
6. 光化学系から見た高温による植物の生産性低下メカニズム	35
7. 自然環境下での高温障害回避のために	36
 第2節 高温ストレスにおける炭酸同化系の応答	(矢守 航)
1. はじめに	37
2. ルビスコのカルボキシレーション反応とカルビン回路	37
3. ルビスコのオキシゲネーション反応と光呼吸	38
4. ルビスコの活性化制御	39
5. 葉の光合成に対する高温の影響	40
6. 今後の展望	44
 第3節 植物の環境応答とレドックス制御：活性酸素と活性カルボニルの意義	(真野 純一)
1. はじめに	45
2. 植物細胞では活性酸素は大量に生成し、大量に消去されている	45
3. 環境ストレスと活性酸素	50
4. 活性カルボニル種 (RCS)：ROS シグナルの二次メッセンジャー分子	53
5. まとめ	58
 第4節 水ストレスが植物に与える影響と植物の応答	(且原 真木)
1. はじめに	61
2. 浸透圧と水ポテンシャル	61
3. 過剰害あるいは過湿害	62
4. 乾燥ストレスと塩ストレス	63
5. 機能水	64
 第5節 高 CO ₂ 環境が植物生理に与える影響	(深山 浩)
1. はじめに	65
2. 高 CO ₂ 環境が作物の生産生理に及ぼす影響	66
3. 高 CO ₂ 応答と遺伝子発現変化	70
4. 高 CO ₂ 環境に適した作物の開発	74

第6節 塩ストレスが植物に与える影響と適応機構

(山根 浩二, 三屋 史朗, 大井 崇生, 谷口 光隆)

1. はじめに	77
2. 塩ストレスにより誘導される葉緑体傷害	77
3. 適合溶質による塩ストレスへの適応	80
4. 塩の排出機構 (塩腺)	85

第3章 ストレス応答に関わる植物ホルモン

第1節 乾燥・高温ストレスに関わる植物ホルモン

(吉田 拓也, 篠崎 和子)

1. 植物ホルモンと環境ストレス応答	89
2. 乾燥ストレス応答に関わる植物ホルモン	89
3. 高温ストレス応答に関わる植物ホルモン	93
4. 植物ホルモンシグナル伝達経路の相互作用と展望	96

第2節 根圏のストレス応答に関わる植物ホルモン (伊藤 晋作, 森 昌樹, 浅見 忠男)

1. はじめに	99
2. 根寄生雑草	99
3. 根の伸長阻害	102
4. 根寄生線虫	102
5. 根圏病害	104

第3節 生物ストレスに関わる植物ホルモン

(草島 美幸, 仲下 英雄)

1. はじめに	107
2. SA を介する生物ストレス応答	107
3. JA を介する生物ストレス応答	111
4. ブラシノステロイドを介する生物ストレス応答	113
5. ストリゴラクトンを介する生物ストレス応答	113
6. ストレス応答シグナル間のクロストーク	113
7. 植物の防御応答を攪乱する病原体	114
8. おわりに	117

第4章 遺伝子による環境ストレス制御メカニズム

第1節 HSP 遺伝子活性化物質による高温耐性向上メカニズム

(原 正和)

1. はじめに	119
2. 植物の高温ストレス応答機構	120

目次

3. HTLEs とその作用	123
4. HTLEs のバイオスティミュラントへの適用	127
5. おわりに	128
 第2節 <i>DREB1</i> 遺伝子発現制御による低温ストレス耐性メカニズム (城所 聡)	
1. 植物の低温ストレス耐性および馴化獲得機構	131
2. <i>DREB1</i> /CBF 転写因子を介した低温ストレス応答機構	131
3. <i>DREB1</i> 遺伝子の発現量を制御する転写因子群	133
4. CAMTA 転写因子を介した <i>DREB1</i> 遺伝子の発現制御機構	134
5. 概日時計関連転写因子を介した <i>DREB1</i> 遺伝子の発現制御機構	135
6. おわりに	136
 第3節 5-アミノレブリン酸 (5-ALA) による遺伝子発現と環境ストレス耐性メカニズム (金丸 研吾)	
1. はじめに	139
2. テトラピロール合成系の遺伝子発現と 5-ALA 合成制御機構	141
3. 5-ALA 投与による非生物的ストレスへの耐性増強効果と遺伝子発現	142
4. 5-ALA 投与による果色改善効果と遺伝子発現	143
5. 5-ALA 投与による生物的ストレスへの耐性増強効果と遺伝子発現	144
6. 今後の 5-ALA 研究における課題と展望	144
 第5章 植物の環境ストレス応答における分子メカニズム	
第1節 環境ストレスに対抗する植物イオンチャネル制御メカニズム (佐藤 奏音, 石丸 泰寛, 魚住 信之)	
1. はじめに	147
2. イオン輸送体とその駆動力	147
3. 環境ストレスとイオンチャネル制御形式	149
4. おわりに	152
 第2節 植物の温度感知とカルシウムシグナルを用いた低温馴化制御メカニズム (開 勇人, 上村 松生, 河村 幸男)	
1. はじめに	155
2. 植物はどのように季節を知るか	155
3. 温度感知と低温馴化制御	156
4. おわりに	161

第3節 高温登熟による玄米白濁化メカニズム

(三ツ井 敏明)

1. はじめに	165
2. デンプン分解酵素が玄米白濁化に関与する	165
3. 高温登熟はデンプンの代謝バランス異常を引き起こす	167
4. <i>MSDI</i> 強発現は高温登熟耐性をもたらす	168
5. 過酸化水素プライミングは玄米白濁化を軽減する	168
6. おわりに	170

第6章 植物 - 微生物共生システム

第1節 メタオミクス解析を活用した植物有用微生物の単離およびその機能の解明

(Yuniar Devi Utami, 晝間 敬)

1. 植物微生物相互作用におけるメタオミクス解析	173
2. メタオミクス解析を用いた植物と相互作用する微生物の同定および その機能の推定	174
3. メタオミクス解析から浮かび上がってきた微生物候補の単離および その機能の解明	175
4. おわりに	177

第2節 マメ科植物の生育を促す根粒菌の多様性解明

(番場 大, 佐藤 修正, 土松 隆志)

1. マメ科植物と根粒菌の共生関係の多様性	179
2. 根粒菌との共生関係に存在する特異性とその分化	180
3. マメ科のモデル植物ミヤコグサとその共生根粒菌	182
4. 植物生育への根粒菌の効果	184

第7章 植物免疫システム

第1節 植物の免疫を活性化するプラントアクチベーターとしてのプロベナゾール

(岩田 道顕)

1. はじめに	187
2. プロベナゾールの防除作用の特徴	188
3. プロベナゾールとサリチル酸情報伝達系	190
4. プロベナゾールの抵抗性誘導作用と植物ホルモン	192
5. まとめ	193

目次

第2節 植物共生微生物により誘導される病害抵抗性とプライミング

(藤田 萌香, 仲下 英雄)

1. はじめに	195
2. 植物の免疫機構	195
3. 根圏微生物との相互作用による病害抵抗性の誘導	197
4. 植物共生微生物による病害抵抗性の誘導	197
5. アーバスキュラー菌根菌の定着による植物免疫の活性化	199
6. おわりに	199

第3節 抵抗性タンパク質ペアによる病原体認識・抵抗性発現メカニズム

(鳴坂 真理, 鳴坂 義弘)

1. 植物による病原体の認識	201
2. エフェクターを認識する受容体	202
3. 抵抗性タンパク質ペアの実用化技術の開発に向けて	204
4. まとめ	206

第4節 植物の免疫システムを活性化する微生物の簡便な評価手法の開発

(古屋 俊樹, 朽津 和幸)

