

第2部 水稲の有機栽培技術

I 有機稲作の基本技術

目次

1. 有機稲作の問題点と有機栽培を成功させるポイント	3) 圃場の選定と準備…………… 30
1) 雑草の問題とその対応…………… 16	(1) 圃場の選定 …………… 30
(1) 雑草駆除という考えでは行き詰まる …… 16	(2) 有機栽培開始前の準備 …………… 31
(2) 水稲の生育力を高め雑草を抑える …… 16	4) 土づくり…………… 32
2) 虫害の問題とその対応…………… 17	(1) 生態系を重視した土づくりの意義 …… 32
(1) 害虫が多発してからでは手遅れになる…………… 17	(2) 地力を生かす施肥や堆肥の必要性 …… 33
(2) 適切な肥培管理と生物多様性を高め虫害を抑制する…………… 18	(3) 有機栽培の継続と土づくり効果 …… 34
3) 病害の問題とその対応…………… 18	5) 施肥管理…………… 35
4) 有機育苗の問題とその対応…………… 19	(1) 栄養の補給と地力の補充 …………… 35
(1) 有機栽培の育苗は難しい …………… 19	(2) 田面発酵の意義と効果 …………… 35
(2) 育苗で失敗しないための対応 …………… 19	(3) 有機質資材による施肥・養分管理 …… 37
5) 有機栽培における土づくり…………… 20	6) 雑草抑制対策…………… 37
(1) 複雑な有機質肥料の肥効発現管理 …… 20	(1) 有機稲作における雑草抑制の基本 …… 37
(2) 農地の生態系を育て活かす …………… 21	(2) 雑草の生えにくい水田の土壌構造 …… 38
2. 水稲の生理・生態的特性	(3) 特性の異なる雑草の種類と生態 …… 40
1) 生育温度条件…………… 24	(4) 水田雑草の大きさと発生深度 …………… 41
2) 施肥技術に適応した生育特性…………… 24	(5) 問題になる主要な雑草の生態と防除 …… 42
(1) 少肥栽培化による水稲の特性 …………… 24	7) 耕起・代かき・田植え・水管理…………… 47
(2) 施肥に適応する水稲の特性 …………… 25	(1) 雑草抑制に有益な耕耘 …………… 47
3) 分けつ特性と栽植密度 …………… 25	(2) 田植え後の雑草抑制対策 …………… 49
3. 有機栽培技術の基本と留意点	(3) 水管理と排水対策 …………… 50
1) 作付時期と品種の選択…………… 26	8) 病虫害抑制対策…………… 51
(1) 作付時期の設定 …………… 26	(1) 基本的な考え方 …………… 51
(2) 品種の選択 …………… 27	(2) 育苗時点の対策 …………… 51
2) 育苗…………… 28	(3) いもち病の予防と対策 …………… 52
(1) 育苗用土の準備 …………… 28	(4) 虫害対策 …………… 54
(2) 播種 …………… 29	9) 収穫・調製…………… 57
(3) 育苗法 …………… 30	(1) 稔実度を高める収穫前の用排水対策 …… 57
	(2) 収穫時期の判断法 …………… 57
	(3) 機械収穫を容易にする排水対策 …… 57
	(4) 乾燥・調製対策 …………… 58

1. 有機稲作の問題点と有機栽培を成功させるポイント

有機農業では化学合成された肥料や農薬により、対処療法的に問題解決を図ることができないので、予め問題が生じないように対策をとることが重要である。そのためには、有機稲作での問題点を明らかにし、それが生じている要因などを理解した上で対応する必要がある。先進的な有機農業の実践者が経営を成立させているのは、問題点を根源までを掘り下げて理解しているからであり、この原理を知ることが有機栽培を成功させる入口となる。

水稻の有機栽培技術を巡る問題の原因には、多くの誤解も含まれている。その誤解を解消するとともに、有機稲作を成功させるため、有機栽培技術の理解を深める基本的な考え方と留意すべき内容のポイントを提示する。

1) 雑草の問題とその対応

(1) 雑草駆除という考えでは行き詰まる

有機栽培への転換初期や新規参入者にとって、「効果的な雑草抑制対策が分からない」ということが最大の問題となっている。有機稲作では、寒地から温暖地まで草種の違いはあるが、雑草の多発が減収や過重労働をもたらし、生産性を著しく低下させている。そのため除草機の改良・開発も進んできているが、多くの場合、機械除草だけで十



写真 I - 1 コナギの抑草に失敗した水田
(提供：(財)自然農法センター)

分な効果は上げられていない。

また、雑草の発生を抑える水棲生物として、外来種などの理由で普及できないスクミリンゴガイやイトミミズ、カブトエビなどの生物的除草への期待は大きいですが、安定的な繁殖条件が明らかではなく限られた場所でしか利用できない。紙マルチなど比較的確実な効果を上げる方法には、高コスト、作業性などの課題が残っている。アイガモ除草や鯉除草などもコツを覚えれば確実な方法ではあるが、実施規模には限界もあり、外敵の防除や効率性、動物飼育技術の修得も必要になる点で、導入の垣根は高い。また、全国的な広がりを見せる米糠除草やチェーン除草も適用の仕方を誤ると効果の安定性に問題がある。

このように様々な除草方法が試行され、成果を上げている例もあるが、技術の適応性は土壌・気象・営農条件や農家の技術レベルにより異なるため失敗することもあり（写真 I - 1）、技術を適用するに当たって留意すべき点も多い。また、圃場の条件変化や有機栽培の継続年数によって効果的な手法を変えていく必要も生じる。

有機稲作での除草対策は、除草剤の代替技術として雑草を絶滅しようとする、コスト面でも労働力面でも無理が出てくる。

(2) 水稻の生育力を高め雑草を抑える

有機稲作でもっとも重要な雑草抑制対策の第一歩は、田植え前までに稲が生育しやすい、結果的に雑草を抑える水田の土づくりを終えておくことである。このためには、雑草生育を助長しないように「過剰に養分や堆肥を施用すること」や、「過剰な耕起や代かき」をしないことが必要である。これらは雑草の繁殖力も高めて、除草剤依存の状況を作ることになるからである。雑草を増やさず、水稻を育てる施肥と耕耘は、最小限の栄養分で、層別に粒径の異なる水持ちと水はけの良い土壌構造を持った土づくりを秋から始めることが基本となる。稲が生育・繁茂する力も借りて、収量・品質を下げないレベルまで雑草を抑制していくという考え方が重要である。そのため、ある特定の除草技

術だけで雑草を駆除するという考えではなく、水田の条件に応じ抑草対策を総合的に組合せていくことが重要で、それにはそれぞれの抑草対策の適用範囲を熟知することが必要となる。

具体的には、春先の有機質肥料の鋤込みを止めて秋鋤込みに変える。年を越してから施用する場合には田植え後に表面施用する。これにより化学肥料より溶脱が少なく、雑草への養分供給量が抑えられて、水稻への有効化率を高めることができる。また、排水性を表す日減水深の目安を、畦畔からの漏水が無いことを前提に、20mm程度の日減水深になるように、耕耘や代かきで調整する。水温が低い寒地でも最低10mm以上の日減水深とし、水温が高い暖地では最高でも40mmまでとなるように、温度条件と排水性の改善目標によって、特に代かきの強度を変えて減水深を調整する。しかし粘土含量が低い土壌では、ベントナイトなどの優良粘土を用いて土壌改良を行う必要がある。

また、水稻の早期活着を促し初期生育量の増加を図るため、栽培に適した有機物施用、耕耘、代かきによる土づくりを行い、適期に栽培することが肝要である。このねらいは、雑草よりも水稻の繁殖力を高めるとともに、水稻が生長するのに必要な最低限の養水分供給を行うことにある。一般に雑草抑制のために深水管理が良いといわれるが、稲の分げつを促進するには逆に浅水がよい。ノビエは深水で抑えられるが、コナギは抑えられない。そのため、分げつを抑制した方がよい場合を除き、有機栽培で頻出するコナギを防除対象とする場合は、浅水と初期除草が有効となる。ただし、田植え時には落水せず、田面の露出を避け、中干しまで水で田面を覆い続けることが重要になる。加えて多数の雑草に対抗できる健苗を植えることが必要である。

田植え後は、地表面攪拌による種子性雑草の除草をできるだけ早期に行う。稲の株周りが最も雑草と競合するので、株際まで浅く攪拌する。遅れて発生する大型の雑草や塊茎で繁殖する雑草には、収穫後早期の耕耘で繁殖を抑え、代かき段階で除草を終わらせておくことが基本であるが、

残草は取り除いて種を増やさないようにする。また、機械や用水による種子や塊茎の持ち込みを徹底して予防する。こうして有機栽培が安定する水田への切り換えには3年ほどかかるが、雑草の繁殖力を著しく低下させ安定するには5年程度の期間を要する。

2) 虫害の問題とその対応

(1) 害虫が多発してからでは手遅れになる

害虫は気温が高く、世代交代の早い温暖地で特に問題が大きい。寒冷地や早期栽培では田植え直後のイネミズゾウムシ（写真 I-2）が葉を食害し、孵化した幼虫が稲の根を食べて欠株を作り、温度の高い暖地では収穫期近くに秋ウンカが坪枯れ症状を引き起こす。

全国的には、出穂期以降のカメムシ類の吸汁害による斑点米の発生や、生育初期のドロオイムシや出穂期頃のイネツトムシ、登熟期のイナゴが葉を食害し減収につながって問題となる。地域によっては伝統的に使われているドロオイムシのたたき落とし法や、畦畔の植生管理、畦畔内の管理によって侵入を減少させる方法があるが、いずれも農薬を上回るほどの防除効果はなく、農薬に替わる安定的な除虫効果は確立されていない。

また、害虫は集中的に発生しやすく、被害が顕在化してからの防除は手遅れになる。また、害虫は世代を繰り返す、繁殖域や越冬地が水田以外



写真 I-2 中間地・寒冷地の有機水稻栽培で問題となるイネミズゾウムシ

(提供：(財)自然農法センター)

の広範囲に広がるため、個別の圃場管理だけで発生量を制限することはできない。さらに、害虫の多発時には有機栽培の水田が発生源や避難地として問題となり、地域で集団的防除体制がとられている時には被害が集中する恐れがある。

(2) 適切な肥培管理と生物多様性を高め虫害を抑制する

「害虫は一旦発生すると手後れになり、制御手段も限られる」と思われがちであるが、害虫は低密度の発生にとどまり、減収や品質低下などの被害に至らなければ「ただの虫」であり、むやみに殺虫剤を使わなければ天敵などによって急激に数を減らすこともある。害虫の放飼試験でも水稻の生育に問題が無ければ、防除をしない水田においても実害は小さく、虫の数に比例して減収するわけではない。また、先駆的な有機農業実践者の多くから、有機栽培の継続によって生物多様性が増し、天敵や有害でも有益でもない「ただの虫」が増加して圃場内外の生態系が豊かになることによって、害虫が発生しても気になるほどの被害はないとの指摘が多い。

水田生態系を虫害抑制機能の面から見ると、田植え時期を早めるか遅くして害虫の侵入盛期を避けたり、大苗の移植はイネミズゾウムシ害を回避したり、栽培時期の選択は重要な意味を持つ。また、有機栽培で使われるアイガモや、よく見かけるニホンアマガエルはイネミズゾウムシを捕食している。害虫に限らず多くの種類の昆虫を餌にする広食性天敵は、害虫の急激な増殖を抑えている。耕種管理の一環として、開花する雑草を刈り込み、畦畔植物を出穂させないことは、カメムシの侵入を抑える。さらに、畦畔際の水田雑草は、カメムシの産卵や繁殖場所となるが、広食性天敵の餌も供給しており、畦草の適切な管理が虫害抑制に関わっている。

水稻の茎葉成分と害虫の増殖の関係では、次のことが明らかになっている。暖地～中間地にかけて、特に西日本で大きな問題となるウンカについては、トビイロウンカ（秋ウンカ）の短翅型が

増えると、3世代で増殖し坪枯れ症状を起こすが、ウンカ密度が低く抑制される場合は水稻の葉内成分が影響している。例えば、有機水稻の師管液のアスパラギン濃度が低いため、セジロウンカ（夏ウンカ）の増殖率は有機栽培では低い。その結果、トビイロウンカの侵入密度は有機栽培田で少なく、慣行栽培田より大幅に抑えられる。また、水稻のもつ抵抗性もウンカによる虫害発生低減に効果が認められている。つまり、過剰な施肥をしないこと、特に窒素施肥量を減らし水稻の栄養過多を避けることで、虫害の発生を低減できる。

ケイ素吸収の増加は植物への病虫害の侵入を防ぐが（Yoshida et al.1962）、窒素の施用量が増加すると稲は病虫害に一層侵されやすくなり、葉は垂れ気味となる。厚いクチクラ・シリコン層はその物理的な堅さで菌類、昆虫、ダニに対する防壁として役立つこと（吉田昌一1986）が報告されている。このため、有機栽培では、軟弱な茎葉に害虫が集中して発生しないように考慮して、水稻の健全な生育を目標に施肥や土づくりを行うことを基本とする。有機栽培に利用できる面では、小型のアカヒゲホソミドリカスミシカメに対しては、水稻の出穂前後のケイ酸吸収量を増加させることで玄米側部に発生する斑点米を低減できる。そのため、客土等の土壌改良によって有効態ケイ酸含量を高める。あるいは、作土を深くして根域を広げ、地力を高めて出穂期のケイ酸吸収量を増加させる。

3) 病害の問題とその対応

水稻の有機栽培での病気発生は、高湿寡照の地域や年次に問題となる。また、いもち病は日照不足や降雨が続く場合に発生し、7月の夜温や湿度が高い地域で伝播速度も速くなる。一方、多くの有機農業の先達者は、病害をあまり問題視していない。例えば、いもち病など窒素栄養の過剰で多発する病気が常発する地域では、地力窒素の発現量を予想し、過剰な養分吸収を制限して、収量を犠牲にしない栽培体系が確立されている。これを全ての農家に適用するには単位面積当たり

の地力窒素などの迅速・簡易測定が難しく、現場での指導データが得られにくいという問題がある。

有機栽培の水田内をよく見ると、トビムシなど食菌性の土壤動物が水田に数多く生息していて、紋枯病などの病気の激発を防いでいることが分かる。有機水田で病気が問題になるのは、暖かく湿った時期や日照の不足する年次に限られている。

先進的な有機農業の実践者には、共通して経験で得られた確信がある。その圃場では「有機物の病害抑制効果」や「植物免疫」、「抵抗性誘導」など、葉面や根面、細胞間隙微生物による発病抑止効果が確認されている。生物が有する生体恒常性や病害抑制機能が働いていると言える。農家の判断による的確な予防と病害発生を未然に防ぐ総合的な栽培技術が功を奏している。

水稲栽培で特に問題となるいもち病は、窒素の施用量を減らし、ケイ酸濃度を高くすると発病が低減する。常発地帯においても水稲の窒素濃度を低下させることができれば発病は抑制できる。有機栽培水田では、痩せ地や極端な肥沃地（泥炭土）を除けば、低温日照不足の時には地力窒素の発現量が抑えられ、日照量が多く高温の時には発現量が増えることで、光合成量に見合った窒素の供給量となり、窒素過剰を起こさず発病はしにくい。気象条件に即した窒素発現量の源となる地力窒素を高めて施肥を減らし、窒素を有効に使い切る水管理などの調整によって、いもち病の被害を軽微にすることができる。

4) 有機育苗の問題とその対応

(1) 有機栽培の育苗は難しい

有機栽培への転換農家や新規参入者では苗作りに失敗することが多い。それは水稲の発芽に適した水分や温度条件が、有機物の分解や病原菌の繁殖の好適条件と重なっていること、有機質肥料を利用した育苗用土がムレ苗などを助長するからである。また、有機JAS認証においては、原則として購入した慣行栽培苗は使えず、自ら育苗する必要があるが、安定して良苗が育成できる育苗用土の入手は簡単ではない。このため、育苗用

土の養分を制限し、温度を抑制するなどして、問題を回避する必要がある。

種子消毒は温湯消毒などの代替的技術や微生物農薬などの資材利用技術が確立されつつあるが、育苗用土をはじめ、育苗場所や育苗時期など種々の条件に適合する育苗条件については事例が限られている。また、有機栽培に最適な田植え時期や栽植密度についても知見が不足していることから、育苗方針が決めにくいという問題もある。さらに、育苗は播種量から水管理、施肥法まで相互に関連しているが、体系的な育苗技術がまだ確立していないため、育苗での失敗が多く、田植え後の生育にも悪影響を与えている。

寒地・寒冷地では、出芽時の温度と水分管理が問題となる。有機質肥料を混合した育苗用土は出芽期間に再発酵してムレ苗症状を起こす原因になる。有機質肥料が分解する際に保水力が低下し、水分吸収が抑制され、1箱の中でも育苗用土に乾湿の差が生じ、水分過剰と乾燥で出芽後の生育に差が出てしまうことがある。また過湿になると低温に対する耐性が低下し、苗の発根力や活性が低下して不揃いな苗になりやすい。

特に寒冷地から寒地にかけては、成苗育苗やポット苗の密植が必要なため、低温期の育苗には注意が必要である。培土中の窒素など、温度によって養分吸収は制約を受けるので、育苗中の保温は重要である。有機栽培で流行がみられる低温育苗は、過度の低温にさらされると水稲苗の耐性が低下し、生育期間が長びいて病原菌の繁殖機会を広げ、罹病の確率が高まり失敗の危険が高まることから注意が必要である。有機栽培に限ることではないが、育苗技術は種子の選抜から温度管理まで、苗の保護と過保護の判断が難しく、境界が不明瞭な技術の上に成り立っている。有機栽培では特に要因が複雑であるため、さらなる育苗技術の進展が望まれる。

(2) 育苗で失敗しないための対応

「浸種」と「催芽」は、利用する品種に適した方法で行う必要がある。低温浸種や低温催芽など、

一部の有機栽培で流行している方法は、長時間低温の水に晒されることで、籾が吸水し籾から成分が溶け出すことによって出芽が容易になる反面、病原菌の繁殖も促すので注意を要する。苗を鍛えても弱ってしまつては元も子もないので、無理は控えて、適切に保護（保温）する必要がある。

育苗に当たって留意すべき点は以下の通りである。

- 寒冷地では中苗（不完全葉を数えず4葉）、寒地では成苗（同5葉）を育てる。寒地・寒冷地では、苗が回復できないダメージを与えないように保温する。適正な生育量を有する（不足せず、過繁茂にもならないように）苗を準備する。
- 有機質肥料を多く混合すると、出芽不良や立枯病を起こしやすくなる。有機質肥料の肥効の特徴として、順調に育てば葉の生長よりも根の生長量が勝る。
- 有機質肥料によって起こる前述の問題を理解する。低温時の育苗ほど養分を多目に施用して肥効を高める。
- 種類は限られるが、当面は有機栽培用の育苗用土を使って育苗を行う。プール育苗では地床に発根することができないので、フィッシュソリブルなど液肥の追肥重点で生育させる。
- できるだけ柔らかい苗質を目指し順調に葉数を増やす。老化を避けるため、元肥を減らすか播種籾量を減らす。あるいは若苗でも田植えをする。
- 温湯処理や微生物剤などによる種子消毒など化学的資材の代替法が利用できる。催芽時に食酢を薄めて使うことで、苗立枯細菌を抑える効果がある。

5) 有機栽培における土づくり

(1) 複雑な有機質肥料の肥効発現管理

①有機質肥料は使いにくい

一般に、有機質肥料は化学合成肥料に比べ、緩効的で肥料成分も肥効発現も複雑で使いにくいと言われる。有機質肥料には、無機成分、易分解成分、難分解成分が様々な割合で含まれるた

めに、分解による養分放出量の予測が難しかったり、放出時期が遅れたり、期待する肥効発現時期とはタイミングがずれることがある。また、堆肥の連用で地力が高まるが、施用量や施用年数によっては養分供給過剰となることや、特に湿田では分解に伴って還元障害が起こる場合がある。

有機質肥料は土壌条件によって効果が著しく変わり、気温や水管理によっても肥効が変わるので、施用量の算定が難しい。さらに、地力によって養分の利用効率が変わるが、地力判定法も今までに種々の測定法が開発されているが、統一には至っていない。

②有機質肥料の肥効発現管理

土づくりが進むにつれて地力が高まり養分供給量が上がり、これが土壌中に元からある有機物の分解代謝にも影響して、地力窒素の増加に効果を上げる。

有機栽培を続けていくと、経験的に土壌の硝酸化成が弱まり（アンモニア酸化細菌の働きが弱まり）、田面に窒素含量の多い有機質肥料を施用しても、分解してアンモニア態で下層へ移動し、肥効が高まってくる。一方、窒素含量の少ない稲わらの還元を続けるだけでも、有機物の分解代謝が進み、硝酸化成は抑えられ、累積的に水稻に吸収される窒素の肥効は高まってくる。さらに、窒素含量の少ない有機肥料の効きは遅く長期にわたる。低温時の生育初期は窒素放出量が少なく、高温期の生育後期に窒素発現が多くなり、秋勝り的な生育を促すようになる。

そのため、最初は慣行栽培の窒素吸収量を基準にして、有機栽培への転換初期は元肥の施肥窒素量の7割程度が有効化すると考え、1.4倍の窒素相当量が施肥設計の目安になる。しかし、有機栽培を5～6年継続した後では、経験的には窒素の肥効は化学肥料と同等程度までの発現率になるので、化学肥料と同量程度（6～8kg）の施肥量で充分となる。有機栽培への転換当初には、10a当たり年間施用窒素量は10kg相当分を上限として、地力窒素の不足分を加減し、元肥と追肥は7:3程度の割合で施用する。そして、継続年数が

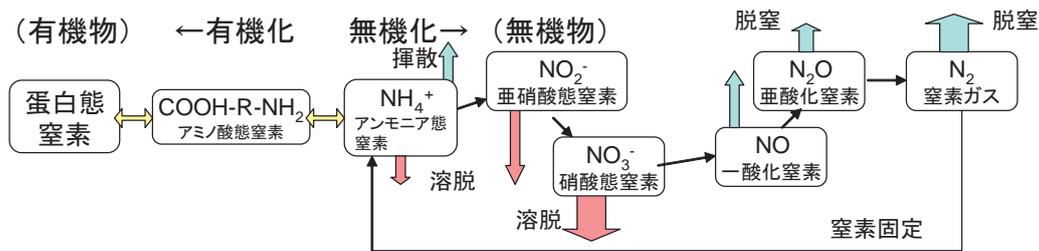


図 I - 1 窒素の形態変化と水田土壌からの溶脱と脱窒による窒素の損失

長くなれば4～7kg程度の元肥だけに切り替えていく。

水田土壌で最も変動し、過不足を生じやすい窒素は、施肥によって加減しやすい成分でもある。また、窒素分は水稻の生育量を増やし、利用しやすい養分である反面、無機化すると下層へ浸透し溶脱する一方、気化して空気中に放出する脱窒現象によって、最も不足しやすい養分でもある（図 I - 1）。有機質肥料は一部が分解して無機態窒素となって効いてくる。無機態窒素は土の中に取り込まれて有機化して、元々あった有機態の養分が押し出されて作物に吸収されるように効いてくる。無機態のままでは溶脱や脱窒によって窒素分は減少するが、微生物の菌体や有機物の分解の際に取り込まれて有機化すると、地力として蓄積され、水稻の栽培時に利用されやすくなる。