1. はじめに	209
2. 植物培養細胞とエリシターを利用した植物免疫活性化微生物の評価手法	210
3. 植物免疫を活性化するコマツナ内生菌のスクリーニング	211
4. シロイヌナズナの植物体を用いた病害抵抗性試験	212
5. おわりに	214

第5節 植物ホルモン受容体「バイアス型アゴニスト」による病原菌感染耐性メカニズム

(上田 実)

1. はじめに	217
2. 植物ホルモン受容体の遺伝的冗長性と機能分化	217
3. 植物ホルモンミミックの立体異性体を用いる受容体サブタイプ選択的 アゴニストの開発	219
4. おわりに	221

第2編 バイオスティミュラント開発事例

第1章 バイオスティミュラント事業化動向

第1節 バイオスティミュラント素材の開発動向とビジネス展開 (渡辺 和彦)

1. 無機元素—バイオスティミュラントとして認められているケイ酸 225
2. バイオスティミュラントとしてのフルボ酸, フミン酸 228

第2節 バイオスティミュラントの海外動向 (和田 哲夫)

1. 世界のバイオスティミュラント (BS) の動向 237
2. BS の製品数の多い地域, 国および市場規模 237
3. 各国の BS についての法令および扱いの現状 238

第2章 腐植物質, 有機酸 (腐植酸, フルボ酸など) 系素材開発

第1節 エタノールなどの化合物による環境ストレス耐性強化 (佐古 香織, 戸高 大輔, Zarnab Ahmad, Khurram Bashir, 関 原明)

1. ケミカルプライミングによる環境耐性強化 243
2. エタノールによる環境ストレス耐性強化 243
3. ニコチン酸による乾燥耐性強化 247
4. おわりに 248

第2節 腐植物質資材によるバイオスティミュラントの開発 (飯野 藤樹)

1. 腐植物質とは 251
2. 作物生育に対する腐植物質の効果 251
3. 腐植酸苦土肥料「アヅミン」の製造・販売 253
4. 「アヅミン」「アヅ・リキッド」の施用効果 253
5. 環境 (非生物的) ストレスへの抵抗性に関する
「アヅミン」「アヅ・リキッド」による試験事例 253
6. 新たな腐植酸液状複合肥料の開発 254
7. 当社腐植酸肥料の特徴 255
8. 今後の開発に向けて 257

第3節 酢酸バイオスティミュラント剤の意義と利用法 (工藤 徹, 金 鍾明)

1. 環境, 気候変動の概略 259
2. 農業・園芸における酢酸の利用 259
3. 他の乾燥対策技術との違い 260

目次

4. バイオスティミュラントとしての酢酸の機能メカニズム	260
5. 酢酸バイオスティミュラント「スキーボン」の施用方法	262
6. 酢酸バイオスティミュラント「スキーボン」を用いた効果の実際	263
7. 酢酸バイオスティミュラントの広がりとは今後	265

第3章 海藻および海藻抽出物，多糖類系素材開発

第1節 持続可能な作物生産とトレハロース (東山 隆信)

1. はじめに	267
2. トレハロースとは	267
3. バイオ製剤とトレハロース	268
4. バイオスティミュラントとしてのトレハロース	269
5. 持続可能な農業に貢献するトレハロース	270
6. 今後の展開	271

第2節 トレハロースによるピーマン，ナスの低温・高温耐性の反応と バイオスティミュラントの開発 (西村 安代)

1. はじめに	273
2. 低温期におけるピーマンへの効果	273
3. 高温期におけるナスへの効果	274
4. トレハロースを用いたバイオスティミュラントの開発	278

第3節 かに殻由来の機能性成分・低分子量キチン (LMC) (樋口 昌宏)

1. はじめに	281
2. キチンとキトサン	281
3. LMC と病原抵抗性	282
4. LMC の BS 効果事例	283
5. LMC と植物ホルモン	284
6. LMC と土壌微生物叢	285

第4節 琵琶湖由来水草堆肥のバイオスティミュラントとしての利用 (玉井 鉄宗)

1. 琵琶湖と水草	287
2. 水草の農業利用の歴史	287
3. 水草利用の現状	288
4. 水草堆肥の有機肥料として評価	289
5. 水草堆肥の土壌改良剤として評価	290
6. 水草堆肥に含まれるバイオスティミュラント	291

7. 水草堆肥におけるバイオスティミュラント研究の意義	292
第5節 バイオスティミュラントとしての海藻抽出物	(山田 拓史)
1. はじめに	295
2. 農業用市販商品	296
3. 効果	296
4. 含有成分	299
5. 製法と効果の関係	302

第4章 アミノ酸およびペプチド系資材開発

第1節 微生物分解した大豆タンパク質由来ペプチドの根毛増殖	(久保 幹)
1. はじめに	305
2. 大豆タンパク質と肥料効果	305
3. 大豆タンパク質分解微生物の探索	306
4. 大豆ペプチドの植物成長効果	307
5. 微生物分解した大豆タンパク質由来ペプチドの根毛増殖効果	308
6. 大豆タンパク質由来ペプチドのバイオスティミュラントとしての利用	310

第2節 酸化型グルタチオンを用いたバイオスティミュラント資材の開発	(阿久澤 拓己)
1. はじめに	311
2. 酸化型グルタチオンの農業資材への活用	311
3. グルタチオンとは	312
4. 酸化型グルタチオンが植物の成長に与える影響例	313
5. カネカ ペプチドの栽培事例	314
6. まとめ	318

第3節 アミノ酸による植物生育への作用メカニズム	(二瓶 直登, 市橋 泰範)
1. 作物生育にとってのアミノ酸	319
2. アミノ酸のスクリーニング	319
3. アミノ酸の直接吸収	321
4. 吸収したアミノ酸の代謝	323
5. 圃場における作物生育へのアミノ酸の影響評価	324
6. まとめ	326

第4節 5-アミノレブリン酸の農業利用に関する研究	(西川 誠司)
1. はじめに	327

目 次

2. 5-アミノレブリン酸 (5-ALA) の植物への作用に関する研究	327
3. 5-アミノレブリン酸が農業資材として応用される場面の実際	332
4. おわりに	338

第 5 章 微生物系資材開発

第 1 節 アーバスキュラー菌根菌の力を利用する

バイオスティミュラント資材の開発に向けて (佐藤 匠, 市橋 泰範)

1. はじめに	341
2. リン肥料と黒ボク土	341
3. AM 菌とは	342
4. AM 菌の培養	344
5. AM 菌バイオスティミュラントの今後の展開	346

第 2 節 バイオスティミュラントとしての昆虫病原性細菌 *Bacillus thuringiensis* — トマトにおける PGPR 効果と病害抑制効果 —

(小池 正徳, 富田 悠斗, 山崎 蔵亭, 相内 大吾, 浅野 眞一郎)

1. はじめに	349
2. 材料と方法	350
3. 結 果	353
4. 考 察	357
5. まとめ	359

第 3 節 根圏微生物叢を制御するバイオスティミュラント

(中安 大, 杉山 暁史)

1. はじめに	361
2. 植物特化代謝物により形成される根圏微生物叢	361
3. イソフラボンによる根圏微生物叢形成	362
4. 根圏に分泌されるサポニン	363
5. サポニンによる根圏微生物叢の形成	364
6. サポニンの構造と細菌叢形成能の相関	365
7. イソフラボン, サポニンを分解する土壤微生物	368
8. 植物特化代謝物の利用	368

第 4 節 マメ科作物の安定生産に有用な微生物資材の開発

(杉井 太一)

1. はじめに	371
2. マメ科作物と根粒菌	371
3. 根粒菌普及事業	374
4. 新たな微生物資材の開発	377

5. 今後の課題	379
 第5節 微生物由来の揮発性バイオスティミュラントの開発	
(BASLAM Marouane, AYCAN Murat, 三ツ井 敏明)	
1. はじめに	381
2. 微生物由来バイオスティミュラント：技術，植物科学，農業の現状	381
3. 植物との相互作用における微生物由来揮発性化合物（mVC）： 概念，多様性，作用機序，応用	382
4. 植物のコミュニケーションに関与する mVC	384
5. 植物-mVC 相互作用のための共培養システムおよび技術の開発	386
6. 結論と展望：ラボからマーケットへの mVCs アプローチ	387
 第6章 その他素材開発	
 第1節 作物の高温耐性を高める揮発性バイオスティミュラント「すずみどり」	
(山内 靖雄)	
1. はじめに	391
2. 光合成生物であるがゆえに環境ストレスの影響を受けやすい植物	391
3. 高温・酸化ストレス応答シグナルとして機能する RSLV	393
4. 遺伝子発現様式から見たみどりの香りの機能	394
5. 揮発性バイオスティミュラントとしてのすずみどりの開発	395
6. 圃場におけるすずみどりの実施例	396
 第2節 乳酸菌培養液由来バイオスティミュラントの開発 (眞木 祐子, 佐藤 長緒)	
1. はじめに—乳酸菌とその応用	399
2. ボカシ肥料中発根促進物質	399
3. 乳酸菌代謝物の非生物的ストレス耐性付与	402
4. 乳酸菌培養液由来バイオスティミュラントの開発	403
 第3節 ビール酵母由来素材によるバイオスティミュラントの開発 (北川 隆徳)	
1. 開発の経緯	405
2. 植物への作用：抵抗性誘導と側根誘導	406
3. 植物への作用：ジャスモン酸誘導による増収効果	407
4. 土壌還元消毒への応用	408
5. 農業現場での使用事例	409
6. 温室効果ガス排出量の削減	411

目 次

第4節 鉄吸収向上バイオスティミュラントの開発

(鈴木 基史)

1. 鉄の役割と欠乏症 413
2. 鉄の吸収メカニズム 414
3. 鉄吸収を向上させる資材 415
4. 鉄資材の利かせ方とそのメカニズム 416
5. おわりに 418

第5節 微量要素を主成分とするバイオスティミュラント資材

(鳴坂 義弘, 谷口 伸治, 鳴坂 真理)

1. 生長と防御応答のトレードオフ 421
2. 微量要素の働き 421
3. 微量要素を主成分とするバイオスティミュラント資材 423
4. イチゴにおける微量要素資材の作用機作 423
5. イチゴにおける微量要素資材の効果 424
6. 作物の健全な生育と収量の向上 426
7. 乾燥ストレス耐性の付与効果 427
8. まとめ 427

第7章 適用事例

第1節 バイオスティミュラントの効果的活用法の提案

(高木 篤史)

1. はじめに 429
2. BS の分類と期待される効果 430
3. バイオスティミュラントの活用法について 431
4. 実践例：微生物を利用した病害抑止土壌の作り方 435

第2節 トリコデルマ・ハルジアナム T-22 を利用したバイオスティミュラント 資材「トリコデソイル」の農業利用

(須藤 修)

1. はじめに 439
2. バイオスティミュラントに利用される主な微生物群の分類 439
3. 微生物型バイオスティミュラントの主な機能例 440
4. 微生物型バイオスティミュラントに求められること 440
5. トリコデルマ菌の農業利用 441
6. トリコデルマ菌の農業利用の事例 444
7. まとめ 447

第3節 バイオステイミュラント資材の民間活用事例

(高谷 憲之)

1. はじめに	449
2. 具体的な効果例	449
3. 近年の状況	451

第4節 有機土壌環境と木酢液の植物病抑制効果

(久保 幹, 雲川 雄悟, 荒木 希和子, 小西 淳一)

1. はじめに	455
2. 化学土壌環境と有機土壌環境	455
3. 木酢液	455
4. 根こぶ病	456
5. 土壌環境と根こぶ病	456
6. 木酢液と根こぶ病	457
7. 木酢液が土壌微生物に及ぼす影響	458
8. 木酢液の農業利用	459

※本書に記載されている会社名, 製品名, サービス名は各社の登録商標または商標です。なお, 本書に記載されている製品名, サービス等には, 必ずしも商標表示 (® , TM) を付記していません。



序 論

バイオスティミュラントの現状と 普及に向けた今後の課題

神戸大学 山内 靖雄
日本バイオスティミュラント協議会 須藤 修





1. 環境ストレスと戦う日本の農業の歴史

日本は地理的な特性から天変地異が多く、自然環境に生産性を大きく依存する農業は古代より、幾多の困難にさいなまれてきた。現代人も目にすることができる文字記録として最も初期のものにあたる続日本紀に、すでに西暦 706 年に農業が大変な環境ストレスに見舞われたことが書き記されており（その描写から、作物に対する強光・高温ストレスだと考えられる）、その後もさまざまな古文書で環境ストレスが農業に困難を与えてきたことを散見することができることから、日本人は常時、強い関心をもって環境ストレスに相對してきたという歴史がある。

それゆえ、農業を環境ストレスから保護することにも多大な関心が払われてきており、古くは呪術的な儀式が、その後は大規模な灌漑などの土木事業が行われた。江戸時代に入ると、現代の植物科学にも通じるような、環境ストレスに強い適材適所の作物品種の選定や植物の生理機能を制御することによって環境ストレスに對抗しようとする近代的な考え方が見られるようになる。例えば、佐藤信淵によって書かれた『培養秘録』という書物には、自然素材から窒素肥料やリン肥料を調製する方法はもとより、青草や乾燥した海藻までも作物の生育促進に活用する方法など、バイオスティミュラントとも言えるような農業資材の製法も記述されており、おそらく民間伝承的に現場の知恵として活用されてきているものを、当時の最先端技術集としてまとめたのだろうと推察される。したがって、本書で取り上げるバイオスティミュラントの考え方は、まだそのような単語のない昔から、経験的なものではあるが、作物の生育を促進する方法の背景として一部の篤農家の間で共有されていた考え方であったといえる。

しかし、このような努力にもかかわらず、20 世紀前半までは、日本の農業は環境ストレスに対して依然として脆弱で、植物栄養や農薬の状況も貧弱であったことも相まって、食糧事情は低調であった。そのため、日本の近代化を支えるための安定的な食糧供給体制の確立は、自然科学的な手法に基づいた研究を遂行する大学や官立の研究機関にとっては一大命題であった。その成果は戦後の経済発展期に現れ、自然科学的な知見に基づいて開発された化学肥料や農薬の利用によって農業の生産性は飛躍的に上昇し、多くの人々が食糧難から解放されたことは、実体験としてお持ちの方もいらっしゃるのではないかと思う。

では、現代の状況はどうであろうか。従来の農業技術は食糧の量を確保することに貢献したが、いま農業の世界では「量より質」への転換が進んでおり、安全で安心できる、品質の良い食糧生産が求められる時代に突入している。さらに地球規模での気候変動が進んでおり、すでに毎年どこかで、従来の最適な栽培条件から外れた気象条件が発生する事例が増えている。そのため、それに対応できない作物の生育不良や品質低下が頻発している実態があり、自然科学が進歩した現代でも、日本の農業と環境ストレスとの戦いは続いているのである。

2. 環境ストレス応答研究の農業への貢献—研究者の視点から

歴史上、食糧供給の不安定化が世の中の不安定化をもたらした事例はあまたあり、生存権や人権などの意識が高まった社会の近代化のためには、食糧の安定的供給が重要な命題となり、化学