有機質肥料を施用後、温度が高くなると分解を始め、無機化あるいは可溶化して水稻に吸収されるようになる。地力窒素も温度が高くなって無機化してくる。窒素は低温時に不足していても、高温になると過剰になりやすい。窒素分が過剰になると水稻が過繁茂になって、葉も柔らかくなり、いもち病にかかりやすくなる。

また、本田での水稻の生育初期まで水稻と雑草との窒素競合が生じ、水稻の根量が少ない時は、土の中で無機化した窒素分を雑草が吸収して繁茂しやすくなる。有機質肥料を施用して雑草が吸収する場合には、水稻は窒素分を取られ窒素過剰になりにくい、雑草の発生を完全に抑えると肥料は削減しなければ倒伏やいもち病の発生誘因になり、米の蛋白質含量の増加をもたらすので、施肥量を徐々に少なくしていく必要がある。

有機物が土壌中で分解する速度は、大まかに

は有機物が含有する窒素含量によって決まる。幼植物は窒素含量が高く、成植物は窒素含量が1%前後と低い。分解に関わる微生物菌体や安定した土のC/N比（窒素に対する炭素の比率）は10前後であるのに対して、稲苗は10～20、稲わらは50程度である。そのため、緑肥作物の若い緑色の葉は直ぐに分解し、黄色く成熟した葉は分解が遅れる。分解速度をより正確に推測するには、有機物のC/N比が目安になる。また成熟した植物遺体はリグニンやセルロースなどの硬い繊維によって、物理的にも分解が抑制され、耕耘で細断されると分解が速くなる。

(2) 農地の生態系を育て活かす

①生態系を育てる土づくりには時間がかかる

有機栽培を続けると生物多様性が高まり、病虫害の制御までを含む生態系が形成される。しかし、病虫害や土着天敵を含む生物は、ゆっくりと繁殖し、病虫害の被害発生を予測することは難しいので、有機栽培への転換初期には不安が多い。有機農業が育む生物多様性が環境や農業生産に貢献する役割が認識できないという指摘が農業普及関係者から出るほどである。

一方で、水田は5,000種程の生物の生息域になっているとの報告（田んぼの生きものリスト）もあり、見たこともない益虫やいわゆる“ただの虫”や微生物は数多く、水田の生物が多様であれば生産が安定するとの指摘もある。さらに、病虫害抑制効果が高く、かつ自然界では繁殖できない導入天敵に比べれば地味な存在であるが、自生しているトンボやメダカなど、ありふれた生物の働きは把握しにくいだけで意外に大きいと評価されている。畦畔を含む水田を耕地生態系としてとらえ、

施肥や耕耘で繁殖力が変わる生物の住処として、自生する生物の多様性を生かしながら、水稻生産に有用な生物を増やし、有害な生物の活動を抑える工夫が有機農業技術の基礎となる。しかし、そうした土づくりの早期達成方法や具体的な指標設定まで研究が進展していないという課題が残っている。

有機稲作を成功させるには土づくりが最も重要で、土づくりの目標レベルは、慣行栽培における土壌改善目標値に準じると考えられるが、有機栽培に適した目標値を設定するには知見が不足している。さらに目標値に到達するまでの時間を示すことは難しい。新規有機農業者は一般に、痩せ地で有機栽培をすることが難しいこと、土づくりには時間を要することの理解度が低いようである。また、土壌の生物性を高めるのに要する時間は、土づくりの方法や条件によっても大きく異なる。さらに、有機栽培を始める前に土づくりの準備期間をとる（休閑する）ことは経営上、不利益を伴うため、一般には土づくりと併行して作物の栽培を始めることになるが、土づくりが未熟な段階では、様々な問題が起きてくる。

手っ取り早い土づくりは、収穫残渣の施用であるが、寒地や寒冷地では稲わらの分解が温度の制約を受けて不十分となり、雑草の多発要因になる。しかし、有機物の生産と分解が繰り返されることで、土中での有機物の分解と代謝を支える微生物機能は高まってくる。また、土壌水分や酸素の供給量の違いが稲わらの分解に影響し、特に湿田では分解が抑制され、異常還元や生育阻害物質の蓄積などが問題になる。収穫残渣の分解については、寒地、寒冷地だけでなく、暖地でも問題になることがある。1年2作や2年3作の作付体系では、麦わらなど、より分解しにくい有機物が施用され、さらに分解期間が制約されることから、有機物の不均一な分解が生じて後作に影響を残すことになりやすい。

また、一般に農家は、有機、慣行にか

かわらず、土づくりと施肥は区別が曖昧で、土壌への栄養補給やバランスなどの化学性の改善をもって土づくりとするという間違った認識もある。有機稲作では、有機質肥料が緩効的であるため、過剰施用になりがちであり、過剰な栄養分が雑草・病虫害の繁殖力の源になっているので留意する必要がある。生物性の改善を含めた土づくり技術は、増殖する生物の種類や土壌タイプ毎に異なる反応を含み、農業生態系としてシステム変更を伴う、複雑な因果関係で成り立っている。しかし、雑草、病虫害の制御と土づくりとの関係についての研究が不足している。

②時間をかけて農地の生態系を活かす土づくり

雑草問題や病虫害問題の対応策としても示したように、肥沃な土を育てることに時間をかけることが重要である。良い土が育てば多くの難問が解決できるという有機農業の先進的農家は多い。土全体を病虫害や雑草も含めた農地生態系と捉え、生態系を育てる耕耘や栽培法を目標にして土づくりを進めることが肝要である。問題を残したまま有機栽培を実施して骨を折るよりも、合理的な準備期間を設けて面積を拡大していくのが、有機農業の先進的農家の取ってきた道である。

堆肥の連用で生産性が上がることは広く認められているが、その原因については解釈が分かれる。堆肥が土壌中の腐植や易分解性有機物、バイオ

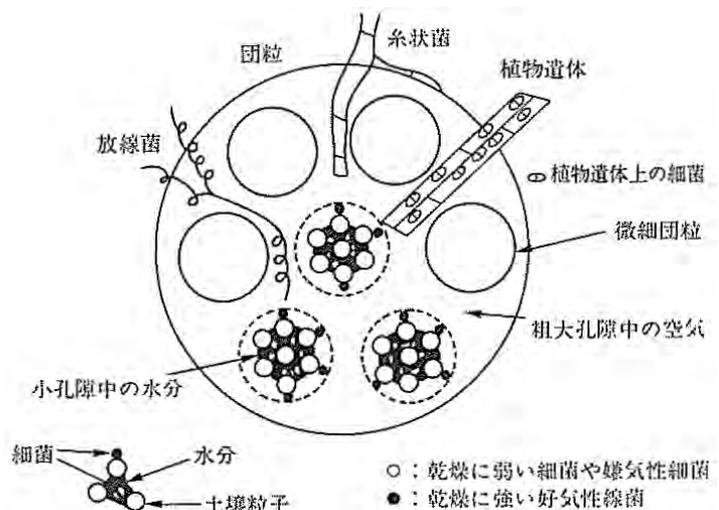


図 I - 2 土壌の団粒構造と微生物分布
(西尾 1988 高井原図)

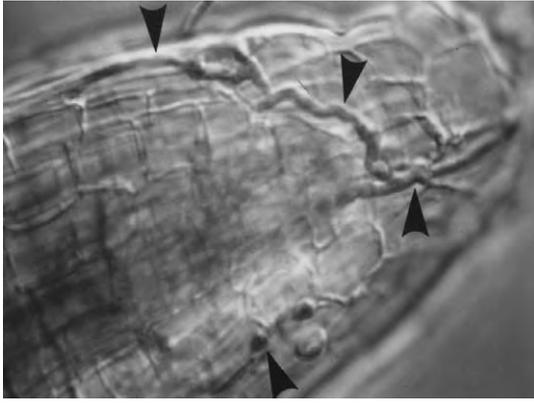
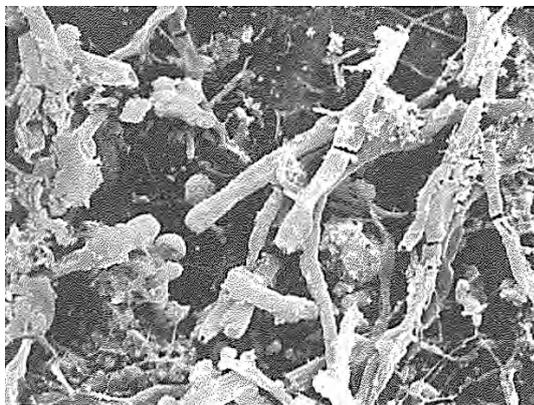


写真 I - 3 根の細胞間隙で共生する糸状菌糸
(エンドファイト▲) (提供: 羽柴輝義氏)

マスの給源となり、地力窒素として蓄積することで、水稻への養分供給能力が高まり、単収の向上につながることは普遍的に認められている。一方で、耕土を深く機能させる効果には、耕耘方法と生物的影響を大きく受けるが、養分供給に比べて作物生育を増進させる効果は高く、正当に評価されていない。土壌中に微生物剤を投与して定着させたり、稲体に直接接種したりして根圏微生物や細胞間隙中の微生物性を改善する効果は顕著ではないが、微生物の働きは団粒構造の生成原理からも必須要素と言える (図 I - 2)、(写真 I - 3)。

優良な堆肥は、土の材料として、土の物理性や化学性に限らず、生物性を改善する効果が期待できる (写真 I - 4)。優良な堆肥は微生物の種菌を含み、土壌粒子の間に隙間を作って団粒構造の形成を促す。優良な堆肥は土壌中の微視的環境において、生物の活性を高める核となり、



街路樹セン定クズ堆肥, 1,000 倍

写真 I - 4 堆肥化後期にみられる種々の微生物
(藤原1988)

また、土壌中に栄養を蓄え、土壌動物や天敵の餌となり、さらに団粒構造の形成を促していく。すなわち、生物の餌と住処を同時に提供し、生物が活発に働き土を耕す核となる。窒素固定細菌や放線菌など、植物の生育と相性の良い微生物の定着を助けることも報告されている。

優良な堆肥による土壌改良の目的は、土壌に養分を補給して増やすよりも、土自らが栄養を保持する能力を高めることに重きが置かれる。寒冷地では稲わらの適正還元が良質な堆肥に替わる効果を持つ。有機栽培の土づくりでは、雑草や病害虫にとって利用しやすい無機栄養分を減らして雑草や病虫害を減らし、水稻の養分吸収量を土壌構造の改善や有機栄養 (地力) で賄うという認識が重要である。

以前の土づくり運動の時点でも、耕土の浅層化が問題視されていた。有機農業でも作土を深くすることが求められるが、ロータリーを使って堆肥を深く鋤込み、土を細かく耕すことは推奨されない。単に深耕によって細かく砕かれた土は構造ができず、すぐに目詰まりを起こすからである。耕土を深くするのは、水稻の根が張れる構造・隙間を下層土に作ることである (写真 I - 5)。多収穫共進会での多収穫水田の耕土は20cmに近いと総括されているが、実際に行われた深耕は鋤起こしの反転耕 (プラウ耕) であり (写真 I - 6)、ロータリー耕に比べ土塊が粗く、堆肥の長期連用によって土壌構造 (隙間) を維持・発達させたことが重要な要因である。

土づくりにおいて重要なことは、孔隙を維持する構造を形成し、水管理と連動して適正な減水深を確保することである。ロータリー耕が主流となつて久しいが、近年利用されているレーザープラウは土を反転させて乾燥させ、作土と心土を交換させながら圃場の均平を行う工法であり、作業性を良くして排水性も確保できるという点で優れている (菅野2012)。



土の間隙 火山灰土の下層土の間隙写真。黒い部分が間隙を示す。根が腐朽して間隙が形成されているようによくわかる。スケールは五ミリ（徳永光一氏提供）。

写真 I-5 下層土の間隙
(岩田 1989 徳永光一氏原図)



写真 I-6 プラウによる耕起と反転の模式図
(高井・端 1998)

2. 水稻の生理・生態的特性

1) 生育温度条件

水稻の栽培可能期間は主に温度によって制限される。生育ステージによって、最適な温度は異なり、耐えられる限界温度もある（表 I-1）。熱帯原産の水稻は本来、低温感受性が強いが、育種や栽培法で低温条件を克服し産地を北上させてきた。特に、幼穂分化期の低温は雄ずいが影響を受け、障害型の冷害を受けやすい。さらに、

表 I-1 生育時期別の温度変化に対する稲の反応

生育時期	限界温度 (注 1) (°C)		最適温度
	低	高	
発芽	10	45	20~35
出芽/苗立ち	12~13	35	25~30
活着	16	35	25~28
葉の伸張	7~12	45	31
分げつ	9~16	33	25~31
幼穂分化	15		
幼穂形成	15~20	38	
開花	22	35	30~33
登熟	12~18	30	20~25

注：発芽時を除き、日平均温度を表す。（吉田1986）

開花から完熟に至る登熟期の低温は稔実不良を起こして遅延型の冷害を起こす。こうした低温の影響を避けるため、栽培できる品種や作付時期が制限される。

100年に一度の冷害年と言われた1993年に、標高905mの長野県茅野市で栽培された「フクヒカリ」の登熟歩合は、慣行栽培の水稻がいもち病の発生と不稔により6.5%であったのに対し、隣接する有機農法13年目の水田では72%と大きな差を示した（岩石・小林1993）。これは多施肥による冷温耐性の低下を回避し、地力を高め水管理の徹底で被害を最小限に抑えた例と言える。

一方、暖地や中間地では、栽培時期を早期化させて早場米産地を形成し、9月に集中して発生する台風被害を回避する作型も取られている。いずれも、生育限界温度の範囲で、加温、保温の育苗様式や、登熟を良好にする田植え時期が選定されてきたが、近年の温暖化の影響もあり高温登熟不良が問題となっている。早植えにより登熟期が盛夏に当たり、夜温が高いために呼吸量も高くなり、デンプンの充実を損なって白未熟粒の発生が増加したことから、最近では遅植え（普通期栽培）が奨励されるようになっている。

有機栽培では、地力の発現を有効に利用する最適な生育温度が得られる時期の栽培が重要になる。低温や高温のいずれも、地力窒素が十分高いならば、地力に依存した栽培によって、温度の変化に適応する栽培が可能になる。

2) 施肥技術に適応した生育特性

(1) 少肥栽培化による水稻の特性

水稻は本来熱帯に生育する多年生の植物であるが、保温育苗などの栽培技術によって寒地まで栽培が広がっている。また、耐冷性育種が進められ、不適地であった寒地でも栽培が可能になっている。さらに、「コシヒカリ」を中心にして生育特性に応じた施肥技術が改善されてきた。

水稻の栽培技術は戦後、農薬や化学肥料を潤沢に使うことによる多収穫を目指してきたが、施肥量は近年減少傾向にある。しかし、平均単収は

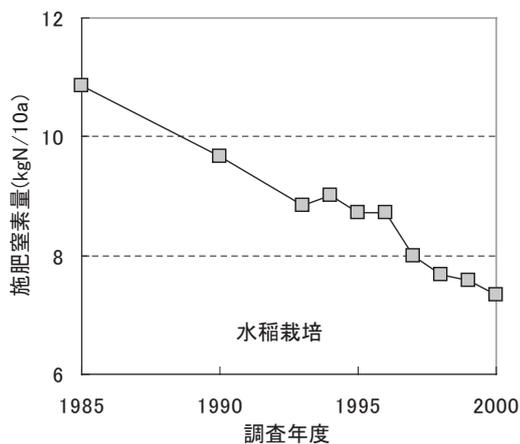


図 I - 3 水稲栽培における全国平均の
10a 当たり施肥量の推移
(農林水産省統計調査結果から作図)

年々高くなってきた (図 I - 3)。

これは、田植機の普及で成苗手植えに比べて苗は弱くなったが、幼植物期を保護する水管理の改善や施肥技術が発達したほか、農薬の使用で雑草や病虫害を徹底して防止してきたことによる。

コシヒカリは倒伏しやすく、いもち病に弱いが、栽培が全国的に広がり、我が国の水稲の3分の1以上を占めるまでになった。同時に改良されたコシヒカリの多収穫栽培法が、施肥量を減らし窒素利用効率 (施肥窒素当たりの玄米重量) を向上させてきた。地力を利用して施肥量を減らし、施肥時期は元肥と実肥重点から、幼穂形成期の穂肥重点に変わった。出穂37日前の節間伸張期の窒素過剰を避けるため地力発現を予想し元肥を減らして倒伏を予防し、出穂期20日前の穂肥で籾数を確保し、少肥で稔実を図る技術に変わってきた。

(2) 施肥に適応する水稲の特性

有機質肥料の利用では、化学肥料による施肥に比べて細根の発生が増える。有機質肥料を使った育苗培土では化学肥料を使った培土に比べて、ホルモン作用で分枝根が多くなり、速く過密になって、田植え時にうまく植えられないケースさえある。本田では有機質肥料の表層施肥で透水性がよければ水の縦浸透に沿って根域が発達する。慣行栽培では浅耕施肥で透水性が低くても、地上部が充分育つが、有機施肥の場合は生育が強く抑

制される。有機栽培では透水性を高めて作土を深くすることが必須であり、水稲は根長が長い形態になる。

出穂期前後に吸収された窒素は玄米に移行しやすく、米の蛋白質含量を著しく高める。有機質肥料の肥効が遅れ、地力窒素の発現時期が出穂期近くになると、吸収した窒素が玄米に移行し、光合成によるデンプンの蓄積が進まないと、相対的に玄米の蛋白質含量を高めることになる。一方、籾殻のケイ酸含量も出穂期前後に吸収されたケイ酸によって高まる。ケイ酸吸収が高く安定すると、充実した籾殻が形成され、過剰蒸散が減少し高温登熟でも未熟粒の発生が抑制される。そのため、出穂期からの登熟期間中に水稲根の活性を低下させないように水管理と施肥管理を組み合わせる。

地力が低い水田で疎植にすると、生育量が不足し、風通しは良くても単収はかなり低下する。1 m² 当たり葉身面積を合計した値 (m²) 「葉面積指数」の最適値は6~7とされている。生育量が不足すれば光合成能力が劣り収量が低下するため、個体の最大生育量に応じて、栽植密度を調整する必要がある。これには播種量や苗質が重要な要素になるので、苗の善し悪しと地力水準を念頭に育苗苗数を決め、最適栽植密度を設定する。

3) 分けつ特性と栽植密度

有機栽培で主流となっている「薄播き疎植栽培」に従うと、慣行栽培に比べ1本当たり生育量が増大し、茎が太く穂が大きくなる傾向がある。実験では広い空間に植えたコシヒカリ1粒の種籾から100近い分けつ茎を出すことも可能であり、生育期間と養分、水分、光量が潤沢に供給されれば、個体の生育量を大きく強くすることは可能である。

このため、養分や生育期間に余裕があれば、1株当たり植付け本数を少なくし、株間を広げて植えることで、稲の能力を強化することができる。1本の分けつを増やすことは、乾湿や温度、養分の過不足に対しても適応する能力を高くすることにつながる。通常は植付け本数と株数の増加によって光や養分、根の張る空間が過密になり、分け

つや発根が停止するが、疎植にすることで過密化が遅れ、1個体が大きく育つ傾向にある。

長年土づくりを継続した地力の高い山形県内の有機稲作田の事例では、坪40株の1株1、2本植えて、例年1株平均55本の穂数を付けていた多収穫田があった。この農家が耕作する有機稲作田では、1993年の大冷害年に「はえぬき」が平均36本/株に分げつし、稲姿が開帳型で株元が太く、下葉の枯れ上がりが少ない強勢な姿であり、収量は約700kg/10aであった。

3. 有機栽培技術の基本と留意点

1) 作付時期と品種の選択

(「Ⅱ. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

(1) 作付時期の設定

有機稲作では地力窒素を有効に利用することが栽培安定化の条件であるが、水稻の生産力は、地域の気象・土壌・排水条件から強い影響を受ける。作付時期は有機栽培の難易度とも大きく関係するので、栽培しやすい時期を選択するに時にもいろいろな制約を考慮して行う必要がある。

①作付時期や早晚性の選択

有機稲作の安定化には雑草発生の旺盛な時期を避け、地力窒素を主体とした肥効の発現に適した作付時期を選定することが肝要であり、初期生育を順調にスタートさせる観点から、稲の遅植えが原則である。

中でも、寒地及び寒冷地での栽培可能期間は短く、品種や作型の選択範囲には制約があるので、大苗、遅植え栽培を進めることが基本になる。ただし、低水温で有機物の分解が抑えられ窒素の放出が遅いため、田植え開始時期が遅れ、霜が降る前に収穫する必要があることから、地域によって安全な出穂晩限期が決まってくる。東北太平洋側で発生する「やませ」は、夏の低温をもたらし、極端な気温低下が花粉の受精能力を低下させ、障害型の冷害を起こす(農林水産省東北農業試験場1999)。

また、収穫から田植えの期間までの温度によ

って稲わらの分解は影響を受ける(図I-4)。秋の耕耘によって稲わらなどの収穫残渣を土に戻し分解を進める必要がある。その程度は、収穫後の耕耘鋤き込みから翌年の田植えまでに、稲わらを重量で4~5割は分解して減少させることが目安になる。そのためには、秋の稲わら鋤込みから田植えまでに積算気温で1500~1800日°Cを確保する必要がある、遅植えや収穫日同時秋耕耘をして、有機物の分解期間を確保するようにする。

このため、寒地や高標高地で収穫から田植えまでに1500日°Cを確保できない場合には、例えばより早生種を栽培し、大苗を育苗して本田の栽培期間を短縮するか、稲わらの一部または全部を持ち出して堆肥にしてから土に戻す工夫が必要である。堆肥は秋の内に鋤き込む方が望ましく、できれば収穫した翌年に戻すサイクルで1年越しの堆肥を収穫直後に施用することが合理的である。