バイオスティミュラントの現状と普及に向けた今後の課題

肥料の開発や農薬の利用など、植物栄養学や植物病理学的な知見が、農業の近代化に大きな貢献を果たしたことは先に述べた通りである。しかしながら化学肥料や農薬の普及がすでに進んでいたと考えられる1981年に、農業先進国であるアメリカの農業生産統計をもとに発表されたBoyerの論文によると、農業の生産性を阻害する最大の要因は依然として環境ストレスであり、それは作物の持つ生産性ポテンシャルを最大8割までも押し下げている、という試算がなされている。その論文の発表時以降も、農業技術の進歩はたゆまず続いていることから、現在の農業現場における環境ストレスの影響は当時よりは軽減されていると考えられるが、農家の方々の実感としては、それでも相変わらず環境ストレスは大きな阻害要因であるという位置づけは変わっていないようである。むしろ最近では、気候変動による異常気象も影響も相まって、環境ストレスに対する問題意識はますます大きくなっているのが実態だと考えられる。

以上の歴史的背景をもとに作物の生産性をグラフ化したものが図1左になる。植物の本来持つ生産性のポテンシャルを100%としたとき、伝統的な農法では通常の栽培条件では20%ほどしか作物は能力を発揮できていない。そこに化学肥料、農薬を使用して作物を良い栄養条件下で健全な生育を促すことで、その生産性は増強されてきた。しかし化学肥料や農薬の利用は現代農業ではほぼ飽和に達しており、これ以上の農業生産性の増強を望むためには、従来型対策とは異なる他の原理に基づく方法の開発が必要であり、そこで考えられている方策が依然として存在し続ける環境ストレスによる阻害を取り除くことによる生産性向上である。

環境ストレス応答に関する研究の目的は、究極的にはこのコンセプトに基づいて、環境ストレスから農業を保護することによる食糧の安定供給であり、化学肥料、農薬に続く第三の方策の開発である。そのために、多くの研究者が植物の環境ストレス応答の作用機作を明らかにする基礎的な研究に携わっており、そこで得られた知見を応用した技術の開発を試みている。日本の環境ストレス応答研究は、植物科学分野において、世界的に見ても最先端の研究が進められている得意分野であり、多くの知見が蓄積している。これは先にも述べたとおり、日本の農業が常に環境ストレスと戦ってきた歴史があり、それに対し地道に努力を積み重ねてきた農業関係者の思いが

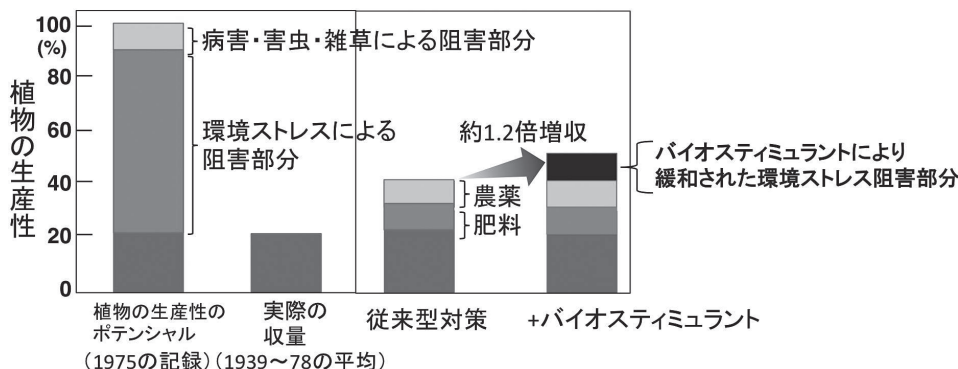


図1 バイオスティミュラントによる植物の生産性増強の概念

環境ストレスは作物の生産性を阻害する最大の要因である(図の左側)。バイオスティミュラントは、肥料や農薬の利用した従来型対策とは異なり、環境ストレスによる影響を緩和することで作物の生産性を増加させる(図の右側)。

あり、それが日本の研究者に反映されているからだと考えられる。

多くの研究者がさまざまな方法論で環境ストレスへの対応策を模索しているが、その方法論の1つとして、植物が本来持つ抵抗力に着目し、植物生理学的な作用機序を促してストレス耐性を高めようという狙いで開発されている農業資材がバイオスティミュラントである。農業生産性に対するバイオスティミュラントの効果をモデル化すると、図1右のようになる。作物の生産性は、従来型の化学肥料や農薬の利用により大きく飛躍したが、それらでは対処できない環境ストレスの影響をバイオスティミュラントが緩和することで、さらなる農業生産性の増加を狙ったものである。この例では、環境ストレスの影響を10%取り除くことで、作物の生産性が20%増加する、ということを示している。

バイオスティミュラントに関しては、これまで経験的に用いられている資材が多いことや科学的知見が不足していることもあって、科学的根拠に乏しい農業資材という印象をもたれてきた。しかし、近年はバイオスティミュラントに関わる研究者が増加していることを反映して、バイオスティミュラントとして用いられる物質に関して科学的根拠を裏付ける論文も増加しており、今後もバイオスティミュラントの有用性に着目した研究者が新たに参入することにより、多くの研究成果がもたらされることが容易に予想される。

3. バイオスティミュラントの開発と普及の現状—開発者の視点から

農林水産省の報告によると、2019年の平均気温は1898年の統計開始以来の最高気温を記録した。気温の上昇による農産物への影響報告は日本各地から寄せられている。長雨による日照時間の減少は葉物野菜などの出荷価格を変動させる大きな要因となっている。

水稻では出穂期以降の高温により、白未熟粒や胴割粒を起こす。リンゴやブドウでは着色不良や着色遅延の問題が産地で顕在化し、トマトの着果不良、ミカンの浮皮など、多くが環境由来のストレス（非生物的ストレス）によるものだと考えられている。病虫害や雑草管理、肥培管理、育種技術、農機具、栽培施設など、従来のさまざまな技術は農産物供給の最大化と安定化の実現に貢献してきたが、今や作物のストレス制御という新たな問題解決の必要性に迫られている。農業の効率化を飛躍的に高め、収量アップや品質改善を目標とする「バイオスティミュラント」技術の開発は、持続可能な農業の確立にとってますます必要になっていくことであろう。

バイオスティミュラントの農業資材としての定義は諸説あるが、要約すると、「植物により良い生理状態をもたらすさまざまな物質や微生物であり、植物やその周辺環境が本来持つ自然な力を活用して、植物の健全さ、ストレスへの耐性、収量と品質、収穫後の状態や貯蔵性について好影響を与えるもの」というのが一般的である。

農薬は、害虫・病気・雑草の防除が中心の農業資材である。一方、バイオスティミュラントは植物を取り巻く「非生物的ストレス」を緩和させるための資材である。高温、乾燥、日照不足、塩類障害など、外的な物理的ストレスの対策資材である。農薬は原因生物を殺すことが中心となるが、バイオスティミュラントは環境由来のストレスに対抗できる植物の体質改善をサポートする資材である。

バイオスティミュラントの現状と普及に向けた今後の課題

また、バイオスティミュラントには植物栄養効果はない。バイオスティミュラントには水分や土壌ミネラルの吸収を改善し、吸収した栄養素の代謝を改善する効果を持つものもあるので、植物栄養素との同時施用が一般的な使用方法であろう。

多くの自然由来の有用物質がバイオスティミュラントとして生産現場で使用されているが、一例として、次のような原料カテゴリーとして分類される。

- ・腐植物質
- ・海藻抽出物
- ・多糖類やキチン
- ・アミノ酸とペプチド
- ・微量ミネラル
- ・微生物資材
- ・その他、動植物の抽出成分や生体成分

さまざまなバイオスティミュラントが植物の生長ステージや外的ストレスの種類に応じて、肥料や農薬とともに使用され、作物の総合的な保護に役立っている（図2）。

古くは海藻や腐植物質は必要に応じて圃場で利用されてきたように、バイオスティミュラント資材は伝承的に取り扱われてきたことも事実である。科学者たちは植物生理学や分子生物学の手法を用い、それらがどのようにして産業上有益な効果をもたらしているのかを究明してきた。その結果、物質単位でバイオスティミュラントの効果がどのような作用で発現しているのか、またどの遺伝子を刺激した結果、植物への有益な反応が起こっているのか、徐々に解明されつつある。したがって、今後のバイオスティミュラントの開発は、旧来の自然素材の利用に留まらず、より積極的に単一化合物としてのバイオスティミュラント効果の追及も加速するであろう。しかしそれは、植物成長調整剤とのボーダーの不明瞭化を意味し、自然由来物から化学物質へのシフトが進むことである。食の安全や環境保全の観点から将来的には何らかの開発基準や使用基準が必要になると思われる。

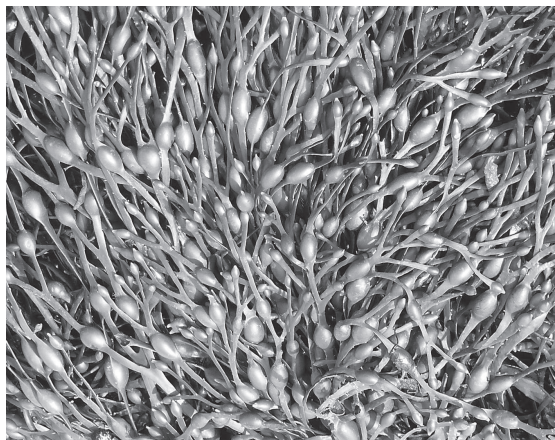


図2 農業で利用される代表的な海藻「*ascophyllum nodosum*」
フランスブルターニュ地方の海岸にて

植物が活発に育ち、ストレスに対して強く、高品質の収穫物を残すためには、どのような働きが求められるのだろうか。すなわち、これはバイオスティミュラント資材開発の方向性と言い換えてもよい。

——根を健全に作る

移植のストレスにも耐えられる健苗を作ることは育苗期に求められる最重要事項である。腐植物質、アミノ酸、酵母エキス、種々微生物資材など、根張りを良くするバイオスティミュラントが用いられる。

——水や栄養分の吸収力を高める

トレハロース、グリシンベタイン、プロリンなど、乾燥に対する抵抗力の付与が期待できるバイオスティミュラントは多数存在する。また、菌根菌などの一部の有用微生物は土壌粒子に強く結合したリン酸を効率的に吸収できるよう作用する。

——肥料成分の代謝を活性化する

アミノ酸や海藻エキスの散布で吸収した栄養成分の代謝を促す。残留硝酸態窒素を減らし、えぐ味のない美味しい野菜の収穫が期待できるものもある。

——光合成の能力を改善する

気孔を開いて二酸化炭素を適切に取り入れるための刺激成分の究明や、葉緑素の構成成分を葉面散布で供給するなど、バイオスティミュラント資材の可能性追究が続けられている。

——生理的なストレス耐性を高める

特定の多糖類を施すと、植物がカビに取り付かれたと勘違いを起こし、耐ストレス性能をアップする。このような免疫的な手法を用いるバイオスティミュラントの研究も進められている。

長年、農家の勘で使われてきた資材が、実はバイオスティミュラントとして科学的なメカニズムが働いていたという例は多数ある。

世界は今、人口爆発、地球温暖化、環境汚染、食料資源の浪費など、さまざまな問題を抱えている。これらの問題を放置すれば人類は近いうちに危機的な状況に直面すると言われている。特に食料の持続的な供給は地球規模で求められている課題である。

食料の生産、加工、輸送および消費に及ぶ食料システムの見直しは待ったなしの課題であろう。欧州ではファーム・トゥ・フォーク（畑から食卓まで）戦略の提言をいち早く行ってきた。日本でも農林水産省より「みどりの食料システム戦略」が提言され、健康な食生活や持続的な農林水産物の生産から消費を実現するための具体的な目標が提案されている。これら実現に向け、さまざまなイノベーション（技術革新）による新しい農業の姿が工程表としてまとめられている。

この中でバイオスティミュラントは、化学農薬のリスク低減のための技術革新として、天敵や生物農薬の開発と並び提案されている。作物のストレス耐性を向上し、干ばつや高温障害に強く、病気にかかりにくい植物の体質改善ができれば、環境負荷の大きい化学物質の使用量を抑制できるという期待が寄せられる。実際的には、化学農薬、生物農薬といった防除技術に、バイオスティミュラントをうまく組み合わせ、総合的作物管理（Integrated Crop Management；ICM）や有機農法へのシフトが進んでいくことであろう。

4. 本書のねらい

本書は、植物の環境ストレス応答研究からバイオスティミュラントの現状までを俯瞰できる1巻をまとめることを目的とし、特に、バイオスティミュラントを総合的に理解するために必要な学術的背景や基礎理論をできるだけ網羅的にカバーすることを心掛けた。そこでバイオスティミュラントが対象とする植物の環境ストレス応答機構に造詣の深い、日本の第一人者の先生方に執筆を依頼した成果として、本書の前半は大学・大学院の教科書レベルの充実した学術的内容が占めることとなった。第1編は気候変動の現状とその分析から予想される農業の未来像、そして今後、影響が大きくなるであろう環境ストレスに対する植物の応答機構について、植物生理学的知見に基づいた学術的な解説が中心となっており、バイオスティミュラント研究の理論的基盤の形成に役立つ内容となっていることは間違いない。

第2編では、すでに実用化されているバイオスティミュラントの開発事例をはじめ、これからの応用を目指した挑戦的な資材についても解説していただいたくべく、学術・産業の両面からその道のエキスパートの方々に執筆を依頼した。バイオスティミュラントがさまざまな着眼点に基づいて開発されている多様性に富んだ資材であることを再認識できるとともに、持続可能な農業に貢献するバイオスティミュラントの実現に関わる産官学の研究者の、いきいきとした情熱やその成果に触れる内容になっている。

結果として本書が53編からなる、量、質ともに充実した内容を提供できる構成となったことは監修者として非常に喜ばしいことであり、この場をお借りして執筆者の方々、また企画に関わった編集者の方々に感謝の念を示したい。そしてなにより、本書を手にとられた読者の皆さんに執筆者の方々の熱意が伝わり、本書がバイオスティミュラントに対する理解の大きな道しるべとなったとすれば、それが本書編纂の本懐である。

この先をご覧いただくには、パスワードが必要です。

制限つきPDFで全ページをご覧いただけます。
(制限内容：閲覧期間の設定、コピーやプリントの禁止など)

- ・ PDFの閲覧

「パスワード」と「専用のビューア」（無料）が必要です。
費用は一切かかりません。

※WindowsのPCでのみご覧いただけます。予めご了承ください。

- ・ パスワード ※電子試読ページよりお申込みください

<https://www.nts-book.com/ntsの電子試読>

ページ下部にお申込みフォームがあります。

右のQRコードからも
電子試読ページにアクセス
いただけます。



- ・ ビューアのダウンロード

PDFは、株式会社スカイコムの SkyPDF Viewer（無償のPDFビューア）をダウンロードしてご覧いただけます。

※Adobe Acrobat Readerなど他のPDF閲覧アプリケーションではご覧になれません。

SkyPDF Viewer 無償ダウンロード：

<https://www.skycom.jp/free/>

索引

英数・記号

1 対 1 相互作用	177
16SrRNA	363
16S 領域	174
26S プロテアソーム	110
2-カルボキシ-D-アラビニトール 1-リン酸	39
2-ホスホグリコール酸	38
3-ホスホグリセリン酸	37
5-ALA	139, 329
5-アミノレブリン酸	139
7-iso-ジャスモノイルイソロイシン	217
Ⅲ型分泌	181
ABA	89, 328
ACC デアミナーゼ	350
AHL 分解酵素	350
AM 菌	101, 341
APX	245
AREB/ABF 転写因子	91
Avr エフェクター	201
BABA	196
bHLH	112
biotrophic 病原菌	113
box-in-box 系	386
BY-2 細胞	211
C ₃ 植物	43, 66
C ₄ 植物	23, 43, 66
CA1P	39
Ca ²⁺ シグナル	155
CAMTA	133
CAM 植物	66
COI1	112, 218