なお、有機稲作でも、地域的な慣行に従った方が良い場合がある。例えば、温暖地では台風など秋雨期の気象災害を避け、収穫作業を容易にするため、栽培時期は早期化している。また市場競争の激化から早期栽培、早期出荷が慣例化し、冷涼地でも遅延型冷害を避けるため早生品種の作付けが常態化している。こうした地域的な制限を勘案し、育苗の時期、稲わらの分解、初期生育、活着の良さ、雑草抑制などを勘案し最適な作付体系を選択する必要がある。

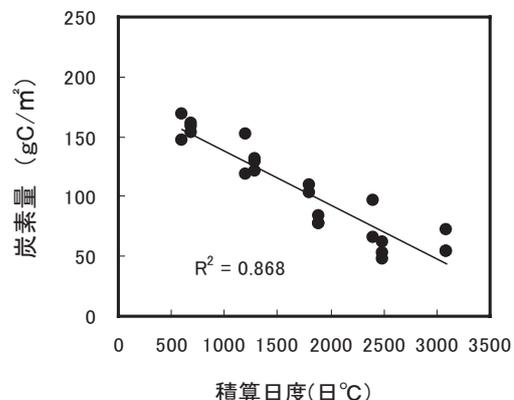


図 I-4 積算温度と稲わら炭素量の関係 (三木ら2011a)

②灌排水条件による制約

用水の利用は地域の慣行に制限されており、特に用水不足の地域では、使用量や使用時期が細かく設定されている。そこで、代かき、中干しなど、地域の事情を勘案した栽培体系をとる必要がある。特に、水田転作において地域ぐるみでブロックローテーション方式による集団的、計画的な土地利用がとられている場合には、有機栽培であっても作付け自体が制限される。

このような場合には、経営規模や農機具の装備状況によって、栽培期間が制限されるので、可能な作業体系や経営方式を勘案して、有機農業を上手に進めていく必要がある。例えば、水稻の収穫は殆どコンバイン収穫になっているが、バインダー収穫・はざ干し体系では、脱穀、稲わら細断の作業時間が加わり、秋耕開始が2週間は遅れる。ロールベアラーなどで収穫した稲わらを持ち出す場合にも、乾燥させてから集める必要があるため、天候によっては作業が遅れることがある。耕耘方法も一般的なロータリー耕に対し、サブソイラーやプラウ、パーティカルハローなどでは、土の混合程度が大きく変わってくる。天候に左右されないように作業を進めるためには地耐力も要求されるので、自由に排水可能か否かでも作業の可能時期が制限されることになる。

③作付体系からくる制約

寒地や寒冷地では、1年1作の水稻単作の土地利用が普通であるが、裏作として生育期間が短く越冬できる緑肥が栽培される場合もある。温暖地でも稲の2期作ができる所は限られるが、排水条件が良ければ裏作に麦類やタマネギ、キャベツなどの野菜を栽培する1年2作体系を行う例が多い。

また、中間地では秋に麦類を作付け、翌年は大豆やそばを作付ける2年3作型の作付体系も多い。こうした水田輪作タイプの有機稲作では、前作の作物残渣の分解が不十分であったり、未熟有機物を鋤込んだ場合は、水稻の生育に問題が生じる場合がある。有機栽培では土づくりのため、稲わらが積極的に施用されるが、稲わらに刈り株や根を含めた収穫残渣を土壤へ戻すことで地力を

高めると同時に、分解に伴う土壤の還元化による生育障害が起こりうるので、注意を要する。

水田では、裏作の緑肥作物や麦作、野菜作など土を肥沃化する作物が利用でき、作物が育たない時期には、土壤の急激な還元化などの変化に強い雑草種が繁茂する。一方、裏作の緑肥は土壤への養分補給のみでなく土壤構造の発達を通じて土づくりに役立つ効果もある。

このような作付体系によって水稻の作型も一定の制約があるが、長期の有機栽培圃場では、土壤動物や微生物の働きと有機物の分解能力が強化されており、前作の作物残渣の分解不足による作付時期への影響は軽減しているとの指摘も多い。

(2) 品種の選択

(「Ⅱ. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

①有機栽培に向けた品種選択の考え方

有機稲作では地域の条件に合った早晩性をもつ品種を選択する必要がある。例えば、寒地及び寒冷地では、生育期間が長いほど生育量を増加させることができるが、登熟が遅くなり、時には霜が降りて完熟できない危険性がある。水稻の生育可能期間内に田植えから収穫を完了できる丁度良い品種を中生として、品種の生育期間で相対的に区分したのが、地域の早晩性である。

有機稲作では、地域の温度条件にもよるが、元々地力窒素の発現が遅れやすいことや有機質肥料の肥効発現が遅いことから、初期生育が遅延しやすく生育量もあまり確保できないため、全国的に栽培される「コシヒカリ」は、地域により極早生から晩生と幅広く位置づけられている。地域と品種の早晩性は密接に関連しており、地域毎に品種の生育期間は変わる。水稻品種は各都道府県で奨励品種が定められており、その特性が示されているので、農業者独自の判断や価値観による場合を除いては、有機栽培に向けた品種をこの中から選択することが現実的である。

有機栽培向けの品種選択に当たっては、以下のような点に留意して選択する。

- 極早生、早生の品種で穂数型の草型や耐倒伏性の高い品種は、有機栽培に適していないことが多い。
- 施肥に依存しない少肥適応性を持ち、偏穂重～穂重型の品種は、有機栽培でも籾数が多く収量を上げやすい。
- 初期生育が遅く出穂が早い品種では十分な収穫量は得られず、品質も低下しやすい。

② 中生種から中晩生種を選択する

有機稲作を開始する際は、まず各都道府県の奨励品種に着目し、中生～中晩生の品種の中から、出穂期や成熟期を基準に選択する。有機栽培では茎数確保が難しいので、稈長の短い穂数型品種を避け、品種特性表で生育後半に籾数を増加させやすい穂重型と表示されている品種を採用する。早植えて地温が低くても多肥栽培で草丈が短くなるよう倒伏がしにくく改良されている耐肥性品種は、有機栽培にはあまり向かない。耐冷性がある、稈長が長めで耐倒伏性が弱いほど少ない養分を有効に利用できる、無肥料や少肥栽培には適する傾向がある。栽培地域の条件に適応して健康に育つ品種を選ぶことが重要で、地域の有機農業の先達者の意見も参考になる。

図 I-5 は有機稲作での出穂期と収量の関係を示しているが、出穂期が遅い中晩生種～晩生種の生産力が高い。ただし、晩生種は冷夏の影響を強く受け登熟不良となり、台風や秋雨の影響で収穫困難になる可能性があるため、長い目で見る

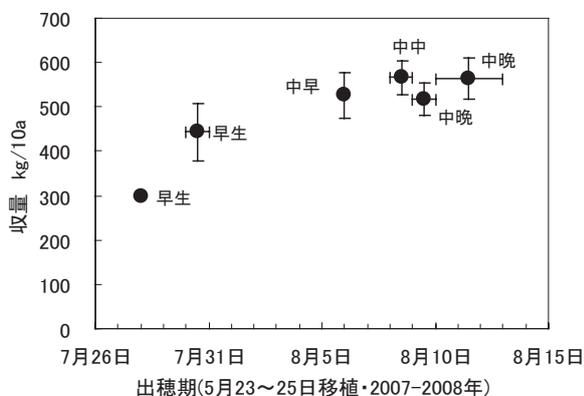


図 I-5 品種の早晚性と収量の関係
(標高 685m 黒ボク土水田)
(三木 2011a)

と中生種の方が生産力が安定すると言える。

③ 「コシヒカリ」の特性

現在、国内で最も多く作付けされている「コシヒカリ」は、食味品質が良いだけでなく、有機稲作に適した特性をもっている。「コシヒカリ」はいもち病真性抵抗性はないが、圃場抵抗性が強いことや、低温耐性が高く、寒冷地の晩生から暖地の早期作型の早生としても利用される広域適応性を持っている。また、少肥適応性があり、耐肥性品種に比べると、有機質肥料を使わなくても穂数が増加し、草丈や収量を確保する能力が高い。(財)自然農法発センターで行った寒冷地での有機栽培の品種比較試験(1993～1994年)では、「コシヒカリ」は中生に分類され、耐冷性や少肥適応性の点で有機水稲栽培に適し、「コシヒカリ」を上回る品種は少なかった。

ただし、「コシヒカリ」は出穂37日前頃に下位節間が伸張しやすく、この時期に倒伏する危険性が高まるので、耐倒伏性・耐肥性がないことに留意が必要である。また、「コシヒカリ」では多収の限界があるので、今後より有機栽培に適した少肥・地力利用適性のある穂重型の品種の開発が期待される。

「コシヒカリ」の導入できない北海道や東北北部、高標高地では、「コシヒカリ」の遺伝子を受け継ぐ品種が育成されて栽培されている。北海道のきらら397、秋田県の「あきたこまち」、宮城県の「ひとめぼれ」などである。

2) 育苗 (「II. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

(1) 育苗用土の準備

有機栽培による育苗に当たっては、育苗用土や有機質肥料の準備をはじめ、出芽から緑化までの温度管理や水管理、液肥散布のタイミングなどに留意すべきことが多い。特に育苗にコツが必要な、平箱を使ったマット苗、低温期の育苗や水管理が楽な育苗様式としてプール育苗を中心に解説する。プール育苗は、夜間の保温効果が高く、日中の高温障害や早魃害を受けない効果があるが、根域を制限するので、良く肥えた用土を使うか、

有機質液肥の追肥によって苗を老化させない管理が必要になる。

有機育苗に不慣れな間は、購入した有機肥料入りの育苗用土を使って、有機質肥料によって生じる障害を予測した上で、健苗育成を目指すことを勧める。無肥料で播種した後、出芽後にフィッシュソリブル(魚煮汁エキス:アミノ酸態N 6%相当)の液肥の追肥(育苗箱1箱当たり45mlを3回に分けて施用)のみを行って、生育させると良い苗ができ、問題を回避できる。無肥料の販売用土に有機質肥料を入れて、慣行栽培的に有機育苗を始めれば高い確率で問題が発生し失敗する。有機肥料を使った育苗では、低温時の育苗ほど養分を多目に施用して肥効を補うが、有機質肥料を多く混合すると、出芽不良や立枯病を起こしやすくなる。こうした経験に立って、用土の作り方を修得し、土づくりの理解を深めながら健苗育成に努めることになる。

プール育苗や遮根シートを利用せずに、苗床に直に発根させて苗を大きく育てる方法が、本来、有機栽培には適している。この場合、箱を置く場所の土を有機肥料を使って土づくりしておく。有機質肥料は再発酵しないように事前に分解させて使うか、発芽時に発酵して出芽を阻害しないように、箱底に撒いて苗箱の土と混ぜないようにしてカビの発生を抑える方法もある。

育苗用土を購入せずに、自家の山土あるいは畑や水田の土を利用する場合には、畑の土づくりと同様に育苗用土に使う場所の土づくりを行う。採土場所にハウスを建て、作土を掘り返し、土を乾燥させ、篩いを通して育苗用土に使う方法が効率的である。そのためには、自家培土を作る専用の場所を決める必要がある。

また、置き床にする場合には、代かきをして折衷式にすれば、根を置き床に伸ばせると同時に、水もちを良くして保温する効果も得られる。

(2) 播種

田植え後に雑草が生育しにくい深水管理、あるいは土壌表面の有機物分解に伴う土壌理化学性

の急激な変化等の厳しい状況下におかれても、水稻が健全に育つように中苗(完全葉数で4葉)から成苗(同5葉)にして、田植え後から出穂期までの間に十分な生育量(㎡当たり茎数300~400本)を確保できるような苗作りを目指す。また、目標茎数に近づけるために、イネミズゾウムシなどの虫害被害による減少も想定して、やや多目に苗を植えることも効果的である。当初(有機転換3年目前後)は育苗中の苗の欠損も見越して、保険的に2割前後多目に苗を用意しておく。

有機JAS規格では病気などで育苗を失敗した時以外に、慣行栽培の苗を利用することは出来ない。そのため、失敗分を見込んだ箱数を確保することも必要がある。寒冷地を例にとれば、育苗箱枚数ばポット育苗では40箱/10a分(栽植密度15株/㎡)を、平箱育苗では25箱/10a分(栽植密度20株/㎡)を目標に、慣行栽培の場合より多目に育苗する。寒地ではこれより多く、中間地から温暖地にかけてはこれより少ない育苗箱枚数で調整する。そして、中苗~成苗は播種後35~45日で移植する。

播種量は、中苗は80g/箱、成苗は40g/箱を基準として薄播きとし、育苗日数が経過しても老化しないようにする。根が過密になり空間が制限されることで、生育の停滞や老化が進み、活着が遅くなることを避けるため、3~4葉が順調に展開するように、元肥を減らすか、若苗で田植えをするか、あるいは40gまで初量を減らすことで成苗まで育苗する。

有機栽培の育苗では農薬が使用できないので、種籾の浸漬や催芽の時点で、ばか苗病などを発病させないように、清潔な環境を維持するか、土づくりを行って生物活性の高い育苗用土や置き床によって、発病を予防する必要がある。田植え時期に合わせて、低温の5月期は3葉~4葉の比較的低温に強い若苗・中苗を移植し、温度が高くなる6月期には5葉以上の成苗を移植する。3葉から4葉にかけて葉数の増加が止まると、苗は硬くなって老化が進み、田植え後の生育が遅れる原因になるので、できるだけ柔らかい苗質を目指して順調に葉数を増やすように温度の変動幅を小さく抑

表 I - 2 催芽時の食酢濃度と各種病原細菌の増殖抑制との関係

食酢濃度 (%)	pH	菌数 (cfu/ml)		
		褐条病菌	もみ枯細菌病菌	苗立枯細菌病菌
無添加	6.5	1.0×10^8	4.2×10^6	2.5×10^6
1	3.9	6.8×10^3	2.4×10^4	8.0×10^2
2	3.6	6.8×10^2	4.0×10^3	4.0×10^1
3	3.4	4.0×10^1	10 ³ 以下	0
4	3.3	0	10 ³ 以下	0
5	3.2	0	10 ² 以下	2.0×10^1
6	3.2	0	10 ² 以下	0

注：・催芽30℃、24時間後の催芽液中における細菌数
 ・食酢濃度：酢酸含有濃度=約30:1
 ・濃度測定使用培地 もみ枯細菌病菌(CCNT培地)
 ・褐条病菌(AacSM培地) 苗立枯細菌病菌(FGA培地)
 (富山県農業試験場HP)

えることが重要である。

温湯消毒や抵抗性を高める微生物農薬による種子処理は、すでに多くの地域で実践されており、有機栽培にも適用できる。硫黄で用土のpHを低く調整して立枯病の原因菌の活動を抑えるほかに、催芽時の殺菌効果として食酢の有効性が、富山県農業試験場によって明らかにされている(表 I - 2)。こうした処理で苗立枯細菌病やもみ枯細菌病などの発病を未然に防いで、安定して緑化まで経過させることができる。

(3) 育苗法

寒冷地の低温期の育苗で、温度管理をおろそかにすると、立枯病などの原因になるので、徹底した保護を要する。寒地や寒冷地では低温対策を怠れないが、中間地の普通期栽培ではそれほど問題にならない。限界を超える低温と高温を繰り返す寒地、寒冷地では、馴化時も含めて苗が回復できないダメージを与えないように、適正温度の範囲で徹底して保温する必要がある。

有機質肥料の肥効の特徴として、茎葉よりも根の生長量が勝るため、マット苗では育苗箱内で早めに根が充満する。特に、魚粉ではルートマットの形成が進み、田植機でうまく植えられなくなることがある。田植機を使うマット苗育苗では、地上部の伸びを重視して、素直に大きく育てる。

箱に施用する元肥を減らして有機質液肥等の追肥を行うようにした方が、用土の有機物分解に伴う出芽障害を回避できる。ただし、養分不足は生育が遅延し、苗は低温にも弱くなり、ムレ苗になる危険性も高まるので注意する。特に、成苗育苗に当たっては老化を防ぐ必要があり、地床へ出根させ根域を広くしたり、追肥で養分補給をするなど、苗の健全度を維持する必要がある。簡易な方法では、液肥としてフィッシュソリブルを箱当たり15mlを希釈して適時灌水すると、尿素液の追肥よりも強い苗が育つ。成苗向きのポット苗はマット苗と同じ箱1枚当たり40g未満の播種量になるが、マット苗の平箱よりも用土が少なく、プール育苗に向いていないため、養分を確実に補う必要がある。

3) 圃場の選定と準備

(1) 圃場の選定

慣行栽培から有機栽培に切り替えた場合には、できるだけ有機栽培が行いやすい圃場から転換していくことが原則になる。しかし、有機栽培の規模拡大を図る際や新規就農者が有機栽培を開始する際には、慣行栽培田や遊休水田を借地するケースも多い。このような際の圃場選択に当たっては、有機稲作が円滑に行える条件を整える観点から、極力以下のような条件を満たした圃場を優先して選ぶことが望ましい。

① 用水確保の容易な圃場

十分な用水が確保できる圃場を選定する(写真 I - 7)。深水管理や長期間の湛水維持が必要な場合があるため、豊富な用水を確保できることが望ましい。新規就農の場合には、水利慣行を含めて地域の実情と、有機農業に適した水管理が可能かどうかを十分チェックする必要がある。

② 水持ち、水はけの良い圃場

湛水状態を維持できる水持ちの良い圃場を選定する。これは田面が露出すると、種子繁殖型の雑草の発芽が促進したり、養分が溶脱するためである。特に、漏水田では除草効果が得られにくい。逆に、排水が悪い圃場では、多年生雑草が繁茂して、除草が難しい。周囲の地形に影響を受け



写真 I - 7 用水が自由に使えない圃場のためにヒエが繁茂した水田の例

る地下水位の変動や、粘土含量の多少などから判断し、水持ち、水はけの良い圃場を選択する。特に、畦畔の強度は重要な要素である。

③地力の高い圃場

有機稲作での収量確保には地力の影響が大きい。地力は短期間で向上させることは困難なので、できるだけ地力の高い圃場を選定した方がよい。

借地をして有機栽培を始める場合には、慣行栽培での水稻の生産力から地力を判定することは難しいので、土壌診断の利用や土づくりの履歴などを聞き取り調査して地力の高低を推定し、着手することが望ましい。

④雑草の発生の少ない圃場

雑草の発生量が少ない圃場ほど雑草管理が容易である。特に、クログワイ等の塊茎雑草の駆除は手取り以外の方法による除草が困難なため、発生がみられない水田が望ましい。なお、日頃の管理が行き届かず、十分な除草が行われていない水田で、有機栽培を始めると困難を伴う。

⑤ 日当たり、風通しの良い圃場

日当たりが良く、風通しの良い病害虫の発生の少ない圃場を選定する。

(2) 有機栽培開始前の準備

慣行栽培から有機栽培への転換を順調に進めるには、事前に雑草種子をできるだけ無くし、地力を高めておくことが望ましい、そのため、有機栽培に移行するタイミングを定めて、農薬使用を

中止してから3年間の雑草管理を徹底し、慣行稲作と併行して生産を進めながら、段階的に有機栽培面積を拡大していくことが現実的である。

たとえ雑草の多発水田であっても、雑草の生えにくい水田の土づくり作業を行っていけば、除草剤が無かった時代の50時間/10aの除草労働時間に対し、5年以内に1/3以下の労働時間にまで抑えることは可能である（図 I - 6）。有機稲作における雑草抑制対策は、除草を徹底する有機栽培への転換前の作業と、長期的視点に立った雑草の生えにくい土づくりという2段階で進めていくことが大切である。

有機栽培を円滑に行っていくには、事前に以下のような点に留意しておく必要がある。

- i. 最初に、しっかりした畦畔にするために、不良な畦畔を補修する必要がある。排水が悪い地域や 湿田でも、圃場内の縦浸透を促すことで生産力を高めることができる。土壌中の酸素供給量が不足すると、地力窒素や有機物の分解が停滞する。水田の適正な日減水深と水温にも配慮して、透水性管理を行う。水温が高く地下水位が高い地域では、日減水深を高める工夫を行う。時には代かきを省略する対応も有効である。

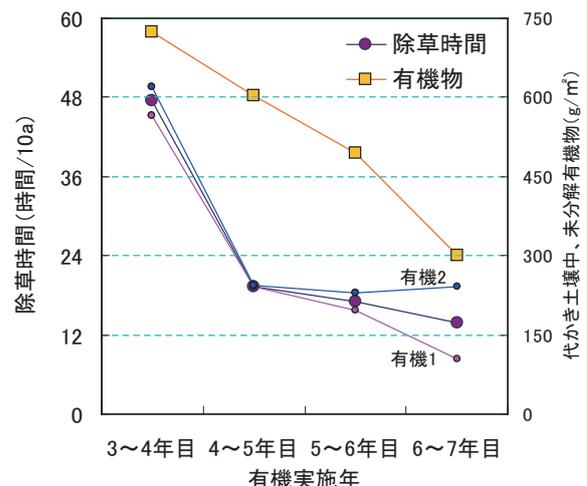


図 I - 6 有機転換後の除草労働時間と田植え時の未分解有機物量の推移（2011）

注：有機1は機械除草後ボカシ施用。有機2は田植直後にボカシ施用、後に機械除草を実施。

((財)自然農法センター事例調査データから作図)

- ii. 中間地や温暖地の普通期栽培では、強湿田を除き裏作で麦や野菜の二毛作が行われている。そのため、稲わら等の収穫残渣は後作の麦類や野菜栽培に影響し、さらに麦類の収穫残渣が水稻の作柄に影響する。特に、麦わらはC/N比が高く、夏の高温期でも容易に分解しないことや、窒素飢餓による生育障害と芳香族脂肪酸(3-PPAなど)の影響により水稻の生育障害を起こすことがある(田中2002)。
- iii. 有機酸による障害は、前作の作物収穫から田植えまでが短期間の場合、鋤込み直後の分解段階で起こるため、二毛作田で頻繁に生じる。また、慣行栽培において窒素飢餓は化学肥料で緩和されるが、有機栽培では逆に悪影響を与える。湛水前の好氣的な分解が促進され、かえって窒素飢餓を生じやすくする。そのため、収穫後の早期代かきにより嫌氣的分解で1カ月以上経過させた後(積算温度1000日℃を超える)に田植えを行うか、逆に代かき直後に田植えをすることによって障害を回避する方法を選ぶ。
- iv. トビイロウンカの侵入密度を低下させるためには遅植えが好ましい(森ら2011a)。一方、有機物の浅い鋤込みで生理障害が早く急激に起こり、病害虫の被害を受けやすいため、深く鋤込んで影響を分散させる方法もある。しかし、長期間の有機物分解が病気や虫害の誘因となる場合は、稲わらの搬出が最も効果が高い。
- v. 有機物による地力向上には、多量の有機物源確保と運搬移動によるコスト増加が問題になるが、裏作に緑肥(イタリアンライグラス、レンゲ、ヘアリーベッチ、菜種等)を作付することによって、多量の有機物源が確保できる上、コストの縮減を図ることができる。うまく活用できれば、緑肥作物の生育によって土壌構造が発達し、大量の養水分の吸収と放出により土壌の保水性や透水性が改善でき、土壌機能の活性化が図られる利点もある。

4) 土づくり

(「Ⅱ. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

(1) 生態系を重視した土づくりの意義

水稻が育ちにくい地力の低い水田では、雑草が優占する。一般に水稻は、肥料ではなく地力で穫るものと言われる。窒素を例にとると、化学肥料施用田において、水稻に吸収利用される窒素のうち地力由来窒素は6~7割にも及ぶ。化学肥料に依存しない有機栽培では、特に継続的な土づくりが肥培管理の基本となる。農薬や化学肥料のない時代には、有機物施用や耕耘、代かき、病虫害や雑草害を抑える耕種的管理を継続的に行い、優良な農地を育ててきた。その後、慣行稲作では化学肥料や農薬の使用を柱として、土づくりの労力を減らしながら、過去60年間で収量を倍増し、労働時間を1割以下に低下させてきた。有機栽培では、その原動力となった農薬と化学肥料を使用しなくても生産力を大幅に下げないことが求められている。近年稲作向けの堆肥の施用量は減少を続け、1985~2000年間に施肥窒素量は10a当たり4kg減少し、4割減となっている中で、単収は増加している事実もあり、総合的な視点に立った土づくりの工夫が求められている。

土づくりには、ミネラルや腐植を増やして化学性や物理性を改善するという従来の考え方を発展させ、さらに水稻生産にとって望ましい生物性を含めた農業生態系の構築を進め、結果的に地力が高く、栽培しやすく、生産が安定する水田に作り変えるという、土づくりの発想が重要になる(図I-7)。

水田では栽培する作物以外に、雑草や小動物が生息している。自然界では生物が土づくりの主役となる。特に、植物体は土壌の材料ともなり、根を張って土壌中の空気や水を移動させ、有機酸や様々な栄養を放出・吸収し、土壌動物や微生物を増やして土壌機能を向上させている。さらに、植物の残した有機物を餌や住処とする土壌生物の活動が土づくりを助けている。

水稻が生育しやすく、雑草との競争力を高める

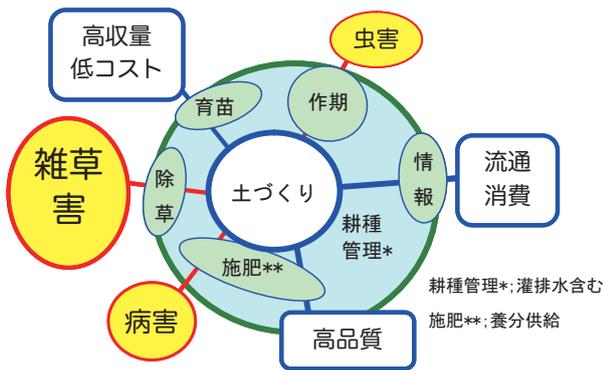


図 I - 7 有機水稲栽培を支える土づくりと耕種防除の構造

と同時に、雑草が増殖する原因を取り除く土づくりを進めることが重要である。雑草が繁茂しやすい生態系の特性を知り、土づくりの働きを知って、雑草が抑制されるように栽培方法や土づくりを工夫することが大事である。

そのためには、雑草繁茂を助長するような、不要な耕耘や不要な施肥を控え、適期に栽培することがその技術のポイントになる。施肥や耕耘は、生態系の遷移を止める力となる反面、生態系の均一度を増し、生態系の中を巡る養分循環速度を高めることができる。有害生物に振り向けられる養分を無くすことが、農薬の使用が必要ない水田を育てることに直結する。

(2) 地力を生かす施肥や堆肥の必要性

① 不足養分の検討

特定の欠陥土壌を除き、多くの水田土壌中には、不可給態の形で潜在的に可給化できる養分が豊富に存在する。湿田では特に排水改良によって乾土効果から窒素の可給化が進む場合がある。一方、いわゆる秋落ち田や老朽化水田に加えて、近年の有機稲作田では移植直後に生育が停滞する早期生育不良田も見られる。このような場合、水稲の生育診断に加えて、土壌診断を行うことは低収要因を特定する上で不可欠である。

水稲で不足しがちな必須養分には、ケイ酸、窒素、リン酸、カリウム、カルシウムなどがあり、土壌中に十分存在していても、吸収できない形態となっている場合がある。収穫残渣の全量還元を前

提にすると、600kg/10aの玄米収量の場合、その1割の米糠と4分の1の籾殻を土に戻すことになる。白米500kg/10aを持ち出した場合、同時に持ち出される成分は、ケイ酸が数十kg、窒素7kg、リン酸1.2kg、カリウム0.7kg、カルシウム0.1kg程度になる。特に、ケイ酸は土壌や栽培条件によって稲体中の濃度が変わりやすく、10a当たり50~100kg程度の範囲で変動する。こうした持ち出し養分の補給をする場合、堆肥や有機質肥料でも養分バランスは崩れやすい。窒素量を基準に施用量を決めると、植物性の資材では大きな偏りはないが、動物性の資材ではカルシウムやリン酸が過剰となりやすい。

通常、土壌の化学性は可給態あるいは有効態の成分として測定されるが、施肥によって水稲生育が良好になる養分については多くの知見の蓄積がある。しかし、雑草害を出しにくい土壌の養分バランスなどについては知見が十分ではない。(財)自然農法センターのいくつかの実験結果では、施肥による特定養分の増加は雑草を増やしやすいことが報告されている。有機肥料に由来する可給態窒素(Av-N)の発現量や、有機肥料の施肥時期は、耕耘との組合せによっては雑草量を増加する働きが認められる(図I-8,9)。また、土壌改良剤のCaなどの施用によって雑草は増加することがあり(図I-10)、有機肥料に比べコート尿素の表面施用は雑草の割合(雑草重量群落比)を増やし、リン酸を組合せることで水稲生育量が増加し雑草割合が低下する場合がある(図I-11)。

例えば、宮城県伊豆沼周辺の湿田での有機栽培農家は、生育不良原因として肥料不足を疑っていたが、無機態窒素の分析値では十分な窒素量があった。これは、土壌の還元化による有機酸などの発現が原因で生育障害が生じた例である。有機栽培圃場の現状を適正に判断する診断基準値は今後の検討課題であるが、まず肥料不足と考えるのではなく、過剰障害も疑って土壌診断を行い、分析結果を元に検討する必要がある。

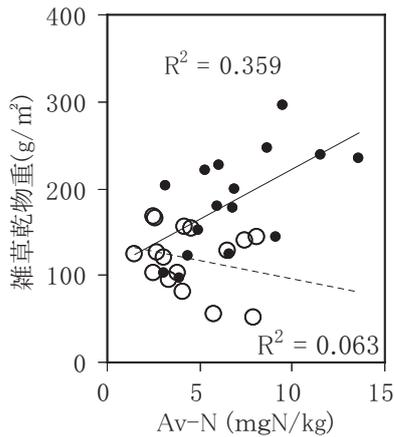


図 I - 8 土壌中の可給態窒素量と雑草

注1: 横軸は田植え3日目の土壌(2~15cm深)の可給態窒素量

注2: 図中の白丸は秋耕起あり, 黒丸は秋耕起なしを示す。(岩石ら2010)

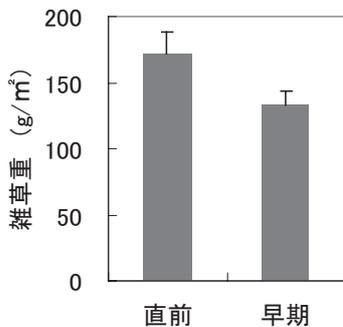


図 I - 9 有機肥料施用時期と雑草量(有機肥料は米ぬか、魚粉、油粕)

((財)自然農法センター 2006から作図)

②土づくりの目標となる物理性の推定

土壌の化学性に比べ物理性は観察によって容易に診断できる。透・排水性は降雨後の田面水の経過の観察で分かり、水稻の生育改善に役立てられる。非作付期間の透水性や水分状態によって、土づくりの進め方を変える。田植え時期の土の硬さは活着に大きく影響し、作土深や鋤床の深さは生産性や作業性に大きく影響する。

水稻の生育診断と同様に、栽培時に優占する雑草種によっても、土壌の物理性や化学性の診断ができる。透水性や土の硬さなどの物理性には、作業性と生産性を両立させる最適な状態がある。さらに、雑草対策を念頭において、コナギ・ヒエ・ホタルイ・オモダカ・クログワイの発生状況を観察することにより、土を湿潤化させるのか乾燥化する

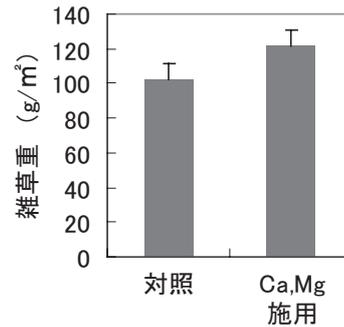


図 I - 10 春ミネラル鋤込みと雑草

注: Ca, Mgは水酸化マグネシウム等
((財)自然農法センター 2004から作図)

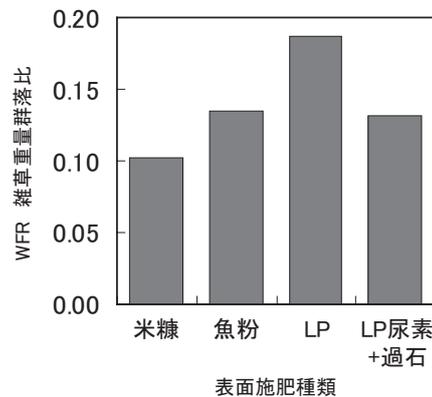


図 I - 11 表面施肥の種類と雑草の発生本数

注: 1/5000aポット、N8g/m²、LPはコート尿素
((財)自然農法センター 2007から作図)

のかを判断し、的確な対応をすることが必要である。

(3) 有機栽培の継続と土づくり効果

土づくりが進んだ土には水稻の生育を増進し、雑草の生育を抑える力がある。

土づくりや施肥が雑草繁殖に与える影響は、実際の有機栽培転換期間における経過を検討したり、栽培履歴の異なる水田土壌を使った実験から、雑草の発生量や繁殖力の違いを確認することができる。図 I - 12は、長期間の有機栽培継続田と慣行栽培水田の土壌を使ったポット栽培の結果を示している。春先に土を採取し無肥料でそれぞれ水稻を栽培し、半分はコナギとタイヌビエを播種して、乾物重量を測定した。供試した有機水田では安定して9俵/10aの単収があり、慣行栽培は安定して10俵以上の収量があった。無施肥ポット実

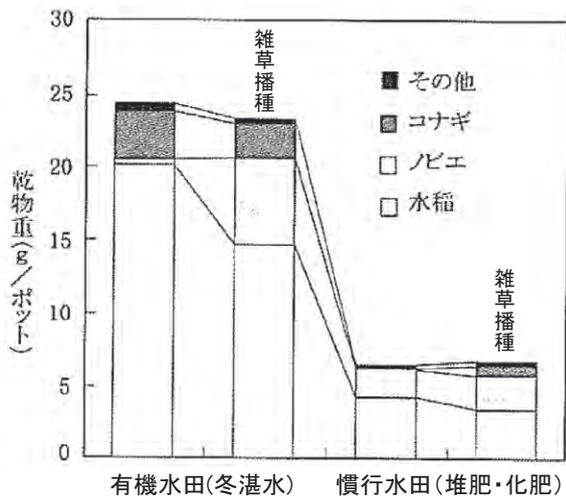


図 I - 12 有機水田と慣行水田の土壤で無施肥栽培をしたときの水稻と雑草の乾物重 (岩石 2007)

注1: 15年間有機栽培し、前3年間冬期湛水した有機水田と慣行水田の作土15cmの土壤を供試した。
 注2: 半分のポットに表層2cm土壤にコナギ110粒とノビエ100粒(発芽率90%以上)を播種した。

験では、有機水田でコナギが優占し、慣行水田ではノビエが多く発生した。有機水田ではノビエの種が少なく、ノビエを播種すると水稻生育を抑えてノビエが生育し、慣行水田ではコナギがほぼ発生せず、コナギを播種すればわずかにコナギが発生した。このように、土づくりを達成した有機水田ではコナギの生育が抑制される効果がある。

有機栽培田の土では、無肥料でもある程度水稻が生育し通常の穂を着けたのに対して、慣行水田の土壤では数粒の籾が着粒しただけの有効穂が着かず、有機水田の水稻乾物重は慣行水田の土の4倍となった。有機水田の地力が非常に高いことを示す事例と言える。

5) 施肥管理

(「II. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

(1) 栄養の補給と地力の補充

有機栽培では、地力を高めて施肥量を減らすことを目標にするが、痩せ地や低温の場合の養分不足は施肥で補う必要がある。その場合には、窒素含量が高い有機物かアミノ酸態など低分子化の易分解性有機態窒素等、事前に良く分解させた有機物を施用する。

地力を高めるためには、C/N比の高い粗大有機物(例えば稲わらなど)を収穫後の温度がある程度高いうちに鋤込んで、田植えまでに分解を進める。あるいは秋のうちに稲わらの分解を促進するために、不足する窒素分を有機質肥料により、交換性のミネラルを貝化石や草木灰により補うようにする。

有機物は分解後に肥効が現れ始めるため、発酵消化液やアミノ酸態の液肥等を除き化学肥料に比べて肥効が遅れやすい。未分解の有機質肥料及び鶏糞や豚糞由来の堆肥では、鋤込み後数週間、牛糞堆肥などでは鋤込み後数年をかけて無機態窒素が発現してくる。特に、寒地や寒冷地での栽培や中間地での早期栽培では地温が低く、地力窒素の発現量が不足しがちなので、幼苗期の育苗中や田植直後においては、速効性の窒素分を補い生育を助ける必要が出てくる。また、砂質の漏水田や保肥力が低い圃場では溶脱量が多いため、幼穂形成期の穂肥に相当する時期の養分欠乏が顕著になる。そうした場合でも、有機質資材の施用から分解・養分供給までの時間差があることを考慮した早めの施用を行ったり、速効性の高い有機質液肥を利用するなど有機質肥料の肥効の欠点を補う必要がある。

田植前の有機質肥料施用は避け、散布の手間は掛かるが田植後に表面施用し、鋤込みはできるだけ避けた方がよい。鋤込む場合には生の有機質肥料よりも、一旦土と混ぜて堆積し好氣的に分解・堆肥化させてから、田植え直前に浅く鋤込む方がよい。

施用時期としては、直前の鋤込みが最も高い肥効が得られるが、秋からの好氣的分解や表面施用などの手間を省くと、雑草の繁殖力を高め、結局、除草労力が増えることになるので、より効率的な肥培管理が行えるように工夫する。

(2) 田面発酵の意義と効果

田植え直後に、米糠などの有機物を、生のままではなく発酵させてボカシとして田面に散布すると、分解と同時にアンモニア態窒素や易分解性窒

素化合物が放出され、さらに有機酸が生成されて雑草の伸張を抑え、水稻生育を促進する。しかし、水温や生物活性によって分解速度が異なり、急速に分解しなければ効果は低い。散布時期は平均気温が20℃を上回る頃が適しており、雑草生育も早いですが除草効果も高い。

有機質肥料の表面施用は化学肥料と異なり、酸素溶解が生じる地表面であっても、有機物の分解によって酸素分圧が低下して硝酸化成は抑えられ、脱窒などの損耗は少ない。地温が高いと分解時期が早まり肥効も早くなる。さらに、浅水管理など水温を高めると効き目が早くなる。地表面にあるアンモニア態窒素は、水の浸透とともに降下し、水稻根域に拡散していく。分子量の比較的大きな脂肪酸は1週間程度で地表面において分解が進む。

加藤・降幡（2008c）は、米糠を主体としたC/N比のやや高い有機物を予め有用微生物群を添加し発酵させたボカシとして田面に施用することにより、水稻生育を良好にするとともに雑草を抑え、産米の品質が高まり、土壌からの養分供給量を増加させ収量が増加したことを確認した。しかも、発酵した米糠やボカシは、表面施用でも登熟期の玄米品質を左右するまで長期的に効果を現し、登熟を高め生育後半まで効果を有したことから、水稻生育期間中の養分や生物活性を高める資材として

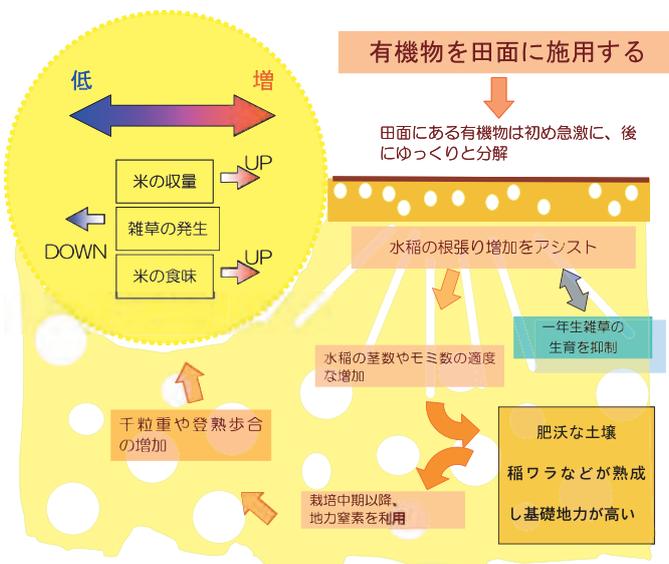


図 I - 13 田面発酵のイメージ
(加藤、岩石2008b)

有用であると考えられる。

また、有機物の田面施用で除草効果が高い水田は、上記研究水田の例に見られるように、栽培途中から発生してくる土壌窒素の濃度が一定水準以上を維持し、有機物分解の障害を発生させにくい、高い土壌還元化抑制能力が必要と考えられる。このためには、作土中の稲わらなどを予め分解熟成させておき、地表面に施用した有機物が急激に分解すると効果が高くなる。一方、有機物の表面施用は、雑草を直接抑制する除草効果より水稻生育を促進することによる間接的な抑草効果の方が高く、特に良好な発酵状態の有機物が施用されると、分解中に水稻や水田の生態系の改善に有効に利用される（図 I - 13、図 I - 14）。田面に施された有機物の分解から養分の利用に至るまで、全生育期間において養分を有効に利用できる生態系機能の発達がそのカギを握っており、トロ土層（写真 I - 8）はその機能の1つと考えられる。

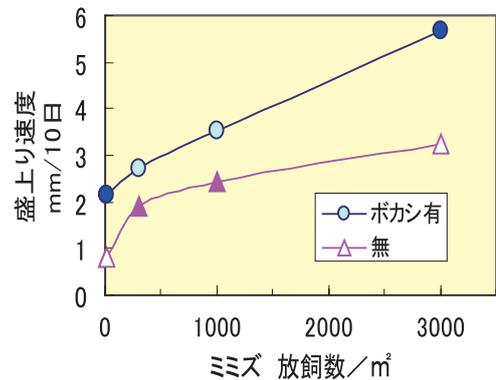


図 I - 14 雑草を抑えるエラミズのトロ土形成速度（原田、岩石2000）



写真 I - 8 雑草を抑えるトロ土層
(財)自然農法センター 2004b)

(3) 有機質資材による施肥・養分管理

施用する有機質資材にはいろいろな成分が含まれており、その機能特性は単純ではないが、概ねC/N比20辺りを境に、20以上で土づくりの材料（土壌腐植）になるものと、20以下で養分補給材料（可給態成分）になるものとに分かれる。土づくりの材料を作土中に鋤込む場合は、栽培期間中に急激な分解を起こさないことと、非作付け期間中に十分分解熟成する期間を設けることに留意する。養分補給材料となる有機物は、水稻の吸収量を超えないように表層または地表面に施用し、病原菌の餌とならないように発酵させておく。例えば、腐敗しやすい食品産業、生ゴミ由来の有機資源は、ボカシなどのように事前に発酵させたものを施用することによって、施用初期の特定期間に土壌中や土壌表面で2次発酵が行われ、生成物が水稻をはじめ有用生物にとっての栄養や基質になるようにする。

市販の有機質肥料は、法律に則り養分の最低含有量が明示されているが、家畜糞など動物質の有機質肥料は、飼育方法や給餌する材料によって質が大きく変わり、産地によっても異なるので、適正な施用量を判断する際には、窒素含量はもとより家畜種、堆肥化副資材、熟度の見極めがとりわけ重要となる。動物質の堆肥や粕類は10%近くの窒素を含有し、植物質の粕類は2~6%とやや低めの窒素を含有するものが多い。一方、自給肥料においては、植物質でも未成熟の幼植物は粕類並に窒素含量が高く、成植物になると繊維やデンプンが増加して窒素濃度が相対的に低下する。窒素固定をするマメ科植物の窒素濃度は成植物が約2%で、イネ科植物と比べ約2~3倍になる。

堆肥は堆積方法によって窒素の減耗が変わり、肥効も大きく変わってくる。窒素の肥効は、完熟した家畜糞堆肥1tを施用した時に、1作の作物が吸収する窒素は1kgが大まかな目安となる。有機物を元肥として施用した時の施用初年目の肥効率は、一般に粕類などの有機質肥料が70%、鶏糞や豚糞も50~70%で、牛糞堆肥は10~30%程度と試算される。また、有機物の連年施用によって

地力が向上し、適正施用量が年々減少する。

しかし、有機物由来の養分の利用効率は、土壌条件や土づくりの効果によって異なってくる。有機物施用により物理性が改善されると水稻の根系発達や生理活性の向上により吸収効率が高まる。灌漑と排水は、追肥の施用しやすさや分解の速さ、濃度などに影響を与えるので、養分の利用率や、土づくりにとっても重要な要素となる。暗渠排水や改良型の地下灌漑方式なども施用効果に影響するので、土壌の物理性、透水性、肥沃度を総合的に判断して追肥量を決める必要がある。