COI1-JAZ	218
COP	19
CRCT	73
CRT	131
Cry タンパク質	349
DAB	245
DELLA	114
DNA マイクロアレイ	193, 423
DRE	131
DREB1/CBF	131
DREB2A 転写因子	93
EDS5	108
ERF/ORA ブランチ	221
ETI	114, 202
ETS	201
FACE	65
Farm To Fork 戦略	427
F-box タンパク質	112
FIB-SEM	79
GAP	37
gene stacking 法	136
GluTR	141
GWAS	23
H ⁺ -ATP 合成酵素	30
H ₂ O ₂ シグナル	51
Heat shock factor ; HSF	122
Heat shock protein ; HSP	22, 121, 169
Heat tolerance enhancers ; HTLEs	120
HSFA1	123
HSP70	122
HSP90	122
IAA	407
ICE1/SCRM	133

索引

<i>in vitro</i> 二員培養	344	PYR/PYL/RCAR アブシシン酸受容体	90
Integrated Crop Management ; ICM	7	QTL	22
IPCC	19	R タンパク質	201
I-plate 系	386	RBOH	47
ISR	196	RCS シグナル	56
iTRAQ 標識	167	RCS 消去剤	56
ITS 領域	174	Reactive oxygen species : ROS	45, 121, 312, 393
JA-Ile	112, 217	RPS4/RRS1	203
Jas ドメイン	116	RubisCO containing body ; RCB	79
JAZ	218	RuBP	37
LMC	281	RVE	135
MAMP/PAMP	201	SA グルコシルトランスフェラーゼ	191
miRNA	142	SA 生合成	192
mVC	381	SAR	107, 190, 195
MYC ブランチ	221	Schiff 塩基	55
Na ⁺ 輸送体	142	SnRK2 タンパク質リン酸化酵素	91
NADPH オキシダーゼ複合体	47	SOD	47
NB-LRR 型受容体	202	sRNA	116
<i>NCED3</i> 遺伝子	92	T87 細胞	212
necrotrophic 病原菌	111	α , β -不飽和結合	55
NLR	202	α -アミラーゼ遺伝子	166
NOPh	219	α -ソラニン	366
NPR1	110, 191	α 多様性	364
NPR3	110	α トコフェロール	47
NPR4	110	α -トマチン	364
<i>N</i> -ヒドロキシピペコリン酸	108	β カロテン	47
OPDA	112	β -グルカン	406
PCR-DGGE	458	β シクロシトラール	52
PEG	329	β 多様性	364
PGA	37		
PGO	38		
PGPB	270		
PGPF	440		
PGPR	197, 440		
PP2C タンパク質脱リン酸化酵素	90		
PR タンパク質	195		
PTI	114, 201		

和文

あ

アーバスキュラー菌根菌	101, 197, 341
アーブトイド菌根	342
青色光受容体フォトトロピン	156
青枯病	104
青枯病菌	205
アクアポリン	61
アクセッション	160
アクチベース機能	42
アゴニスト	219
アシベンゾラル S-メチル	190
アスコルビン酸	45
アスコルビン酸ペルオキシダーゼ	49, 245, 329
アゾスピリラム菌	375
亜炭	253
アブシシン酸	51, 89, 114, 127, 142, 192, 300
アブシシン酸シグナル伝達経路	90
アブラナ科野菜類炭疽病菌	203
アポプラスト	47
アポプラスト障壁仮説	227
アミノ酸	6, 312, 319, 400, 430
アミラーゼ	331
アモルファス構造	269
アレロパシー	160
アレロパシー作用	128
アンタゴニスト	219
アントシアニン	144, 246
アントシアニン合成	72
イオンストレス	63, 77
イオン輸送体	147
異常繁茂	287
イソコリスミ酸	108
イソコリスミ酸合成酵素	108
イソコリスミン酸合成酵素	192
イソチオシアネート類	124
イソフラボン	361
イチゴ炭疽病	425
一重項酸素	45
遺伝子対遺伝子仮説	202
遺伝子型×遺伝子型 (Genotype×Genotype : G×G) 相互作用	184
遺伝的冗長性	218
遺伝的多様性	182
イネいもち病	111
イネいもち病防除剤	187
インドール酢酸	401
インフォケミカル	384
うどん粉病	269
ウリ類炭疽病菌	205
栄養週期理論	431
栄養生長期	432
栄養繁殖	298
エールリッヒ反応	145
液状複合肥料	332
エクトイン	85
エコール	302
エタノール	243
エチレン	103, 111, 141, 159, 196, 300
エチレンシグナル伝達	95
エピジェネティクス	260
エフェクター	114, 201
エフェクター誘導性免疫	114
エフェクター誘導免疫	202
エリコイド菌根	342
エリシター	211
エルニーニョ	12
塩害軽減効果	253
塩腺	85
エンドファイト	197
オーキシン	103, 127, 300, 401
オキシゲネーション反応	38

索引

オキシリピン	53
オキダティブバースト	127
オリゴ糖	291
オルガネラ	327
オルトケイ酸	225
オレアナン型トリテルペノイドサポニン	366
温室効果ガス	19
温度感受性 TRP チャンネル	155

か

ガードモデル	202
概日時計	133
外生菌根	342
海藻	295, 430
海藻抽出物	6, 430
過還元	50
化合物ライブラリースクリーニング	218
過酸化脂質	45, 53, 168, 244, 409
過湿	61
果実成熟	144
寡照	327
カスパリー	227
カタラーゼ	49, 246, 329
カタログ情報	175
活性カルボニル種	53
活性酸素	23, 32, 77, 244, 282
活性酸素種	45, 121, 168, 209, 312, 393
活性酸素消去系	143
褐藻類	296
カテキン	56
カニ殻	281
寡日射病	274
過敏感受細胞死	202
過敏感受反応	202
可溶性タンパク質	155
ガラス転移温度	269

カルシウムシグナル	135
カルノシン	56
カルバミル化	39
カルビンサイクル	70
カルボキシレーション反応	37
カルボニル化タンパク質	170
カルモジュリン	135, 158
カンキツグリーニング病	417
環境ストレス	3, 50, 131, 147, 391, 423
環境ストレス耐性	284
環境ストレス耐性作物	132
還元	406
環状テトラピロール	327
環状剥皮栽培	331
灌水施用	433
感染応答情報伝達	191
乾燥ストレス	61, 69, 89, 150, 243, 279
乾燥ストレス耐性	427
乾燥耐性	284
乾燥耐性強化メカニズム	265
寒冷逃避反応	161
気孔開閉	67, 90
気孔コンダクタンス	329
気孔閉塞	433
気候変動に関する政府間パネル	19
気候変動枠組条約締結国際会議	19
疑似根圏環境系	362
寄生植物	99
キチナーゼ	350
キチン	281
拮抗作用	435
キトサン	281
機能水	64
逆行シグナル	139
病原微生物	201
強光ストレス	51, 243
共生アイランド	180

共生関連遺伝子	183	高温障害	95
共生糸状菌	175	高温障害緩和技術	119
共生特異性	180	高温ストレス	40, 68, 120, 166
共培養	214	高温ストレス応答	93
極性移動	330	高温ストレス耐性獲得機構	94
菌根	342	高温耐性	254
菌根菌	195, 440, 449	高温登熟	165
菌根形成率	346	光化学活性	32
グリコール酸	39	光化学系	29, 391
グリコール酸脱水素酵素	42	光化学系Ⅰ複合体	30
グリシンベタイン	7, 80, 124, 260, 329	光化学系Ⅱ複合体	30
グリセリン酸	39	抗菌活性	128
グリセルアルデヒド-3リン酸	37	根圏微生物	361
グリチルリチン	366	光合成速度	256
クリプトゲイン	211	光合成能増進効果	297
グルタチオン	45, 311	光合成の律速要因	67
グルタチオン-アスコルビン酸回路	244	抗酸化物質	46
グルタチオン抱合体	58	合成キレート鉄	415
グルタチオン-アスコルビン酸	143	紅藻類	296
グルタミン酸	312	孔辺細胞	150, 329
クロストーク	113	酵母細胞壁	405
クロロフィル	327	根粒菌ゲノム	185
ケイ酸	225	根粒形成因子	181
ゲニステイン	362	コールドチェーン	268
ゲノム編集技術	25	呼吸関連酵素遺伝子	72
ゲノムワイド解析	23	国際植物栄養協会	225
ケミカルシャペロン	124	黒ボク土	341
ケミカルプライミング	243	個体間シグナル	111
ゲルダナマイシン	125	コロナチン	116, 219
嫌気条件	402	根圏環境	432
玄米の白濁化	165	根寄生植物	99
コアゲノム	185	根圏ストレス	99
高CO ₂ 環境	65	根圏土壌	362
高塩ストレス	243	根圏微生物	197, 229
高塩分土壌	50	根圏微生物叢	361
高温応答	34	根圏病害	104
高温環境	29	根毛増殖	308

索引

根粒菌 179, 361, 371
根粒菌製剤 270

さ

細菌 174
サイクリック電子伝達系 31
最小養分律 290
サイトカニン 91, 103, 141, 300
サイトカニン合成低下 433
栽培管理支援システム 16
細胞外凍結 155
細胞小器官 158
細胞内凍結 155
細胞膜の流動性 158
酢酸 259
サポニン 361
サリチル酸 91, 107, 135, 190, 195, 214, 284
サリチル酸応答性防御関連遺伝子 358
サリチル酸情報伝達系 190
サリチル酸ナトリウム 423
酸化還元電位 408
酸化ストレス 46, 140
酸化的損傷 46
サンギナリン 124
三次元再構築 79
酸性土壌 50
酸性ホスファターゼ 347
酸素不足 62
酸素漏出バリア 62
サンバーン 327
ジアミノベンジジン 245
ジオシン 366
塩ストレス 63, 77, 150
自給肥料 288
ジグザグモデル 202
シグナル伝達 73

シグナル伝達ネットワーク 94
資源循環サイクル 288
資源の地産地消 292
糸状菌 174, 425
シス配列 131
自然免疫機構 114
指定土壌改良資材 252
シデロフォア 350
シトクローム b_6f 複合体 30
ジベレリン 114, 132, 141, 300, 331
脂肪酸培養法 346
弱勢えい果 335
ジャスモン酸
..... 91, 104, 107, 127, 195, 214, 217, 261, 284, 407
ジャスモン酸メチル 51, 424
シャペロン 121
主因 435
集団ゲノム 182
宿主植物 344, 372
宿主特異性 344
受光姿勢 335
樹枝状体 342
受容体サブタイプ 217
主要農材のポートフォリオ 431
純粋培養 346
傷害応答 56
硝酸 291
蒸散 68
硝酸還元酵素 328
植物特化代謝物 361
植物共生細菌 197
植物群落 161
植物-根圏微生物叢相互作用 362
植物成長 307
植物生長促進効果 349
植物成長促進剤 252
植物熱耐性向上物質 120

た

索引

タルトロン酸セルアルデヒド還元酵素	42	デオキシムギネ酸	415
タルトロン酸セルアルデヒド合成酵素	42	適応溶質	329
短花柱花	275	適合溶質	63, 80
炭酸同化系	391	デコイモデル	202
湛水耐性	62	鉄吸収	414
タンパク質のカルボニル化	55	鉄錯体	414
タンパク質複合体	32	テトラピロール化合物	139, 327
タンパク質分解酵素	306	デュアルコントロール	350
単孢子培養法	344	デュアル抵抗性遺伝子	205
地球温暖化	65	デュアル抵抗性タンパク質システム	205
窒素含量	69	転換期	432
窒素欠乏	290	転写因子	132, 189
窒素固定能	184	転写コアクチベーター	95
窒素固定	363, 371	転写制御ネットワーク	133
窒素固定菌	440	天然物	219
窒素肥料	68	デンブン合成	70
着果負担	279	デンブン代謝	166
着色不良果	226	凍結ストレス	131
中心振動体	135	時計理論	431
中量要素	421	土壌改良剤	290
長花柱花	275	土壌還元	408
着色促進	410	土壌病害	435
直接吸収	321	土壌構造	298
チラコイドの膨潤	77	土壌水分含量	290
地力増進法	252	土壌水分マトリックポテンシャル	92
接ぎ木	276	土壌凍結深制御手法	17
低温馴化	131, 155	土壌微生物叢	285, 411
低温ストレス	131, 192	土壌微生物量	290
低温耐性	254, 273	トマチジン	364
低温誘導性遺伝子	158	トマト疫病	352
低温流通体系	268	トマト灰色かび病	352
抵抗性遺伝子	202	トマト斑葉細菌病菌	205, 213
抵抗性タンパク質	201	トラップ培養法	344
抵抗性タンパク質ペア	203	トランスクリプトーム	132
抵抗性誘導剤	111, 187, 195, 199	トランスクリプトーム解析	369
抵抗誘導性	442	トランスポーター	417
低分子量キチン	281	トリコデルマ菌	436, 441

トリテルペノイドサポニン	363
トリプトファン	400
トリヨード安息香酸	330
トレハラーゼ	267
トレハロース	7, 80, 124, 267, 273
トレハロース 6 リン酸	270

な

ナイアシン	247
内外生菌根	342
内生菌	211
慣れ	156
軟腐病菌	213
二価鉄	407, 414
ニコチアナミン	414
ニコチンアミダーゼ	247
ニコチンアミド	247
ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド (NAD)	
生合成サルベージ経路	247
ニコチン酸	243
二次枝梗	335
二次代謝産物	72
二次メッセンジャー分子	55
二重標識プルダウンアッセイ	220
乳酸菌	399, 436
根寄生線虫	102
根こぶ病	456
熱ショック応答	124
熱ショックストレス	93
熱ショックタンパク質	22, 121, 169
熱ショックファクター	122
熱ショックファクター (Hsf) 転写因子	94
熱ストレスメモリー	172
熱耐性アクチベース	43
熱波	119
根張り	298

濃度依存	283
------	-----

は

バイアス型アゴニスト	219
バイオコントロール	381
バイオ肥料	381
バイオフィーム	347
バイオマス	281
配糖化	109
ハイドロプライミング	331
胚乳	167
ハイパーコート種子	376
バイパス経路	41
バクテリオシン	350
はくろう果	226
パターン誘導免疫	201
バチルス菌	436
バチルス属細菌	306
葉脈間クロロシス	416
葉面散布	274, 283, 433
バルク土壌	362
ビール酵母	405
光エネルギー過剰	50
光呼吸経路	38
光呼吸	66
光障害	48
肥効調節肥料	334
ビシウム病	105
ヒストンアセチル化基質	261
非生物学的障害	225
非生物学的ストレス	5, 120, 140, 237, 269, 290, 391
微生物群集	186
微生物資材	6, 270, 361, 371
微生物叢	458
微生物由来揮発性化合物	381
必須栄養素	421