ただし、窒素を基準にして家畜糞堆肥を施用すると、リン酸過剰やカリウム過剰が問題となることがある。収量の低い圃場で窒素など特定の養分が多くなると、ケイ酸などの養分吸収が相対的に低下して、倒伏や地域によってはいもち病の発生を誘発する。また、窒素が水稻吸収量を上回り土壌に残存することでコナギなどの雑草の繁殖力を高める原因ともなる。過剰なリン酸やカリウム養分は、タイヌビエやイヌホタルイの養分となり、繁殖能力を高めてしまう。水稻の養分収支に配慮し、有機質の施用量は肥効率や肥効の遅れを勘案して、過剰にならないよう必要最低限の施用量を目指す。必要最低限の施肥が、雑草や病害虫の繁殖を避ける第一の方法である。そのため、圃場毎の自然肥沃度を基準にして、利用効率を推定し、過去の生育、収量、品質データから適正施用量を判断する必要がある。

6) 雑草抑制対策

(「II. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

(1) 有機稲作における雑草抑制の基本

有機栽培の雑草抑制では、有機物を土壌に施用すること及び耕耘で孔隙を増やすことによる土づくりを進め、水稻の初期生育段階では生育量に見合った正常な養分供給に留めることが基本となる。水稻の生育に必要なレベルの養分をバランス良く供給できるようにし、養分濃度が低下しても作土（根域）を深くすることにより絶対量を確保し、水稻生育量を高めることによって雑草の発生を抑

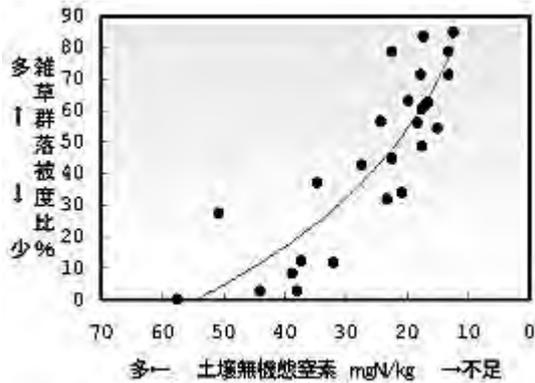


図 I - 15 土の肥沃度と雑草優占度

注：東日本26圃場の調査結果（1997年）
（岩石ら1998から作図）

制するため、地力の培養に努める必要がある。ただし、堆肥や有機質肥料の多投が、有機栽培の一時的な成功をもたらすこともあるが、病虫害や雑草多発の原因にもなりうるため判断が難しい。

図 I - 15は東日本の無肥料栽培田の田植え時の代かき土壌を26圃場から採取して、生土のまま無機態窒素を測定し、さらに田植え後40～50日目まで無除草にした時の雑草群落被度比（雑草と水稻の全投影被度に占める雑草被度の割合）を測定した結果である。本結果から田植え時期の地力窒素の発現量が多くなると、水稻の生育量が増加し、雑草の発生量は減少することが分かる。

一方、水田雑草は窒素濃度に対して敏感に反応する（椛木ら1984）ため、施肥は雑草の発生する部位を避けて、局所施肥や深層施肥による制御（金田2006）が必要と言われる。

このため、有機栽培では地力窒素による安定供給及び作土全体の肥沃化によって、水稻の生育に有利となるように、施用有機物等の分解程度や施用時期・位置に配慮する必要がある。換言すれば、水稻の吸収量を超え、雑草に供給される余剰な肥料分（岩石ら2003）を増やさないような施肥法と土づくりを行う。

具体的な方法としては、地表面付近を中心に、栄養の代謝や栄養の一時的保管に働く有用な土壌生物の繁殖と活性を高めるため、発酵肥料を田面施用するとともに、根域を深める適切な透水性を確保するための適期耕耘を継続する土づくりを

することによって、雑草の生えにくい肥沃な土壌ができる。この時の田面に施用する有機物資材の量は、地力窒素由来の無機態窒素濃度が26mg/kg以下になると雑草が急増することから、図 I - 15の地力窒素不足を補う量を目安とする。低温期の水稻の生育初期に不足する窒素の補給によって、水稻生育を安定化させると同時に、雑草の繁殖力を高めない施肥量に制限することが肝要である。

(2) 雑草の生えにくい水田の土壌構造

水稻作にとって望ましい水田生態系の姿を、ヨシやカヤの生い茂る河川や湖沼の自然生態系に見ることができる。地表面は未分解の有機物で生物活性が高く、水稻の根が張る作土は完熟した有機物由来の腐植に富んだ地力の高い状態で、作土を支える下層土は適度な透水性を保つ構造に例えられる。こうした自然の土壌構造を目標とした土づくりによって水稻の生産力を高めることを確認した片野は、水田土壌表層の明確な2層分化を認め、地表の構造を「微粒子層」と表現した（片野1990）。

有機栽培農家で雑草害を克服した水田に共通している点は、地表10cmほどを切り取って見ると、スポンジケーキにクリームがのったような、土の性状の異なる層構造が確認できることである。慣行栽培水田の土壌構造は、かつて青峰（1961）がパン状構造と表現したように明瞭な層構造の分化は見られない。有機栽培水田で雑草が抑制できている土壌構造は共通しており、写真 I - 9左のケーキ状の層構造ができています。なめらかなクリーム部分に当たるのが、いわゆる「トロ土層」または「トロトロ層」と呼ばれるものであり、直径0.06mm程度の微小団粒が堆積している。その下に大きな有機物や雑草の種、大粒の砂粒を挟んだ層になり、さらに、その下に孔隙が多い粗い層をもつ土壌構造ができています。

地表面のトロトロ層は、代かきや有機物施用の影響を受けて形成される。微生物の働きで発生する二酸化炭素、さらに多糖類が土壌の分散と結合を促す。また、微小団粒の沈降速度が遅いため、

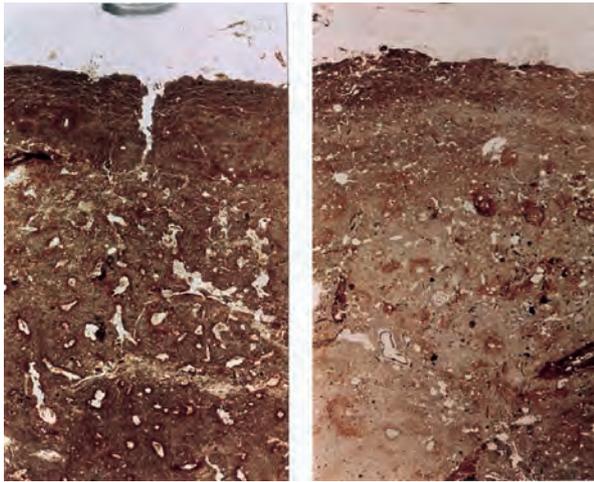


写真 I - 9 雑草が生えにくい自然農法水田表層のケーキ構造(左)と慣行水田のパン状構造(箱石1995)

代かき後の濁り水の中で沈降が遅れて堆積する。

さらに、水棲のエラミズ(イトミズ類)が、上層土壌の分解途上有機物、土壌及び微生物を摂食し地表に排糞する働きにより、より強固な団粒が徐々に地表を覆い、トロ土層ができ上がる。その結果、発芽可能深度の浅い雑草種子が埋没して、雑草密度が激減することが確認されている。

この層構造の発達と同時に養分保持や供給能力などの機能を強化・促進する上で、冬期湛水や発酵熟成した有機物の田面施用が効果を発揮する。有機物を分解する微生物によっては、水稻の発根障害や生育障害を誘発するが、経験的にミズが好む発酵微生物があるようで、トロ土層の発達が促され、水稻の生育量が増加する。伊藤(2006)は冬水たんぼで窒素無機化量が増加する原因を、イトミズと窒素固定細菌の活動、特に藍藻や光合成細菌の効果を指摘している。そして、有機物中のセルロースとヘミセルロースがあることによって、光合成細菌は窒素固定を活性化させる(兪ら1991)としている。

つまり、発酵させた有機質肥料を、地表面に施用することで団粒構造が形成され、水田生態系の生物活性が高まる。有機質肥料の表面施用は肥料効果が高く単収の向上にも役立つ。乳酸発酵させると漬物のように繊維質が長く残り、微生物の活動場所を創出し、可溶化した成分は微生物の基

質となる。微生物はミズなどの餌となるほか、窒素固定に貢献して、生物活動に必要な窒素栄養を供給する。ミズの働きは、雑草を抑える土の層構造を発達させ、副次的に水稻には地力窒素などの形で緩効的に養分を供給する。

この土づくりの方法は、水稻根圏となる作土全体に、より安定した粘土-腐植複合体を増加させることが中心となる。例えば、圃場で稲わらなどの収穫残さの腐熟を図るか、完熟した堆肥の鋤込みで腐植を蓄積する必要がある。

さらに、予め発酵させておいた米糠などを田面に施用して有機物を分解させて地力窒素の不足を補い、水稻の生育を旺盛にする。また、土をつくるミズや窒素固定細菌、光合成細菌などの望ましい生物の活動場所と活動源を与える。副次的には分解途上で雑草を抑制する有機酸が生成されるが、分解盛期には土中の水稻根との接触を回避させる。これは分子量や吸着力の違いから、アンモニアや有機酸などの濃度分布を層別に異なるようにし、生態系の育成に望ましい土壌構造を形成させることにより可能となる(図 I - 16)。

図 I - 17は有機水田と慣行水田の土を使って、無肥料、有機肥料、化学肥料、そして有機質肥料と化学肥料からなる4施肥処理区を設け、半分にコナギとノビエを播種し、残り半分に水稻を栽培した結果である。有機水田の土は、ノビエを播種し化学肥料を施肥したポットを除き、すべて慣行水田の土より雑草割合が低かった。また、どちら

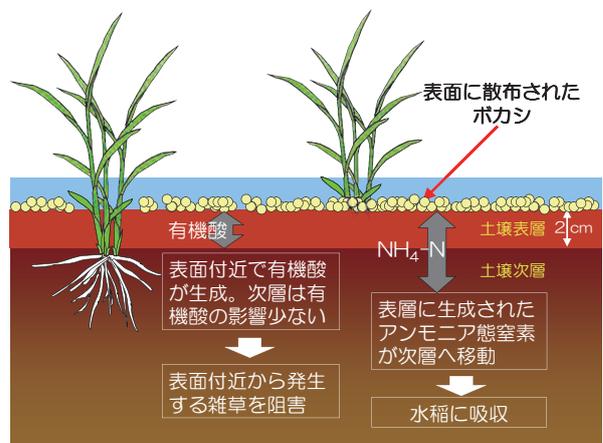


図 I - 16 田植え後の有機物表面施用の効果(三木2011a)

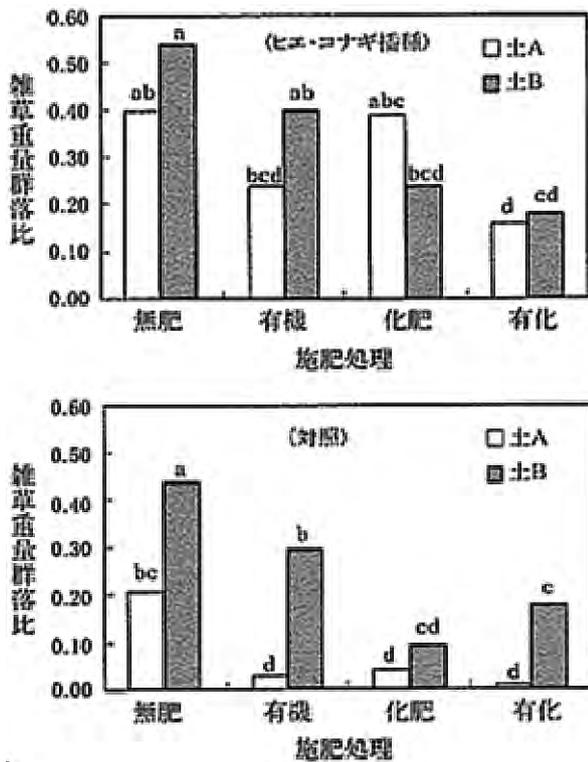


図 I - 17 栽培法の異なる土、施肥、雑草種子と生育

注1：土A（有機水田土）、土B（慣行水田土）を1/5000aポットに詰めて水稻栽培を実施。有機区は有機質肥料を2~10cm深の中層と土壌表面に施肥。化肥区は中層に化学肥料を施肥。有化区は表面に有機肥料とバーミキュライト、中層に化学肥料を施肥。

注2：代かき時の表層2cm土壌に、コナギ110粒とノビエ100粒（発芽率90%以上）を播種。

注3：分散分析によりTukeyHSD検定で異文字間は $p < 0.05$ で有意。（岩石2007）

の土でも無肥料で雑草の割合が最も高かった。特に、有機質肥料を表面施用し、化学肥料を深さ2~10cmに施用する組合せで雑草が少なかった。ただし、有機栽培田の土では、有機質肥料施用に比べ化学肥料施用で雑草が増える傾向にあり、慣行水田の土では化学肥料に比べ有機肥料（表面施用）で雑草が増える傾向があった。

このモデル実験で比較した有化処理は、雑草の少ない有機水田の再現を想定したもので、特に、地表面に有機質肥料を施用し、地表2cmには微生物活性が高く、陽イオン交換容量を高めるバーミキュライトも使って、トロ土の状況を再現している。中層に化学肥料を施肥しているのは、雑草の発芽部位に肥料を入れず、発芽を刺激しないため

であり、深層施肥に近い。前述した作土全体の土づくりと地表面への発酵有機質肥料の施用によって、実際の水田においても類似した状態が再現できる。

(3) 特性の異なる雑草の種類と生態

水田で見られる雑草は、水稻の生活史に合わせて稲作に適応し、水田の限られた適環境下で繁殖するものが自然淘汰されてきた。除草剤や化学肥料を使わない栽培では、稲の生育にとって重要な養分や物理的な環境を整え、雑草を育てずに稲の生育だけに有効化させることに技術的なポイントがある。

その意味で、雑草の生態を知り、繁殖力を高めてしまう耕種法の弱点を理解して、稲が速やかに生育する環境を整えること、雑草の生育を緩慢にし、繁殖力を低減させるという2つの側面から、水田の環境整備を考えた土づくりや栽培が必要である。水稻だけでなく、水田に生える草の特性を理解して、草の種類から土壌の状態を知り、耕地生態系を制御していくことが成功の近道となる。

有機稲作で問題となる代表的な雑草の形態や生態的特徴を概説すると、タイヌビエは耕耘によって、埋土種子の位置が変わり、発芽が覚醒される。タイヌビエ、アゼナなどの土壌が湿ってやや酸化的な条件下で出芽するものと、イヌホタルイ、コナギ、オモダカ、クログワイなど、湛水下の還元状態で出芽するものとに分かれる。

さらに、コナギやオモダカは、有機物の豊富な栄養条件下で、有機物の分解によって酸素が少なくなった還元的状態に適応して発生する能力を持つ。そのため、水持ちが良く、有機質肥料の施用量が多い水田ほど酸素分圧が減少して還元的になり、コナギやオモダカが生育しやすくなる。また、漏水田では、酸素が供給されイヌホタルイやタイヌビエが多く発生する。

有機栽培田で転換初期に問題となる雑草は、タイヌビエ、イヌビエ（ノビエ類）などのイネ科雑草であり、有機栽培を継続することでコナギ、オモダカなどの広葉雑草が増加してくる。地力の低い瘦

せた水田では、マツバイなどの小型であるが競合力の強い雑草が田面を覆って繁殖し、有機質肥料を散布した漏水田では、イヌホタルイが増加しやすい。本来、湿田に繁殖して除草剤効果が低いクログワイは、有機水田では他の雑草が抑えられてくると目立って問題となる。他にヘラオモダカ、サジオモダカといったオモダカの近縁種やウリカワが特定の地域に発生する。コナギが生えない寒冷地では、近縁種のミズアオイが有機栽培水田では問題化している。さらに、慣行栽培時に散布された除草剤に耐性を持ち、残存している雑草種（アゼナやタマガヤツリ）が有機栽培に転換した際に一時的に繁殖する（写真 I - 10）。タマガヤツリは同じカヤツリグサ科のイヌホタルイに比べて機械除草で減少しやすい。有機栽培の継続によっても小型広葉雑草は除草機の効果が低く、キカシグサ、ミゾハコベなどが多く見られる。



写真 I - 10 除草剤使用後の有機水田転換期に見られるアメリカアゼナ

(4) 水田雑草の大きさと発生深度

雑草は栽培植物と同様に、種子の大きさによって、出芽できる土壌深度が決まっている（表 I - 3）。細かい種は浅く、大きな種は深い位置から出芽でき、出芽に適した深さの土壌層が雑草生

育や肥大に好都合な条件となることで、その雑草の繁殖力が高まる。そのため、種子で増える雑草は極く浅い地表を中心に発生し、塊茎で増える多年生雑草は除草機の届かない深い位置で繁殖する。種子径の小さいコナギは地表2mm（深くとも5mm）からしか出芽できず、タイヌビエは1～2cmから出芽し、塊茎で増えるオモダカは20cmの深さから、クログワイは30cmの深さから萌芽する（図 I - 18）。

表 I - 3 水田雑草の特性分類と生態的な対応

	種類	主な繁殖体	休眠	発生深度	発芽最低温度	出芽日数
一年生	ノビエ タイヌビエ, イヌビエ	種子	強	1cm, 2cm	10～15℃	10～20
	小型広葉雑草 キカシグサ, ミゾハコベ, アゼナ	種子	あり	5mm	11～12℃	7～10, 30～40
	コナギ	種子	浅い	2～5mm,	15℃	10～20
	タマガヤツリ	種子	浅い	5mm	13℃	20～40
多年生	イヌホタルイ	種子 越冬芽	あり	1～3cm, 5cm	10℃	不揃い
	オモダカ	塊茎・越冬株				
	ヘラオモダカ サジオモダカ	種子(サジ,ヘラオ モダカ)	あり	20cm, 0～2cm	15℃	長く不揃い 8～12
	マツバイ	越冬芽・越冬茎		3～6cm	5℃前後	
	クログワイ	塊茎	あり	20～30cm	12～15℃	長く不揃い

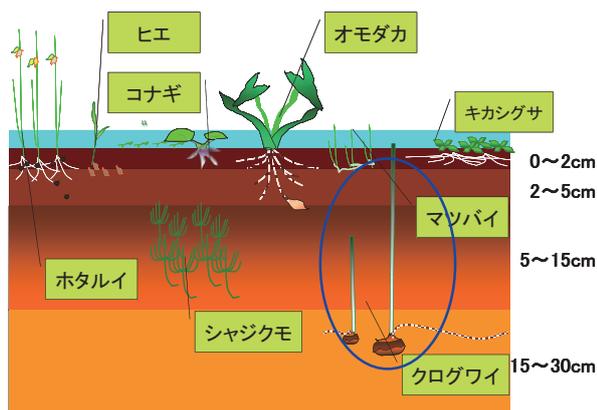


図 I - 18 主な水田雑草の出芽深土と繁殖の特長

(5) 問題になる主要な雑草の生態と防除

有機稲作で最も問題になる雑草は、それぞれの種類ごとに特性を持っており、一律の方法で防除できるわけではない。

別途「Ⅱ. 有機稲作の栽培技術解説」では各種の機械的除草や生物的除草法の技術を中心に解説しているが、雑草の生態をまず理解した上で耕種的防除を優先して行うことが基本になるので、本項ではこのことを中心に主要な雑草種の解説を行う。

①手取り除草が最も難しいタイヌビエ

タイヌビエ（写真 I - 11）やイヌビエを総称しノビエ類（写真 I - 12）と呼ぶ。湿地性の雑草であるが、出芽可能深度は1~2cmである。種子の大きさは長さ3mm厚み2mm弱で、籾殻のような穎をつけているが、籾摺機で除くと光沢のある種子が露出する（写真 I - 13）。玄米粒の厚みに



写真 I - 11 ポット栽培で分けつ開始前のタイヌビエ
（提供：(財)自然農法センター）



写真 I - 12 牧草畑の代かきで発生したノビエ
（提供：(財)自然農法センター）



写真 I - 13 除草剤使用後の有機水田転換期の
タイヌビエの種子（1.7g/1000粒）
（提供：(財)自然農法センター）

類似するため、篩い選では取り除かれず、玄米に混入して品質を低下させる。

有機栽培に切替え直後に優占するノビエは、有機栽培の継続で減少していく。有機栽培に切替えて最初の2~3年がヒエ防除の重要な時期であり、この時期の水稲生育が良好なために油断すると、種子が増えて除草に苦労する。ノビエは水稲よりも成長が速く、早めの除草が必要になるが、分けつを始めるまでは外観が水稲苗と似るため、手取るにも見分けが付きにくい。幼植物の内に水稲苗と見分けるには相応の経験が必要となる。なお、ノビエは水稲と同じく紋枯病に罹病して、紋枯病の伝染源になるので、種子を残さないためにも、

除草して紋枯病の伝播を防ぐ必要がある。

そこで、成苗遅植え、2回代かきや深水管理、米糠除草、機械による初期除草に加え、残草の拾い取りを徹底すれば、3年ほどでノビエ多発の障壁を乗り越えられる。タイヌビエはイヌビエより湛水や深水に耐性があるため、タイヌビエには最低8cm以上に水深を保つ徹底した深水管理が必要になる。

痩せた水田や、土壌に硝酸態窒素が残る肥料分の多い堆厩肥が多投された水田ではノビエの活性が高まる。反対に易分解性有機物が豊富で嫌気性微生物が活躍する土では還元が進み、アンモニア酸化細菌（以下Amo菌）の働きが抑えられてノビエの繁殖力が低下する。

有機栽培を継続してノビエが生えなくなったり、ノビエの生育速度が落ちて除草が楽になった水田でも、ノビエが生育しないだけで埋土種子は残っている。長期継続しタイヌビエの雑草害が無くなった有機水田は、落水中にもアンモニア態窒素が多く残っていた。このことから、無機栄養に依存した微生物相から、有機施肥に適応した微生物相に

遷移するなど、窒素代謝が変わり硝酸態窒素が減少し、ノビエの発生が抑制されたとみられる。

②深水管理で増えるコナギ

有機稲作で最も広く観察されるコナギ（写真I-14）は、長さ1cm、直径5mm程度の花蕾の中に、長さ1mmに満たない細かい種子が200~300位詰まっている（写真I-15）。充実したコナギ種子の1000粒重は150mg程度である。発芽要因実験において、発芽可能な土の深さは2mm程度であった。実際の代かき水田でも発芽可能な深さは5mm程度にしか及ばず、それ以上深い位置にある種子は光が届かず発芽ができない。

コナギが多発する水田では、ノビエと同じように「深水管理が効く」という思い込みでコナギを増殖させる場合が多い。ノビエを抑える程度の深水管理は、逆にコナギの繁殖を促進させてしまう。タイヌビエは湿らせた濾紙の上で酸素が十分存在する条件で発芽するが、コナギは真水であれば低酸素条件となる水深7cm程度の水底に沈めなければ発芽させることができない。代かきされた土壌中では2~5mmの深さが発芽可能深度である。

また、コナギは稲体（稲わら、籾殻、米糠、



写真 I - 14 有機水田に繁茂するコナギ
(提供：(財)自然農法センター)



コナギの花蕾



写真 I - 15 コナギ花蕾（上）と種子
(提供：(財)自然農法センター)

水稻苗) 分解物によって発芽を刺激され、湛水した状態で稲わらが分解すると発生数が増え、飯野ら(2006)の研究ではアンモニアなどの還元条件で増加する窒素によって発芽が促される。2回代かき、米糠除草など、ヒエの対策には適している防除法が、コナギの出芽や繁殖を促すことになる。

深水で窒素飢餓が生じて水稻の生育が抑制され、イネミズゾウムシの産卵寄生が増加し、稲の生育が遅れる場合は、土壌中の窒素栄養によってコナギはさらに大きく育つ。水稻の生育停滞とコナギ発生が同時に起こるので、コナギは減収を起す強害雑草とされている。しかし、実際に水稻に害を与えるのは、田植え後に分解する稲わらや深水管理、そして米糠などノビエ対策とした強還元状態であり、コナギによる被害を深刻化させる原因は栽培者が作っていると言える。

従って、コナギが繁茂する水田では、田植え前に稲わらの分解・腐熟を進めるか、稲わらを持ち出したり稲わらを鋤き込こまない不耕起移植をしたりして、田植え後の有機物分解で急激な還元化とそれによる水稻生育障害を避けることが、コナギ抑制に効果的な処置となる。さらに、有機物の施用法や透配水性を向上させることで水稻の発根がスムーズに進み、浅水管理にして養分の吸収が速やかに行われると、イネミズゾウムシの被害も軽減して、コナギの雑草害は小さくなる。

③ 2回代かき除草で増えるオモダカ

有機栽培で、田植え前に雑草を減らす最も効果的な方法が2回代かき除草である。2回代かき除草は、1回目に通常の深さで代かきし、雑草が生えてきたタイミングで、表面から5cm以内の田面を浅くかき混ぜることで、下層土にある埋土種子を持ち上げずに除草することができる。しかし多年生雑草のオモダカに対しては、浅めの2回代かき除草でかえって繁殖させてしまうので、浅代かきはオモダカ除草には向いていない。

オモダカは種子でも増えるが、多くは5cm以下の下層にある塊茎から、1塊茎当たり1芽の芽を伸ばして育つ。地表近くで発芽した種子性雑草が除草される前から、深い位置で萌芽して、田植え直



写真 I - 16 塊茎から展葉したオモダカ

(提供：(財)自然農法センター)

後にはオモダカの出葉が始まり、通常より早く出葉して稲を被圧することがある。オモダカの出葉が整った時点で稲を植えると、オモダカの方が有利な条件となる。写真 I - 16のように塊茎と葉が密になっているので、オモダカに対しては深く耕耘して除草する必要がある。

オモダカは窒素栄養の豊富な水田で増殖するが、コナギと同様、葉に窒素を蓄積することから、早期に発生すると、水稻の吸収する養分が不足して生育を抑えてしまう。塊茎形成は水稻収穫前後の早い時期に盛んなので、早めの耕耘が塊茎を減少させる上で効果的である。特に早期栽培では収穫直後に耕耘を行うと除草効果が高い。なお、オモダカは種子でも繁殖するので、深く代かきただけでは後期の発生は抑えにくい。コナギと異なる点は白い花が咲くことである。

④ 漏水田で発生するイヌホタルイ

イヌホタルイの種子での繁殖程度は、水田が耕耘、代かきされた状態を観察すれば予想することができる。種子が多産され、代かき後土壌の強還元化や浮き稲わらが発生する状態はイヌホタルイが発生しやすい環境であり、これは水稻収穫後の耕耘時期が不適だったことが想定される。イヌホタルイの種子を顕微鏡で見ると数本の鍵手(ヒゲのようなもの)が観察できる(写真 I - 17右)。この鍵手はノコギリの歯のようになっていて、稲の根や有機物に付着しやすくなっている。これにより充実していない軽い種子は水に流されるのを防ぎ、



写真 I - 17 穂をつけたイヌホタルイと種子の形状
(提供：(財)自然農法センター)

充実した種子は有機物と一緒に地表に浮かび上がって出芽可能深度に移動することができる。イヌホタルイが多発する場合、土に充分馴染んでいない有機物が、代かきによって地表5cm程度に集まっていることが多い。また、漏水田で米糠やボカシ等の田面施用で酸素分圧を下げると、地表が還元と酸化を繰り返すことになり、かえって発芽を促している場合がある。

種子は環境条件によって休眠と覚醒をくり返し、水田土中での寿命は長い。発芽条件は休眠覚醒程度が種子ごとに異なるため、出芽が揃にくい。早期栽培の場合は稲刈り後に、イヌホタルイの刈り株から再生して種子を再生産する。越冬株から繁殖した場合は初期生育が旺盛で繁殖力が大きくなる。ただし、越冬芽は乾燥に弱く、乾田では秋耕によって越冬率を低下させ、さらに代かきで埋め込むと出芽できずに腐敗するものが多い。

種子繁殖するイヌホタルイは、稲が速やかに育つと遮光により生育は抑えられ、種子生産量は少なくなる。また、秋耕によって発生量は減少する。逆に、地表が酸化と還元を繰り返し、畦から漏水する田圃で多く発生する。アンモニアで発芽刺激を受けるため、多量に有機施肥をした水田でも多発するので注意が必要である。越冬芽や種子で繁殖し、種子は有機物に付着して発芽可能深度まで浮かび上がる。

田植え以降は、畦からの漏水を抑えて、地表面の酸化を抑えながら稲

の生育を促す。2回代かきは種子を減らすには有効だが、浮き上がった稲わらや種子は外へ持ち出す必要がある。できるだけ、浮き稲わらを減らして、地表の生物活性を高めてイヌホタルイの生育を抑えるように初期除草を行うことが肝要である。

⑤塊茎で繁殖するクログワイ対策

クログワイは地表5cm程度で根を張って株を張り、ランナーを出して周囲に広がっていく。水田の鋤床層に塊茎を作り越冬する。1.5m程度の深さに塊茎を作ると言われるほど、深いところに種芋塊茎をつける(図 I - 19、写真 I - 18、写真 I - 19)。クログワイは乾燥に弱く、水が移動して乾燥する場所では、塊茎が死滅しやすいため、水が移動しにくい鋤床近く(10~30cm)に塊茎を作る。透水性の悪い鋤床が地表5cmにある水田では、塊茎が深度5~7cmに集中していた例もあった。十分に広い面積では1

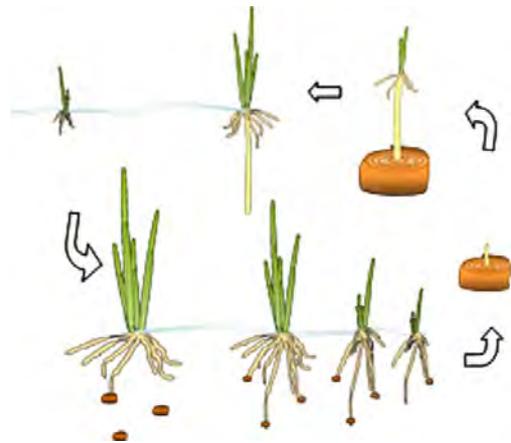


図 I - 19 クログワイの生活環



写真 I - 18 クログワイイクラ

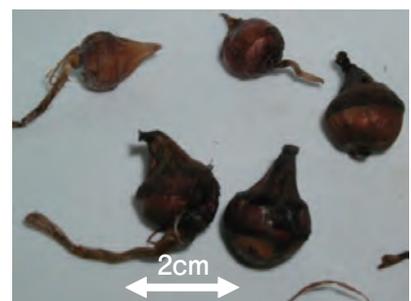


写真 I - 19 クログワイの塊茎



写真 I-20 発病したクログワイの葉

株から60株くらいに分枝するが、塊茎も同数の60個になるとの報告がある(原田1983)。クログワイは一度増え、塊茎の寿命が5~7年と長いので、除草が難しい強害草である。一方で、クログワイにはホタルイやクログワイだけに特異的に感染する病原菌があり、その病気に罹って枯死することがある(写真I-20)。北陸農業研究センターが1994年にこの病原菌培養法の特許を取得した。通常自然発生田では、この病気の発生時期が遅く、十分な抑制効果が上がらないが、培養した菌を接種し、7月頃から発病するとクログワイの分枝や塊茎形成が抑えられることが明らかになっている。病原菌は澱粉を栄養にして繁殖し、クログワイの密度が高い湿田などで菌密度が高く維持されると発病しやすくなる。クログワイが生長すると鋤床に穴を開け、透水性が改善されるが、病害の発生源ともなるデンプン生産を行うので、発病を助長する。稲わらの分解を促す秋の耕起や深耕は、クログワイを減らす効果が高く、亀裂を加え土の構造を変える耕耘による透水性改善は、塊茎を凍結乾燥して減少させ、クログワイの発病度を高めるので有効である。

クログワイの増殖を抑えて水稻収量が高くなる耕耘方法は、透水性を改善する秋から早春にかけての耕耘である。特に、塊茎ができるのは落水後~収穫期に集中するので、収穫後早期の耕耘は除草効果が高い。塊茎は乾燥を嫌うので、落水して鋤床まで破碎するサブソイラーやプラソイラーが効果的であるが、塊茎自体を露出させるプラウ耕も

表 I-4 秋耕(プラソイラー利用)によるクログワイ発生数の変化

秋耕		クログワイ株数 / m ²	
2002年	2003年	2003年	2004年
-	-	283	250
-	+	154	240
+	-	246	175
+	+	168	138

+秋耕起有り、-秋耕起無し、8反復平均値
(財)自然農法センター 2004, 2005より作表)

効果が高い。表1-4はプラソイラーを使って、粗く筋をつけていく秋耕起の効果を検証する実験を行い、2年間の分枝数の変動を示したものである。耕耘の効果は2年ほど遅れて現れることから、越冬塊茎の分枝及び塊茎形成の両方に対して、秋耕起がクログワイ防除に有効であることを示している。

クログワイは、温度が高くなって塊茎から萌芽するが、続いて最高分け時期頃までにランナーを出して分枝が増殖する。空間や養分に制限がなければ60株まで分枝するという記録がある(原田1983)。この段階での中耕除草は、分枝の抑制に効果的である。

さらに、有機質肥料が増殖スピードを高めるので、施肥を止めるのも効果的である。早春耕の時に有機質肥料を鋤き込むと、植代かきの直前に鋤込むよりも肥料効果は劣るが、クログワイの増殖は抑えられる。表I-5は秋耕と早春耕を組み合わせると、秋耕と直前耕よりもクログワイの株数が減少することを示している。これは塊茎の数が減り、

表 I-5 クログワイに対する2年連続秋耕と早春耕の効果

秋耕 有無	春耕	クログワイ株数 / m ²	
		2003年	2004年
0	直前	317	331
0	早春	250	169
1	直前	222	186
1	早春	114	89

春耕時に有機施肥、4反復平均
(財)自然農法センター 2004, 2005より作表)

塊茎の大きさも小さくなるので、繁殖力を急激に低下させることができるためである。水稻を早く大きく育て、クログワイが肥大するための養分や光を抑制することも重要になる。

耕耘によって透水性を改善することが、クログワイの発病を促し、クログワイを防除する方法である。さらに、透水性が改善されると、水稻根域が広がって地下深くまで発達し、地上部だけでなく、地下部も雑草を抑制するので、雑草を減らす効果が高まる。雑草の根は水稻の根に比べると量が多く、地表6cmまでに集中しているが、多年生雑草は一年生雑草よりも根が深く伸張する。その部分に水稻の根を伸張させ、雑草根を減少させることで、多年生雑草が徐々に減少していくようになる。

7) 耕耘・代かき・田植え・水管理

(「Ⅱ. 有機稲作の栽培技術解説」参照)

水稻が健康に育つように耕耘・有機物施用・代かき・田植え・水管理を改良し、土壌の状態を適切に維持管理することが、雑草の生えにくい土壌の維持管理技術となる。代かきで水持ちを整え、日減水深が20~30mm程度が水稻の生育に適した目安になる(写真Ⅰ-21)。

以下、雑草抑制に有効な耕耘・代かき・田植えに関する技術ポイントを、(1)項の雑草抑制に有効な耕耘として、①耕耘による稲わらの分解促進、②代かき段階の雑草制御対策の2点、さらに(2)項の田植え後の雑草抑制対策を加えた3分野



写真Ⅰ-21 水持ちを整える代かき
(提供：(財)自然農法センター)

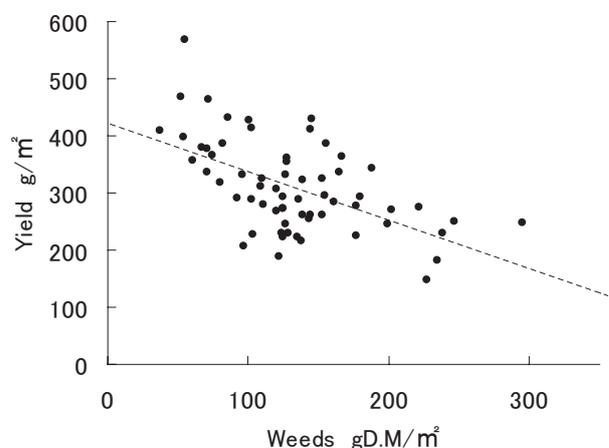
に分けて解説する。除草対策の①と②の段階は、秋の収穫から始まり田植えをゴールとする。前年から継続的に続ける雑草抑制のための耕種的防除と土づくりである。(2)項では田植え後に雑草の種子や塊茎が増えるのを遅らせて繁殖を抑えるように除草を行う技術解説が主体であるが、完全に取り除くことは容易ではなく、②の段階までに、できるだけ手取り除草の必要がない状況を作っておくことが重要である。また、すべての段階を通して、漏水田や透水性の低い湿田で繁茂する雑草の特性を理解して、雑草の活力を低下させる土づくりを進め、水稻の活力を高めて、雑草との競合に勝てる栽培を目指す。

(1) 雑草抑制に有益な耕耘

① 耕耘による稲わらの分解促進

田植え前の耕耘や施肥条件を変えることで、雑草発生量は大きく変動する。また、水稻が優占する場合は除草を行わなくても収量は高く、雑草が優占する場合、除草なしでは水稻収量は減少する(図Ⅰ-20)。耕耘や施肥によって水稻の生育量が変わり、それに連動して雑草の生育量が変わる。

水稻が雑草に比べて生育しやすい耕耘と施肥の方法があり、水稻が優占しやすい環境を作ること、競合関係にある雑草の生育を制限することが大事である。



図Ⅰ-20 無除草水稻における最高分けつ期の雑草量と収量の関係

((財)自然農法センター 2004a, 2006から作図)

雑草の発生量は埋土種子量に依存する。埋土種子量は前世代の雑草の繁殖に影響され相乗的な関係にある。有機栽培の雑草抑制の第一は、水稻の生育を旺盛にすることであり、雑草発生を促進しないことが、除草を容易にし、雑草害を低減する基本となる。

耕耘は生物性を改善する土づくり（栽培）技術の一つである。まず水稻根の伸長を助けるように、適度な水持ちを保ちながらも透水性を改善する。このために、下層土はプラウ耕などで深く粗く、地表面はハローで浅くなめらかに耕耘を行う。

粘土含量によるが、土壌は特定の水分状態によって可塑性が高まる。可塑性が高い時にトラクター走行をすると、踏圧により鋤床から地表までの土の圧密が高くなる。乾燥時に耕耘すれば、圧密は低いので調整することができる。地下水位や土壌水分含量によって決まる深さ別の土壌水分によって耕耘のタイミングを選ぶ。例えば、降雨後日数や入水後日数によっても含水量が変わるので、春先の作業開始や収穫後の日数経過によっても、鋤床の圧密が変わってくる。垂直方向に水が移動する範囲が水稻の作土になるので、作土を厚くするためにも、日減水深が10～30mm（寒地～暖地）を目標に、垂直方向の水の縦浸透を確保する。

土の孔隙保持のために、土壌の腐植含量を高めることも効果的であり、粘土を練り固めないように耕耘しながらサブソイラーやプラソイラーによる簡易な粗反転耕を利用して、有機物を土の隙間に入れるようにする。

植物根が作る孔（根生孔隙）も有用であり、植物根は小さいが細かくて均質な孔隙を徐々に拡大し、機械作業が大きな力で粗く砕くのに対し、細かい団粒形成を行い、質の異なる効果をもたらす。イネ科の中では比較的深根性のライ麦や、深根性のアブラナ科のナタネなどが裏作に適しており、中間地から暖地にかけては十分な生育量が確保でき効果が高い。水分や温度の面で緑肥作付けが制限される寒冷地から寒地にかけては、2～3年の輪作を組み、田畑輪換によって夏季に大豆

などの深根性作物やセスバニアなどの緑肥作物を作付ければ効果が上がる。寒地や寒冷地の湿田域では、水田土壌の物理性を改善し孔隙を増やすために、5年単位の長い期間をかけて土壌改良と、地下水位の適正化を図る必要がある。

透水性が確保されれば、地下水位が高い湿田でも水稻の健全な生育は可能である。むしろ生物性の改善にはある程度の水分が必要であり、極端な乾田化は地力損失をもたらすので避ける。会津農書（1684子ら1982）にも、乾田や痩せ地対策として、地力の回復と雑草抑制の2つの効果があることから、時期や乾湿条件を選んで、冬期湛水を奨励することが記載されており、歴史的に検証された効果と言える。

②代かき段階の雑草抑制対策

除草を行う場合は、早期除草が効果的である。10℃以上の有効積算気温で、荒代かきから植代かきの期間に100日℃（10℃以上の有効積算地温）を経過させ、植代かきにより除草する（写真I-22）。田植後2週間をめぐり200日℃に達する時期は、クログワイを除く殆どの雑草（ヒユ、コナギ、ホタルイ、小型広葉雑草、オモダカ、マツバイなど）が出芽するため、除草効果が高く出芽直後の雑草制御に有効である。

仕上げの代かきからおよそ130日℃が経過すると、タイヌビエなどの雑草の出芽盛期となる。発生初期は水を濁らせるだけでも除草効果がある。雑



写真 I -22 1回目の代かきから100日℃経過して発生した雑草

（提供：（財）自然農法センター）

草が目立たないうちに田面を浅く攪拌することが、雑草の定着を防ぐことになる。機械除草には直接的な埋め込み除草のほかに、土を掛けたり浮き上がらせる除草メカニズムがあり、その効果は雑草が小さいうち（およそ2葉期まで）に限られる。こうした除草に適したタイミングは、水稻が旺盛に生育する時期に田植えを設定すると最も効果の高い条件が得られる。早植えで雑草発生時期がバラバラになると効果が低い。

荒代かきから植代かきまでは、水を張って土を暖めるようにするが、湛水を続けるとコナギが、落水して田面を露出させるとノビエが発生しやすくなる（住吉2011）。雑草は好適条件が整えば発生し繁殖する。水田における代かきは、雑草発生の条件を整える役割を担っている。

代かきは土と水を混ぜて平らにするだけでなく、土の中で眠っていた雑草種子を、薄く均一に地表面に散播する行為ともなる。さらに、適度な水分と温度を得て、雑草種子は発芽に必要な生理活性が高まり、一斉に出芽してくる。雑草にとって代かきは、水稻でいう浸種や催芽等の播種準備作業と同じ意味を持つ。

さらに、前年度の収穫残渣の処理として、稲わらや根株を土に混合して有効な腐植を増やし、未熟状態で田植え後に急激な還元化が生じないようにしておく。

水田土壌から放出される養分が少なすぎると、痩せ地でも生育できる強い雑草が優占する。無肥料・無農薬水田の雑草発生量を調べたところ、田植え直後の土壌中の無機態窒素量が特定量（およそ25mgN/kg）を境に、低いと雑草優占、高いと水稻優占状態に分かれた。つまり田植え時期の地力窒素が少ないと雑草割合が増加し、地力窒素が多いと雑草が抑制される。調査した無肥料水田では、窒素が水稻生育の制限要因となっていて、地力窒素の増強により、抑草も効果的に行えると考えられた。

しかし、圃場によっては窒素が制限因子とは限らず、水稻生育に不足する養分があれば、水稻生育は抑制され、より低栄養で生育できる雑草が

繁茂する。雑草との競合上、水稻に不足する養分を補うと間接的に雑草が抑えられることになる。例えば、リン酸欠乏の有機水田土壌に窒素肥料を混ぜると、雑草個体数や重量が増えるが、そこに過リン酸石灰を混ぜてリン酸欠乏を補うと水稻生育が良好になって、過剰な窒素が減ることで、雑草個体数も重量も減少した（（財）自然農法センター成績）。このことから、土壌診断を行い、養分の過不足を起こさない土づくりが雑草抑制にも効果的であると言える。

(2) 田植え後の雑草抑制対策

①除草前の水稻の生育に有利な環境づくり

土づくりの進展は、水稻生育をより向上させ、競合雑草に対して有利な状態を作り出すことにつながる。この点で、先に施肥管理の項で説明したように、田面への有機質肥料散布の施用効果は高い。除草効果よりも、水稻の生育促進効果を優先させ、さらに、土づくりにつながり、雑草以外の様々な有用生物に施肥養分が利用されることを念頭において、発酵させた有機質肥料を施用することが重要である。

この、発酵には微生物の働きが重要となる。有機物が生態系にうまく利用されやすくするためには、微生物の発酵分解、窒素固定、リン酸の捕集という働きが不可欠である。例えば、有機質肥料を発酵させるとリン酸を可給態化することができる。また、水田に乳酸菌や酵母菌主体の有用微生物を散布すると、ホルモン様物質が生成され、一定濃度になると雑草出芽を促進したり出芽を抑えて、除草しやすくなる場合がある。さらに、紅色非硫黄細菌型の光合成細菌を富化すると、有機酸が資化されることで、メタン生成菌の活動が抑制され（図 I-21）、窒素固定が促進されるとともに、水稻生育を阻害する硫化水素を紅色硫黄細菌が消化する働き（図 I-22）により、水稻生育にも地球環境にも有用な働きがあることが明らかとなっている。