索引

非典型的ストリゴラクトン	100	ブリケット成形肥料	332
ヒドロキシラジカル	409	フルボ酸	251
ヒドロキシルラジカル	45	プレコーティング種子	271
ピニトール	80	プログラム細胞死	51
非病原力遺伝子	202	プロテアソーム	112
ピペコリン酸	107	プロベナゾール	111, 187
ヒューミン	251	プロリン	7, 80, 124
病害抵抗性	213, 407, 422	プロリンデオキシムギネ酸	415
病害抵抗性作物	205	フロログルシノール	302
病害防除技術	206	分泌性糖タンパク質	167
病原性関連タンパク質	107	平衡気候感度	19
微量栄養素	413	バタイン	423
肥料吸収効率	411	ペプチド	6, 305, 312, 430
微量ミネラル	6	ペプチドシグナル	91
微量要素	332, 422	ベルオキシソーム	38, 47
ファイトアレキシン	188	ベルオキシダーゼ	49
フィードバック阻害	141	ベルオキシレドキシン	49
フィトクロム	134	ヘルパーNLR	203
フェニルアラニンアンモニリアーゼ	108	ベレット成形肥料	332
フェニル酢酸	401	防御応答	201
フェンギシン	350	防御関連遺伝子	214
フェントン反応	409	防御シグナル伝達系	424
フォールディング・ファネル	123	防御反応	188
不可給態無機態リン酸	347	放線菌	285, 436
フザリウム菌	285	ボカシ肥料	399
腐植化度	255	ポケット構造	79
腐植酸	251	圃場ループ育種	378
腐植質	430	ボラティドーム	382
腐植物質	6, 235, 251	ポリフェノール	47
不定根	307	ポリユビキチン化	112
不溶性成分	284	ポリフィリン化合	327
プライミング	169, 196, 443	ポルフォビリノーゲン	139
プライミングエフェクター	189		
フラジェリン	212		
ブラシノステロイド	113, 127		
フラボノイド	56		
プラントアクチベーター	187		

ま

マイクロアレイ解析	244
マイケル付加	55
膜駆動力	149
マスタースイッチ	123
実生苗	277
水草堆肥	288
水ストレス	61
水ポテンシャル	61, 329
水利用効率	67
ミトコンドリア	47, 327
みどりの食料システム戦略	7, 427
ミネラル	430
ミヤコグサ	182
無機栄養説	319
無機態窒素	319
ムギネ酸	414
メタオミクス解析	173
メタ解析	343
メタゲノム解析	174, 369
メタトランスクリプトーム解析	174
メタバーコーディング解析	173
メタボローム解析	369
メチルビオローゲン	49
メッシュ農業気象データ	16
免疫応答	210
免疫システム	209
毛状根	345
木酢液	455
モノトロポイド菌根	342

や

薬剤耐性	206
誘因	435
有機 JAS 適合資材	233
有機栽培	211

有機資材品質指標	306
有機態窒素	319
有機農業	305
有機農法	455
有機態リン酸	347
有機肥料	289
有効菌リレー処理	435
誘導全身抵抗	442
養液栽培	64
幼苗期	432
葉緑体	47, 77
葉緑体突起構造	79

ら

ライフサイクルアセスメント	412
ラジカル連鎖反応	53
ラニーニャ	12
卵菌	174
ラン菌根	342
リシン	109
リソース	186
リゾビウム加工 (R 加工) 種子	376
リニア電子伝達系	31
リプレッサー	114
リブロース 1,5-ビスリン酸	37
リプログラミング	51
リポキシゲナーゼ	53
緑藻類	296
リン酸吸収係数	341
リンのピーク仮説	341
リン溶解菌	347
リン酸可溶化酵素	350
ルビスコ	37
ルビスコアクチベース	39
ルビスコの不活性化	41
励起三重項クロロフィル	47



索引

レセプター-リガンドモデル.....	202	レトログレードシグナル.....	52
レドックスシグナル.....	51	連作障害.....	455
レドックス状態.....	51		

バイオスティミュラントハンドブック

植物の生理活性プロセスから資材開発、適用事例まで

発行日	2022年4月27日 初版第一刷発行
監修者	山内 靖雄, 須藤 修, 和田 哲夫
編集協力	日本バイオスティミュラント協議会
発行者	吉田 隆
発行所	株式会社 エヌ・ティー・エス 〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園 2-1 科学技術館 2階 TEL.03-5224-5430 http://www.nts-book.co.jp
印刷・製本	美研プリンティング株式会社

ISBN978-4-86043-769-5

©2022 山内靖雄ほか

落丁・乱丁本はお取り替えます。無断複写・転写を禁じます。

定価はケースに表示しております。

本書の内容に関し追加・訂正情報が生じた場合は、(株)エヌ・ティー・エスホームページにて掲載いたします。

※ホームページを閲覧する環境のない方は、当社営業部(03-5224-5430)へお問い合わせください。



関連図書

	書籍名	発刊年	体裁	定価(10%税込)
1	スマート農業 ～自動走行、ロボット技術、ICT・AIの利活用からデータ連携まで～	2019年	B5 444頁	49,500円
2	ゲノム編集食品 ～農林水産分野への応用と持続的社会的実現～	2021年	B5 338頁	46,200円
3	青果物の鮮度評価・保持技術 ～収穫後の生理・化学的特性から輸出事例まで～	2019年	B5 412頁	44,000円
4	植物工場生産システムと流通技術の最前線	2013年	B5 570頁	45,980円
5	光合成研究と産業応用最前線	2014年	B5 446頁	38,500円
6	薬用植物辞典	2016年	B5 720頁	29,700円
7	中薬材鑑定図典 ～生薬の中国伝統評価技法～	2012年	B5 568頁	19,800円
8	翻訳版 Agricultural Bioinformatics ～オミクスデータとICTの統合～	2018年	B5 386頁	33,000円
9	藻類ハンドブック	2012年	B5 824頁	41,800円
10	生薬写真素材集	2010年	CD-ROM	30,800円
11	糖質・甘味のおいしさ評価と健康・調理・加工	2022年	B5 360頁	39,600円
12	食品分野におけるメタボリックプロファイリング ～成分、産地、品質評価・向上～	2021年	B5 326頁	44,000円
13	代替プロテインによる食品素材開発 ～植物肉・昆虫食・藻類利用食・培養肉が導く食のイノベーション～	2021年	B5 322頁	46,200円
14	食品テクスチャーの測定とおいしさ評価 ～食品構造とレオロジー、咀嚼・嚥下感覚、機器測定・官能検査、調理・加工～	2021年	B5 258頁	39,600円
15	生命金属ダイナミクス ～生体内における金属の挙動と制御～	2021年	B5 564頁	59,400円
16	フードサプライチェーンから見た 食のバリューチェーン戦略 ～ODA経験豊富な著者がビジネスチャンスを探るコツをやさしく解説～	2020年	A5 144頁	1,650円
17	技術士が次世代へ語りつぐ 食とバイオのイノベーション	2020年	B5 204頁	3,850円
18	賞味期限設定・延長のための各試験・評価法ノウハウ ～保存試験・加速(虐待)試験・官能評価試験と開発成功事例～	2018年	B5 246頁	35,200円
19	アロマプロフィール解析による香りの科学 ～商品開発に向けたニオイ受容のしくみが導く香気複合臭解析～	2021年	B5 292頁	39,600円
20	Advanced Biomimetics Series I プラントミメティックス ～植物に学ぶ～	2006年	B5 720頁	56,320円
21	膜タンパク質工学ハンドブック	2020年	B5 624頁	64,900円
22	植物代謝工学ハンドブック	2002年	B5 854頁	60,500円