このように微生物の働きにより、利用しにくい養分の可給化（岩石2005）、過剰養分の保持、持

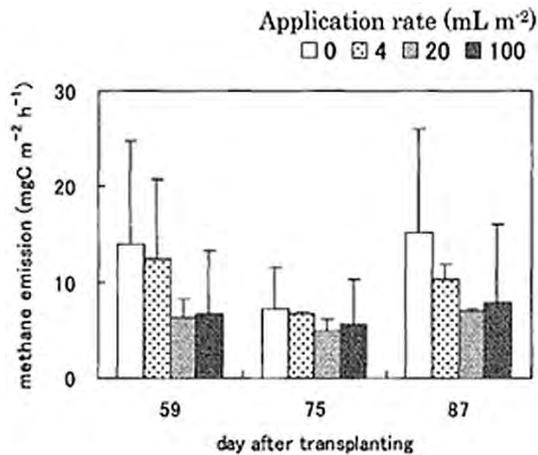


図 I - 21 水田への紅色非硫黄光合成細菌の施用とメタンガス放出量 (加藤ら 2008a)

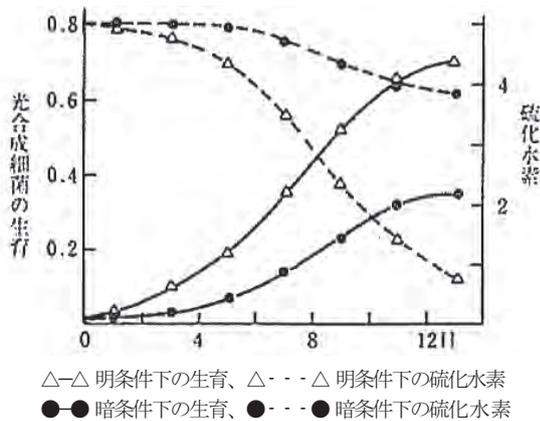


図 I - 22 硫化水素培地における光合成細菌 (クロマティウム) の生育と硫化水素の消長 (小林 1993)

続的な高い養分利用効率が可能となり、雑草が生えにくく、養分供給力が高い系 (システム) ができ、病害虫等の有害生物を抑え作物を健全に育てる働きを有するようになる。

水稲の有機栽培を開始した当初から、以上の土づくりを継続していくことになるが、当面、残った草は除草して、発生量を次第に低減していく (手取りを含めた機械的な除草対策は、「Ⅱ. 有機稲作の栽培技術解説」参照)。

(3) 水管理と排水対策

水深の目安は、移植直後から数日は水深4cm程度を保って活着を促し、活着後は早期に水深を

2~5cmの浅水管理とする。寒地~寒冷地、早期栽培の入水時刻は夕方か早朝に行い、日中はポリチューブや迂回路を使って午前中の水温上昇を図る (表 I - 6)。ただし、強風時は深水とする。根を深く張らせるためには、水の縦浸透を大きくする必要があり、除草が終わった時点で中干しを行うが、雑草が多く残る場合は、埋め込み式除草機を掛けるタイミングで落水する。縦浸透により水が移動するように、水田の排水を促す。水不足の地域では地下排水を循環ポンプなどで再利用し、水稲生育が良好になるよう透水性を高め、根域を拡大して作土養分の有効利用を図る。

土の水分状態をコントロールする灌漑排水設備は土づくりにとって重要な要素となる。長雨や干ばつに対しても地下水位を調整し、作土を適湿に保つことのできる地下灌漑方式など、有機栽培を安定化させる方法が開発されている。

水田では収穫作業前には必ず落水して地耐力を高める必要がある。これにより土壌は酸化的に経過し、1年周期で還元と酸化を繰り返している。その影響を視認できるのが土壌中の鉄イオンの色変化である。還元状態では青灰色、酸化状態では茶褐色を呈す。排水を短期間に行い、地耐力を増すため、湿田はもとより乾田でも明渠や排水口、暗渠排水が設置される。明渠は毎作中干し時期に作り直され、圃場の灌排水を微調整することができる。暗渠は主に湿田に限られるが、地下水位を低下させることで、落水への切り替えが素早く行える。ただし、暗渠などに酸化皮膜が付着して目詰まりを起こしやすいので、メンテナンスが難しいという欠点がある。

近年、暗渠排水と地下灌漑を両立し、地下水位を作物の適した水位で制御できる地下水位制御

表 I - 6 高冷地における灌漑時刻と収量 (長野県 1986 諏訪・原村)

灌漑法	昭和24年		昭和30	
	収量kg	比率%	収量kg	比率%
早朝灌漑	165	77	345	76
日中灌漑	142	67	-	-
夕刻灌漑	214	100	574	100
夜間灌漑	-	-	544	95

システム（FOEAS）が開発されている。また、同様の原理を持つ地下灌漑排水用暗渠装置（富士武造2006）も実用化されている。これらの方式の利点は、水稻の必要な時に必要な量の灌漑ができ、短時間で地耐力を回復できることにあり、減水深を一定に調整する難易度の高い代かき技術も必要なくなる（「第3部「Ⅱ．有機大豆作の栽培技術解説」参照）。

中干しは、地力水準によるが、有機栽培の水田では遅植えや大苗疎植など、適性茎数に達する時期が遅くなることも多いことから、遅く開始し、過剰に生育抑制をすることは避ける。間断灌漑程度の弱い落水と乾燥で、透水性の改善を図る程度に留めるのがよい。ただし、下層土への根張りを増加させて登熟期の落水で枯れ上がらないようにすることは、収量増加と土づくりの面で有益である。

8) 病虫害抑制対策

(1) 基本的な考え方

水田には水稻に被害を及ぼす害虫や病原菌などのほかにも、広く認識されていないだけで様々な生物が生息し繁殖している。桐谷らが2010年までに行った調査では5,000種以上の生物が水田を生息域にしていることが確認されている。また、有機栽培田の「生き物調査」を進めている過程で、畦草や水田の草が動植物の繁殖場所を作るとともに、畦管理や水管理が特定の生物種を増やすことが明らかになっている（林2012）。そうした生物は、食う食われるの関係を通して複雑な食物構造網を構成し、水稻の病原菌や害虫の突出した繁殖を制限している。多くの生き物が暮らす生態系としての水田機能を高め、多様な生物が繁殖する環境を整える耕種法が、水稻生育を健全に維持する有機栽培の病虫害防除の基本となる。

また同時に、水稻を食害する害虫や水稻に侵入する病原菌にとって、水稻の表皮細胞が堅いと繁殖の妨げとなる。一方、窒素過剰で表皮細胞が柔らかくなると病虫害の発生を助長することになる。水稻生育量が大きい場合は、日照量の不足

や風通しが悪くなることで湿度が上昇し、病気が侵入しやすくなる。また、何らかの生育障害で生育量が不足した場合にも窒素代謝が遅れることで、余剰となった窒素栄養を好む害虫や病気の害を受けやすくなる。

このように日照不足で光合成が不十分な場合や、ケイ酸の吸収量が少ない場合に、発病しやすく、虫害を受けやすくなるため、水稻の体質を変える窒素濃度の制御が重要な病虫害予防策になる。

窒素を代表とする栄養は、水稻や病虫害以外の様々な種類のバイオマス量を制限し、生物が栄養を体内に取り込んだり排泄したりして、農業生態系の中で循環や貯留されている。こうした生物が介在する栄養は、土壌からの養分供給源の一部であり、地温や日照及び透水性によって代謝回転速度が変わり、水稻の生育量と一致して供給されやすい。水稻生育に適合した養分供給が地力発現の最大の利点であり、生態系の機能を働かせて養分の供給量をコントロールすることが、有機栽培の土づくりの目標となる。ただし、有機物の鋤込み深度や、土を乾かす水管理（乾土効果）などでも養分放出量は変わるので、生態系全体を視野に入れた土づくりを念頭において、病虫害防除の必要度を低下させるような耕種法を採用し、水稻を硬く健全に生育させ、生育量を増加することで、病虫害の発生を未然に防ぐようにすることが大切である。

(2) 育苗時点の対策

育苗時（幼植物時点）の病気を防止する健全な育苗用土は、養水分の供給力や保持力の高い熟成した土が理想である。育苗用の有機質肥料が販売されてはいるが、土と混合すると再発酵が生じて、カビが発生し、水をはじいて出芽を抑えたり、根の伸長を妨げたりして問題となることがある。また、温度変化に弱く、ムレ苗の発生原因にもなることもある。むしろ、有機質肥料入りの育苗用土として調整し熟成させた培土の方が、酸度や養分供給量、透水性などの点で一定の品質を保

ちやすい。メーカーでも品質確保のために様々な工夫を施しているが、販売は限られている。しかも貯蔵や流通時の品質保持が難しく、化学肥料入り育苗用土に比べればより厳しい品質管理が求められる。そうした調整が難しい育苗用土ではあるが、有機育苗においては重要な要素であり、本田の土づくりの一環として取り組む必要がある。

通常、水稻の育苗用土は土壌pHを5.0～5.5以下に低く抑えて、病原性微生物の活動を抑えることが常識となっている。一方、有機栽培用の育苗用土中には、病原菌を抑制する微生物種が存在し、籾枯細菌病の発症が抑えられることが報告されている（安藤・高橋2012）。

中苗または成苗まで育苗すると育苗期間が長いために発病の機会が増すが、出芽から1.5葉期の緑化期間の土壌水分と温度管理及び3～4葉展開期の順調な生育を図ることがポイントになる。マツト苗では、箱当たり乾籾播種量を、中苗では80g、成苗では40gを目安に均一に播種して、温度、水分、養分の適正管理によって病害を防ぐ。それらの対策を完全に実施した上で問題となる病気の殺菌や制菌処理を補助的に行えば、安定的な発病抑止効果が得られる。

(3) いもち病の予防と対策

①問題となる地域

水稻の有機栽培では、雑草がどの水田でも問題となるが、いもち病が問題になる地域は限られている。むしろ有機稲作は、高収量を追求せずに、食味低下を避ける意味から、窒素施肥を制限していることから、いもち病は未然に発病が防がれていることが多い。ただし、全国的に7月末から8月の出穂期にかけて寡照条件下で、夜間に高温多湿となるといもち病が発生しやすく（東北のやませ地帯でも夏の低温・寡照・多湿の条件下では、いもち病が発生しやすい）、有機栽培でも激発する場合がある。特に、地力の高い湿田で、何らかの要因で初期生育が抑えられて地力窒素が放出される高温期にさしかかると、葉内の窒素濃度が高まり、組織が軟弱化して、葉いもちが発症し、

引き続いて穂いもちが多発することになる。従って、地力を高めることと並行して、地力をうまく制御する栽培法がいもち病の発病抑止に効果的である。

いもち病の予防には、地力窒素を有効に利用できるよう初期生育量を確保し、最高分げつ数を㎡当たり300～400本を目安に生育させるとともに、肥料を極力減らして過剰な窒素供給を防ぐことが重要である。前年までのデータから生育速度や期間を考慮し、目標茎数になるように栽植株数を設定することになるが、その際、植付け本数は極力減らして各個体が最大の生育になるように目指す。生育途中の欠損、例えば除草やイネミズゾウムシによる生育停滞等も考慮に入れて、単なる疎植ではなく、地力の効率的利用を進めるため、地力窒素発現時まで一定の葉面積を確保する適正栽植密度を設定する必要がある。

②窒素栄養を制限した効果

表1-7は、長年いもち病が発生していない有機農法田の発生抑制メカニズムを明らかにするため、窒素とケイ酸施肥量が異なるポット栽培の「コシヒカリ」を水田周辺部に設置して、慣行田と比較した結果である。2倍量の窒素施肥を行い、いもち病に罹病しやすい条件をつくと、本田にはいもち病が発病しなくても、ポット水稻の葉身の窒素濃度が増加していもち病が激発した。いもち病対策の基本は、窒素過剰を防ぐことであることが顕著に表れている。

さらに、強い日射で光合成を加速するとともに風の通り道を作り、乾燥させることである。それにより窒素代謝と蒸散を促して、窒素以外の成分、特にケイ酸濃度を高めると、いもち病の伝播、侵入を防ぐことができる。

耐病性の検定試験において、いもち病感受性の品種でも、晴天下で大きく育つことで窒素過剰を防いだ場合には、いもち病菌を散布しても、いもち病は容易に発症しない。無窒素栽培でいもち病が抑えられるのは、植物病理や育種家にとっても経験的に常識になっている。逆に、曇天の高温過湿条件が続くと、窒素無施肥条件であっても、葉内の窒素成分が過剰となって、いもち病菌が発

表 I-7 いもち病検定ポットの発病葉数率と葉身の無機成分

設置圃場	処理	葉身中成分(%)					いもち病発病葉数率(%)
		N	SiO ₂	Ca	P	K	
II 自然農法田	2N	2.92	3.32	0.55	0.18	2.01	60.0
	N	1.90	5.20	0.32	0.23	1.62	17.5
	N+Si	1.99	5.31	0.49	0.24	1.60	5.0
A 慣行田	2N	3.00	3.48	0.59	0.22	2.19	72.5
	N	1.81	4.49	0.53	0.22	1.63	15.0
	N+Si	2.07	4.26	0.52	0.21	2.00	17.5

(津野・小田1985を一部改変)

注：1/3000aポットに2N区は3要素各2g、N区は3要素各1g、N+Si処理はN区に水ガラスゲル100mlNa₂SiO₃-10gを添加した。発病葉数率=いもち病斑の認められた葉数/全葉数×100

症する。さらに、窒素過剰水田で軟弱徒長した水稲がいもち病菌を増殖させて拡散する伝染源となるので、過剰な窒素施肥にならないように施肥量とタイミングを留意する。

③窒素を減らしケイ酸の吸収量を高める

耕種的な対応

水田土壌の土づくり目標として、作土深を深くして根域を確保し、施肥による土壌の窒素濃度が突出して高くないように、他のミネラル類やケイ酸吸収量とのバランスを保つようにつとめる。利用する有機物の窒素成分を正確に把握して、施肥量を過剰にしないことがまず第一である。第二には他の成分、特にケイ酸の吸収量を増加させるために、グライ層の出現深度を低下させ、斑鉄の見られる酸化的な作土を深くさせることが有効である。

水稲は窒素の吸収量の10倍近いケイ酸の吸収量を必要とする。津野らが1983年に行った鳥取県内の調査では、ヨシなどの刈敷によってケイ酸40kg程度が補給されていた。10a当たり窒素9~12kgに対して水稲のケイ酸吸収量が80kg近くになる水田がある一方で、油粕50kg~130kgを施肥し水稲の窒素吸収量が9~10kgに対してケイ酸吸収量が50kg程度に抑えられた水田もあった。

有機物が堆積してできた泥炭土のような土壌を除き、水田土壌の多くは、地表近くに腐植や有機物など窒素栄養が豊富に存在している。有機施肥の鋤込みもせいぜい12cm程度ににとどまる。一方、粘土鉱物の主成分であるケイ酸は心土を含めた下層まで豊富に含まれている。そのため、根が

深く広範囲に伸張するとケイ酸の吸収量が増加する。そのため土壌構造を発達させて、作土を深くし、生育量増加と地力利用の促進を図ることが重要である。

水稲の根は、通常、貫入抵抗で1MPa/cm²、あるいは山中式硬度で20mmを超えると、伸張を停止するが、水の移動できる孔隙があれば土は硬くとも孔隙に沿って根は伸長できる。実際、土壌特性の目安として、土壌の成分分析に加えて、貫入硬度による鋤床の深さや、水の縦浸透の程度など、水田土壌の物理的な指標が参考となる。縦浸透が10mm未満の場合は、透水性が高まるように工夫する。特に代かき強度を低減することや、落水して中干しするなどの水管理が、減水深を維持し、貫入硬度を低下させる事に貢献し、累積的に長期的効果を高める。

水稲のケイ酸吸収量が同じであれば、雑草が

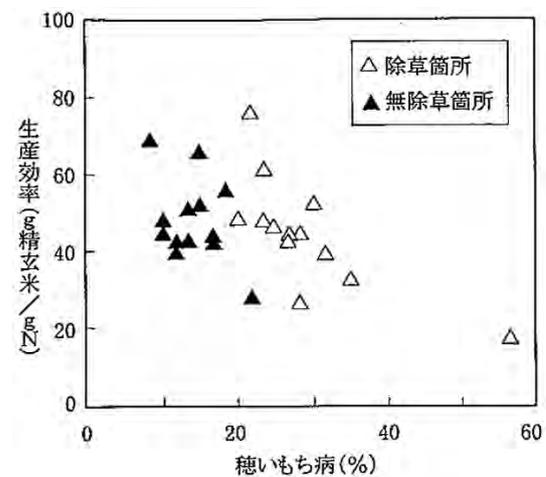


図 I-23 いもち病と施肥窒素生産効率の関係 (岩石2007)

窒素を吸収すると、結果的に水稻の窒素含量は低下するので、いもち病の発生を抑えることができる。いもち病の常発地域で、雑草が多発するためにいもち病発生が抑えられていた有機水田では、コナギを含め完全に除草できた結果、いもち病が多発した例もある。そのため、田植え後40日を経過した時点で発生したコナギやオモダカは、水稻生育を抑える働きが弱い、水稻の出穂期から成熟期にかけての過剰窒素を吸収するので、いもち病を防ぐ効果を持つ（図 I-23）。

（4）虫害対策

①イネミズゾウムシ対策

田植前に未分解だった稲わらが生育時期に分解し、水稻が障害を受けて生育が遅延すると、イネミズゾウムシの寄生を促す要因にもなる（岩石2010）。このため、秋から土づくりを進めると同時に、成苗、若苗を植えることで、初期生育を早め生育量を旺盛にして寄生数を減らすことが重要である。また、遅い田植えで虫害を回避できる場合もある。寒冷地でも田植え時期を遅らせることで、イネミズゾウムシの寄生数が減少する（三木ら2011b）。

一般に、イネミズゾウムシの寄生数が水稻収量に被害を及ぼす時の要防除水準は、50頭/100株とされている。生育が悪い株に集中するので影響が強く表れる。しかし、水稻の生育量が旺盛な時は、減収をもたらす寄生数はかなり多いことも報告されている。除草剤、化学肥料施用条件下で成苗を移植し、やや過繁茂となった水稻に、水田をネットで囲みイネミズゾウムシを放飼したところ、通常明らかに減収するとされる500頭/100株でも、茎数が適度に間引きされる効果が生じ、減収しないか、むしろ増収する結果が報告されている。

中間地から暖地にかけても、イネミズゾウムシの水田への侵入ピーク時期を避けて、遅植えにすることで被害を最小限に抑えることができる。水田への侵入時期を遅植えで回避しにくい寒冷地の水田越冬地では、13.8℃以上の有効積算地温で田植え後72日℃が侵入ピークと推定できるが、周囲の山ツツジの満開期とイネミズゾウムシの産卵最盛期

がおおよそ重なることから推測できる（自然農法センター1998）。この時期の水田を、浅水から早期中干しで管理することによって、産卵を減らすことができる。

また、寒冷地水田で多くなる畦畔からの侵入を防ぐ目的で、畦畔内側に畦畔シートを敷設しても顕著な侵入抑制効果がある。また、落水により雑草が増えて水稻生育が抑制され、トンボの幼虫などが羽化できずに死滅する場合もあるので、早期中干しを避ける。浅水管理とすれば除草機を使って、雑草の発生を抑える必要もでてくる。有機稲作における中干しの適期は、やや遅めの7月下旬頃なので、6月の早期中干しはイネミズゾウムシの激発時における緊急避難的な対策に限定される。

イネミズゾウムシの土着天敵として、ポーベリア菌という寄生菌が確認されている。他にアマガエルが捕食し、アイガモなどの鳥が好んで捕食することが確認されている。場所によっては、除草よりも、除虫効果を期待してアイガモを水田に放す有機農家もいる。アイガモはイネミズゾウムシを好んで食べる。ニホンアマガエルもイネミズゾウムシをよく食べるとされている（NPO環境創造舎他2005）。

②カメムシ対策

カメムシ類は大きさや形が異なる数種類が知られ、近年、水稻を加害して問題となるカメムシ類はアカヒゲホソミドリカスミカメのような小型種であり多く発生している（図 I-24-1、図 I-24-2）。産米の等級を下げる原因となるカメムシの侵入を抑えるため、生息場所や餌となる畦畔植物を出穂させないことや、開花し種子をつけるイネ科雑草を定期的に刈り込むことで被害を軽減できる。ただし、畦畔の雑草を常に低く刈り揃えると、カエルやゴミムシ等の広食性天敵や卵捕食天敵のバッタ類の住処も減らすので、防除効果も落ちる。そのため稲の出穂期までは開花しない植物（センチピードグラス、力芝、風草など）で、畦畔の植生管理を行う。

比較的大型のクモヘリカメムシに対しては、卵寄生蜂が天敵として知られている。また、水稻の害虫にもなるが、バッタ類（ササキリ、イナゴ、キ

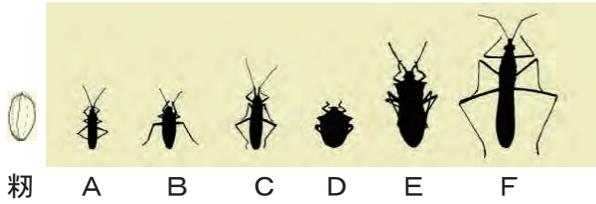


図 I-24-1 大きさの異なるカメムシ類の比較
 A：アカヒゲホソミドリカスミカメ、B：アカスジカスミカメ、
 C：ムギカスミカメ、D：オオトゲシラホシカメムシ、
 E：ホソハリカメムシ、F：クモヘリカ

リギリス) は、カメムシの卵を捕食することが報告されている(竹内2007)。畦畔際の水田雑草は、多くの生物の産卵や繁殖場所として、広食性天敵の餌を供給しているので、雑草害を生じさせない程度に管理する必要があ(写真 I-23)。

慣行栽培でも小型のアカヒゲホソミドリカスミカメによる側部斑点米の発生が増加している。対策として水稲の出穂前後のケイ酸吸収量を増加させることで、玄米側部に発生する斑点米を低減できる。具体的には土壌改良によって有効態ケイ酸含量を高める方法と、作土を深くして根域を広げ、地力を高めて出穂期のケイ酸吸収量を増加させる方法がある。

カメムシは風に乗って移動するので、風の吹き

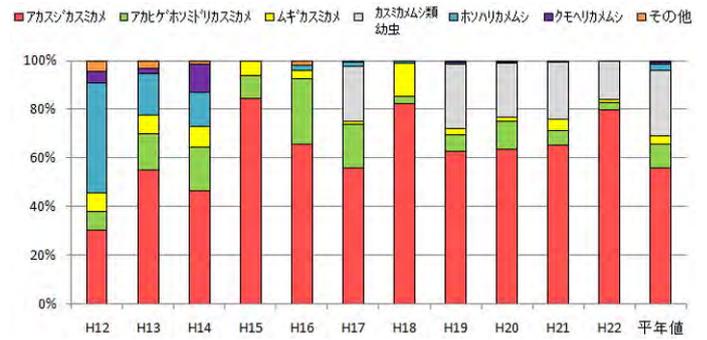


図 I-24-2 水田における加害種の年次推移(出穂期)

注：病虫害防除所巡回調査ほ場における20回振り調査(宮城県HP)

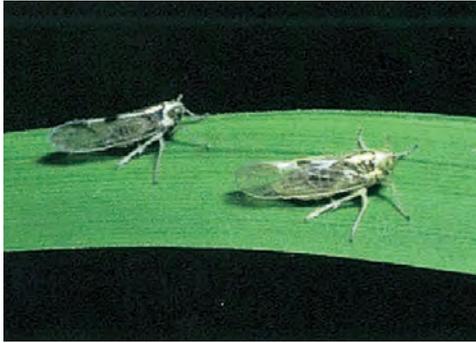
だまりなどに大発生する場合がある。地形的に風に乗って定着し常発して問題となるところがある。緑肥や牧草などの一時的な防風植栽に加えて、被害程度が高い場合は防風林などの利用も選択肢となる。ただし、イタリアンライグラスなど、カメムシが好んで寄生する緑肥もあるので注意が必要である。

③ウンカ対策

暖地の稲作で問題となるセジロウンカは夏ウンカ、トビイロウンカは秋ウンカ(写真 I-24)とも呼ばれる。西日本の稲作において秋ウンカさえ発



写真 I-23 斑点米を起こすカメムシと産卵の状況
 (竹内2007) 成虫写真の白線はいずれも5mmを示す



「セジロウンカ成虫」前がメス、後ろがオス



トビイロウンカ

写真 I - 24 中間地から暖地水田に発生するウンカ類

(NPO 環境創造舎他 2005)

生しなければ無防除でも問題はない。秋ウンカと夏ウンカでは増殖パターンが異なり、世代によっても増殖率が違う（宇根 1987）（図 I - 25）。

トビイロウンカ（秋ウンカ）は7月に成虫が飛来してから、3世代で500倍に増殖する能力を持ち、9月になってから急激に増殖する。羽の長さで短翅型と長翅型があるが、移動しにくい短翅型が増えると部分的に増殖して坪枯れ症状を起こすので防除が必要となる（写真 I - 24）。

このため、ウンカの生態と被害を受けやすい水稻の体質の関係を理解した上で、虫害発生を防ぐ手立てとしての施肥や栽培時期を決めることが重要である。

岡山大学の中筋らのグループは、岡山市内で

有機栽培を20年継続している圃場を調査した結果、天敵密度に慣行栽培とは差がなかったが、水稻の葉内成分が影響してウンカの密度が低く抑制されることを明らかにした（日鷹・中筋 1990年）。すなわちセジロウンカは師管液のアスパラギン濃度が低いため有機栽培での増殖率が低く抑えられ、トビイロウンカは有機栽培田で茎数が少ないために、侵入密度が慣行栽培田の1/100に抑えられた（梶村 1994）。佐賀県の調査では、葉色が濃く茎数の多い水田でトビイロウンカの密度が高くなるので、岡山県（1991）の例と類似した原因で、生育量を落とした遅植えによって、第3世代の密度を低下させることができると報告している（森ら 2011b）。

窒素施肥を減らし水稻の栄養過多状態を回避すると、害虫の餌源や産卵場所としては不適當となる。弱った生物を餌として攻撃する例は多い。害虫の多くは窒素栄養が豊富で、柔らかい表皮細胞を持つ植物を選んで吸汁したり、産卵対象とする。反対にイネの側にも防御機構があり、ウンカが産卵して黄色くなるのは、イネが細胞を犠牲にしてウンカの孵化率を低下させる戦略とも言える（写真 I - 25）。産卵痕が黄化しない場合はウンカの孵化率が70%であったが、黄化したイネではウンカの孵化率は20%と低かった（NPO 環境創造舎ら 2005年）。水稻のもつ抵抗性を発揮させることも虫害低減に効果がある。

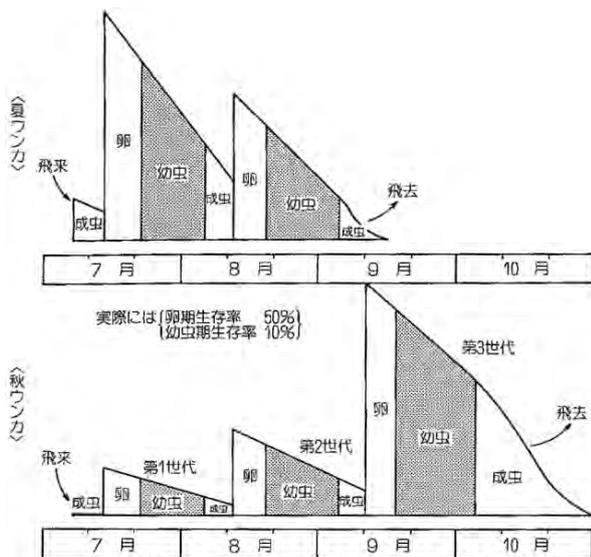


図 I - 25 秋ウンカと夏ウンカの増え方の違い

(宇根 1987)



写真 I - 25 ウンカの産卵と水稻の葉の黄色化
(黄色く枯れてウンカの孵化率を低下する)
(NPO環境創造舎他 2005)

9) 収穫・調製

(1) 稔実度を高める収穫前の用排水対策

水稻根は、初めは垂直方向に伸び、茎数の増加とともに水平方向に伸張し、止め葉が出ると数日内に新しい一次根は出なくなる。登熟期間には出穂期頃に出た根の分枝根や細根が発生する。新しい根の活性は高く、出穂前後に出た根が登熟期の稔実度を高める重要な役割を担う。中干しなどの落水条件下では下方に根が伸張し、湛水・飽水状態では上根の細かい分枝根が横方向に伸びる。そのため、中干しや収穫前の落水により深い根を張って、下層土に根を伸ばして活性の高い根が働くことによって、落水後に地表面が乾いても地上部へ水分を運び、葉枯れや枝梗の枯れ上がりが遅れて、籾は完熟しながら土壌水分が徐々に低下していく。

有機栽培では、後発分げつを活かすため、出穂初めから穂揃いまでと、登熟揃いまでの期間が長くなる。その分、開花が遅れた籾の登熟を待ち、落水時期を遅らせる必要があるが、下層土に伸張した根の活性を維持することで秋優りとなり、強制落水しても枯れ上がりが遅れ、最後まで活性の高い稲体を維持でき、登熟歩合は高まり収穫適期も広がる。

(2) 収穫時期の判断法

水稻は出穂後開花・受粉し、籾の中にまず種皮、



写真 I - 26 枝梗先端までが青く生きている穂

胚、胚乳が形成される。胚乳の中にデンプン乳が貯まって袋がふくらみ（乳熟）、続いて糊のように固まり（糊熟）、水分が抜けて玄米が透明になって完熟する。この時、籾は白色から黄色みを帯びる（黄熟）。

籾の中で玄米が完熟するには、出穂期から約55日程度、800～1000日℃を要する。一般に収穫適期の判断は、籾の色や枝梗の枯れ上がりを目安とし、穂の基部に付いている籾の2～3粒に青みが残っている状態や穂の長さの1/3程度の枝梗の先端の枯れ上がりで判断する。ただし、この目安は品質面で最善と考えられるタイミングであり、未熟粒が含まれても過熟や過乾燥を防ぐことに重点を置いている。特に、強制落水させた場合の枝梗の枯れ上がりを前提に判断しているため、生理的な完熟期とずれている。

そのため有機稲作では、最後まで枝梗を枯らさず、かつ地耐力を高めるように落水を進め、穂全体を均一に黄熟させて収穫し、多収・高品質をねらう（写真 I - 26）。

(3) 機械収穫を容易にする排水対策

収穫に適した土壌水分や、気温に制約がある寒冷地を基準にすると、収穫は9月下旬～10月上旬の秋晴れの続く時期を目標にする。全国的に9月は秋雨の時期に当たり、落水時期の判断が難しいが、登熟期後半には雨水を利用して過乾燥を避けつつ、徐々に排水し地耐力を高めるようにする。

湿田では暗渠や明渠を利用して水位を低く保ち、全体に均一な灌水に心がける。乾きが遅い地域の慣習として、出穂直後に灌水して、以後まっ



写真 I - 27 短稈となる有機栽培稲の特徴
(提供：(財)自然農法センター 2004)



写真 I - 28 有機栽培米の収穫直前
(2007年松本市)
(提供：(財)自然農法センター)



写真 I - 29 有機栽培米の収穫
(2007年松本市)
(提供：(財)自然農法センター)

たく入水せずに収穫期を迎える地帯もある。収穫作業は、最も土壌が乾燥して収穫機の移動に必要な地耐力をもつ状態で行い、晴天で乾燥効率の良い時刻に刈り取る。完熟を進める緩慢な落水を心懸けつつ透水性を悪化させない管理が必要である。

温暖地では台風の通過により収穫期の落水がうまく進まないことがあるが、温度が高く乾きやすいので、むしろ立毛中の過乾燥による胴割れによって等級が低下することに注意する。

さらに、有機栽培と同時に慣行栽培や特別栽培を両立させていく生産者の場合には、作業機の共用による混入を防ぐために、収穫機の清掃を徹底し、収穫対象物毎に保管や調製を行う必要がある。その際に清掃などの作業工程を記録する。有機JAS認証では、意図的であっても混入は許容されないため、計画的に分別して収穫調製作業毎に作業記録を残す必要がある。そのため、圃場毎に適した作業時期よりも、併行的に生産する有機栽培米を仕分けるために、作業手順や時期が制約されるので、無駄な清掃行程を生じさせないように、仕分けのロット毎に作業を進める必要がある。

(4) 乾燥・調製対策

有機栽培米は安全性だけでなく、食味品質が高いことが期待される。産米品質を高く保つためにも、最後の仕上げとなる乾燥調製には、特別の配慮が必要である。

①有機栽培米と慣行栽培米の混入防止

有機栽培農家は、慣行栽培米などとの混合を避けるために、コンバイン刈りを行う農家でも共用のカントリーエレベーターの利用を行わず、個人で乾燥、調製加工を行っている。乾燥機を所有しない小規模の有機栽培農家はバインダーで刈り取り、天日干し（はざ干し）後に脱穀機を利用する場合もある。天日干しは、消費者の昔ながらの自然乾燥に対する要望を反映して実行されている。乾燥に時間がかかるが追熟による品質向上も期待できる。しかし手間がかかるため、コンバイン収穫に比べて実施できる面積が制限される。大規模農家では、ほとんどをコンバイン作業で行い、一部分をはざ干しし、自然エネルギーを生かす姿勢をアピールする宣伝の狙いや高価格で販売する形で、はざ干しが実施されている場合もある。

自家採種を行う場合には、異品種の混入を防ぐために、はざ干しと脱穀機を使うのが効果的な場合もある。はざ干しなどの天日乾燥では、晴天時に作業を進めるが籾水分が不均一となりやすいので、乾燥期間を十分にとって、作業を進める。

はざ干しの場合にはすぐに耕耘に移れない面がある反面、重いコンバインを避けて、軽いバインダーを利用するので、土を踏み固めたり練り返さずに済む利点もある。

②乾燥機利用に当たっての留意点

穀粒乾燥機には、灯油を利用した通風乾燥機が一般的であるが、太陽熱を利用した乾燥施設もある。最終的には水分を15%まで低下させる。

段取りとしては、まず立毛中に籾水分20%以下の乾燥状態にするため、天気が良く湿度の低下した時間帯に収穫作業を行う。乾燥機を効率的に利用するために、急速に乾燥させる必要があるが、水分が不均一になって割れ米が生じるなど品質の低下も起こりやすいので注意する。高温で急速に乾燥させると米粒が煮えた状態になってタンパク質が変性し、発芽能力を失い、品質も低下する。籾は外側から乾燥し、玄米から籾殻へ水分が移動するが、玄米の乾燥が遅れる時間を見込み、加温しない送風時間や、循環通風を行わずに静置時間を設ける。

通常品質の良い米を乾燥するためのプログラムが装備されているので、刈取り面積や収穫可能期間に合わせて品質を低下させないよう過乾燥を避ける能力をもった乾燥機と、一時保管の容器を効率的に利用する。

③玄米の調製・保管上の留意点

玄米の表面の糠層には酸化し劣化しやすい油脂や蛋白質が多く含まれる。籾殻を除き玄米に調製する際に生じたわずかな傷が原因となって、玄米表面が微生物によって変質されやすくなる。そのため室温でも変質を防ぐことができる籾で貯蔵し、玄米にして袋詰めした後は冷温で保管する必要がある。

有機栽培米では玄米表面に脂溶性の農薬が沈着するような心配も無い。玄米菜食や発芽玄米食など機能性食品として消費する面からも優れた食材である。ただ、酸化しやすい糠層が劣化すると、酸化臭が発生するので玄米の保存と利用には注意する必要がある（写真I-30）。



写真 I - 30 有機栽培で収穫調整した玄米粒

（提供：(財)自然農法センター）

引用文献

- 1) 青峰重範「土壌肥料講座2」朝倉書店 1961年
- 2) 阿部大介・三木孝昭「自然農法水稻栽培体系構築のための雑草制御の考え方と実際」『自然農法 64』2010年、6-9
- 3) 福士武造「地下灌漑」(財)自然農法国際研究開発センター、特開 2006-238809
- 4) 古野隆雄「有機直播への道～直播における深水の応用～」『合鴨通信 59』2011年12月、16-18
- 5) 箱石正「自然農法実施圃場の土壌肥沃度について」『農業試験場報告 1』(財)自然農法国際研究開発センター 1995年、13-17
- 6) 原田二郎「水田多年生雑草の根系形成過程の観察」『北陸作物学会報(18)』、1983年8月、14-16
- 7) 原川達雄「EMボカシ肥(発酵堆肥)の利用」『農業技術大系 作物 2-2 巻』農文協、1998年、技+ 522の18
- 8) 橋川潮「稲作技術を再検討する(1)～(3)」『農業技術 41』1986年、145-148, 201-205, 249-253
- 9) 橋川潮編著『21世紀への提言・農業技術の本質をつく「低投入稲作は可能」』富民協会、1996年 366
- 10) 林鷹央「田んぼの生きもの調査隊」『5回田の草フォーラム』NPOメダカのがっこう

- 11) 日鷹一雅・中筋房夫『自然・有機農法と害虫』冬樹舎、1990年9月292
- 12) 星川清親『解剖図説 イネの生長』農山漁村文化協会、1975年317
- 13) 飯野文子・齋藤瑛子・楠本大・米山弘一・竹内安智「コナギの出芽に対する肥料成分の影響」『雑草研究 51(4)』日本雑草学会、2006年249-252
- 14) 伊藤豊彰「人と自然にやさしい米づくりを支える田んぼの土壌」『水田再生』鷺谷いづみ編、家の光協会、2006年、230-260
- 15) 岩石真嗣・加藤茂・藤田正雄・高林実・岩掘寿「耕種的雑草抑止水田の特性とその応用(1)土壌無機態窒素と雑草発生量評価」『雑草研究 43 別』1998年250-251
- 16) 岩石真嗣・小林一雄「中山間地帯の冷害の実態(長野県の場合)」『自然農法 33』1993年(財)自然農法国際研究開発センター、1-6
- 17) 岩石真嗣ら「移植時期の検討—イネミズゾウムシ及び雑草の生態的防除—」『平成10年度試験成績書』(財)自然農法国際研究開発センター1998年1-6
- 18) 岩石真嗣・加藤茂「雑草の発生を反映した代かき湿潤土壌の可給態窒素量」『有機農業—岐路に立つ食の安全政策』有機農業研究年報 Vol. 3、2003年
- 19) 岩石真嗣「雑草の生えにくい土の状態」、『有機農業研究年報 VOL.7 有機農業の技術開発の課題』、日本有機農業学会、2007年、150-170
- 20) 岩石真嗣・三木孝昭、加藤茂・王彦栄「有機栽培水田の耕耘方法が水稻・雑草の根系と塊茎形成に与える影響」雑草研究 55(3) 2010年、149-157
- 21) 梶木信幸・中村拓「水田雑草の養分吸収特性の草種間差:第1報 混植による窒素吸収力の推定」『雑草研究 29(2)』、1984、147-152
- 22) 梶村達人「有機栽培水田におけるウンカ・ヨコバイ類の個体群動態の特性とその要因」、岡山大学学位論文、1994年126
- 23) 金田吉弘・佐々木景司・佐藤 孝・村井 茜・菅原茂幸・佐藤 敦「ライシメータ水田における基肥施肥法の違いが水田雑草の生育と養分吸収に及ぼす影響」『日本土壌肥科学雑誌 77』(2006)、635-641
- 24) 片野学『自然農法のイネづくり—生育のすがたと栽培の実際—』農山漁村文化協会1990年、246
- 25) 加藤茂・降幡郁子「ボカシの田面施用がコナギの生育を抑制する」『自然農法 61 研究報告』2008年、25-28
- 26) 加藤茂・岩石真嗣「田面発酵が雑草を抑え米品質を高める」『自然農法 61 研究報告』2008年、16-21
- 27) 加藤 茂・岩石 真嗣・犬伏和之「水田土壌から放出されるメタンに対する微生物資材の効果」『食と緑の科学 62』千葉大学園芸学部2008年3月、39-44
- 28) 近畿中国農業試験研究推進会議作物生産部会、中国農業試験場『再生紙マルチを利用した水稻移植栽培技術』中国農業試験場、福山、1995年、91
- 29) 桐谷圭治『「ただの虫」を無視しない農業生物多様性管理』、築地書館、2004年東京、192
- 30) 子吉之助、長谷川吉次、佐々木長生、小山卓、『日本農書全集第十九巻 会津農書 会津農書附録』原著者:佐瀬与次右衛門(1684年)、農山漁村文化協会、1982年再発行
- 31) 草薙得一「雑草の種類・分類・生態」「水田雑草の生理生態雑草科学の基礎」『第11回~14回夏期研究会テキスト』日本雑草学会1966年153-170
- 32) 櫛淵欽也監修『日本の稲育種 スーパーライスへの挑戦』農業技術協会、1992年445
- 33) 松本睦編集『米作りへの誘い ながの農業と生活別冊』、長野県農業改良協会1986年445
- 34) 三木孝昭「冬期湛水田における耕起時期の水稻生育環境に及ぼす影響」『自然農法 57』

- 2006年、24
- 35) 三木孝昭・阿部大介・加藤 茂・岩石 真嗣「寒冷地有機稲作の耕種的防除技術の開発－稲わら鋤込み時期と移植時期の影響－」『12回日本有機農業学会大会資料集』2011年12月、56-58
- 36) 三木孝昭・岩石真嗣「移植時期を変えたボカシの表面施用効果」『自然農法 63』2009年、16-19
- 37) 三木孝昭ら「稲わらの分会程度の違いが水稻生育及び雑草出芽数と生育に及ぼす影響」『平成20年度試験成績書』（財）自然農法国際研究開発センター 2008年、23-25
- 38) 宮城県農林水産部「宮城県における斑点米カメムシ類の主要種」『斑点米カメムシ類』http://www.pref.miyagi.jp/byogai/lib/kamemusi/lib_kamemusi_top.htm#shuyoushu
- 39) 森則子・三原実「佐賀県における水稻有機栽培での雑草防除の現状と課題」『九州の雑草40』九州雑草防除研究会 2011年2月、20-23
- 40) 森則子・三原実「佐賀県における水稻有機栽培の実態と課題」『12回日本有機農業学会大会資料集』2011年12月、47-49
- 41) 日本作物学会北陸支部北陸育種談話会『コシヒカリ』農山漁村文化協会 1995年
- 42) 農林水産技術会議事務局『水田生態系におけるスクミリンゴガイの総合的管理技術の開発』、農林水産技術会議研究成果 391, 2002年、153
- 43) 農林水産省東北農業試験場『やませ気候に生きる－東北農業と生活の知恵－』1999年、168
- 44) NPO 環境創造舎、NPO 農と自然の研究所、福岡県環境部、福岡県保健環境研究所『水辺で生きる－ふくおかの生きものガイドブック』2005年 64
- 45) 岡山県農林部『有機無農薬農産物栽培指針』1991年 285
- 46) 芝山秀治郎「水田雑草の生理生態雑草科学の基礎」『第11回～14回夏期研究会テキスト』日本雑草学会 1966年 83-95
- 47) 菅野祥孝「土を考えよう 積年良土」『SUGANO-Net』, スガノ農機, <http://www.sugano-net.co.jp/kangaeyo/pdf/sekinenryoudo.pdf>
- 48) 杉原進「土壌窒素の無機化予測と温度」『日本土壌肥料学会編, 水田土壌の窒素無機化と施肥』博友社, 1990年. 35-59
- 49) 住吉正「水稻有機栽培での複数回代かきによる雑草防除効果」『九州の雑草40』九州雑草防除研究会 2011年2月、24-26
- 50) 田中福代「水田への麦わら施用に伴う芳香族カルボン酸の生成と水稻の生育抑制機構に関する研究」『九州沖縄農業研究センター報告 第40号』2002年、33-78
- 51) 富山県農業技術センター「温湯処理と催芽時食酢浸漬の組み合わせによる種粕消毒法」平成17年度「関東東海北陸農業」研究成果情報 2004年、http://narc.naro.affrc.go.jp/chousei/shiryou/kankou/seika/kanto17/15/17_15_02.html
- 52) 土地利用型農業 地下水位制御システム <http://www.agri.zennoh.or.jp/FOEAS/index.asp>
- 53) 津野幸人・小田正人「刈敷法を主体とした無化学肥料・無農薬による水稻栽培の実態－鳥取大学周辺の自然農法稲作の調査研究－」、『鳥大農研報 38』1985年、1-10
- 54) 宇根豊『減農薬のイネづくり 農薬をかけて虫をふやしていないか』農山漁村文化協会、1987年 168
- 55) 吉田昌一『稲作科学の基礎』博友社 1986年 316
- 56) 吉野喬・出井嘉光「土壌窒素供給力の有効積算温度による推定法について」『農事試験場研究報告 25号』1977年3月 1-62
- 57) 兪 益東・木村 真人・和田 秀徳・高井 康雄「物的窒素固定に関する稲わらの有機成分：モデル実験」日本土壌肥料学雑誌 62(3), 219-225, 1991-