

Ⅱ．有機稲作の栽培技術解説

目 次

1. 品種の選択と採種	4) ボカシの作り方・使い方	103
1) 品種の選択	(1) ボカシの作り方	103
(1) 品種選択と早晩性	(2) ボカシの使い方	103
(2) 早晩性における中生種の位置づけ	5. 雑草防除技術	
(3) 品種選択の留意事項	1) 耕種的除草の考え方	105
2) 種子の更新	2) 機械・器具を用いた除草	106
2. 育苗技術	(1) 考え方と適用場面	106
1) 播種までの準備	(2) 攪拌型機械の初期除草の方法	107
(1) 種籾の調整・消毒・準備	(3) 器具を用いた除草	108
(2) 種子消毒の仕方	(4) 除草機活用上の留意点	110
(3) 育苗用土の準備	3) マルチ除草	111
(4) ムレ苗の発生と有機質肥料の関係	(1) 紙マルチ除草	111
(5) 育苗時の施肥量	(2) 布（綿）マルチ除草	113
2) 育苗法	(3) 活性炭スラリー除草	113
(1) 有機育苗の方法	4) 米糠除草・屑大豆除草	114
(2) 有機育苗の苗質目標と留意点	(1) 米糠除草	114
3. 土づくり技術	(2) 屑大豆除草	117
1) 有機稲作の土づくり	5) 生物除草	119
(1) 土づくりの考え方	(1) アイガモ除草等	119
(2) 有機栽培へ移行期の土づくり	(2) 鯉・フナ除草	120
(3) 水稻の生育・収量と地力窒素	(3) スクミリングガイによる除草	120
2) 堆肥の利用と土づくり	(4) 浮き草・藻類の活用	121
(1) 堆肥の特性と利用上の留意点	(5) イトミミズ類による除草	121
(2) 堆肥の製造法と留意点	(6) 緑肥被覆除草	122
3) 稲わら・籾殻・米糠の利用と土づくり	6. 栽培管理技術	
(1) 収穫残渣利用の考え方	1) 耕耘法	123
(2) 収穫残渣利用の留意事項	(1) 耕耘方法と有機物分解	123
4) 有機栽培田と生物多様性	(2) 耕起・耕耘方法と雑草抑制	124
(1) 有機栽培田と生物多様性	(3) 畝立耕起による雑草抑制	126
(2) 有機物施用と土壌・単収への影響	(4) 不耕起	127
5) 緑肥の利用と土づくり	2) 代かき技術	128
(1) 緑肥利用の考え方	(1) 代かきの考え方と方法	128
(2) 緑肥の栽培と鋤込み	(2) 代かきの留意事項	130
(3) 緑肥導入・利用上の留意事項	3) 田植え技術	130
6) 冬期湛水	(1) 田植え適期の決め方	130
(1) 冬期湛水の考え方	(2) 栽植密度設定の留意事項	131
(2) 冬期湛水の方法と留意事項	7. 病害虫防除技術	
7) 排水対策	1) 主な虫害の発生生態と対策	132
(1) 排水・保水対策の考え方	(1) イネミズゾウムシ	132
(2) 排水対策の方法と留意事項	(2) カメムシ類	133
4. 施肥管理技術	(3) トビイロウンカ	137
1) 水稻の養分吸収の特徴	(4) コブノメイガ（別名：ハマキムシ）	138
2) 有機物施用と養分管理	(5) フタオビコヤガ	139
(1) 堆肥の肥効率	2) 主な病害の発生生態と対策	140
(2) 土壌診断と養分バランスの是正	(1) いもち病	140
(3) 追肥の基準	(2) 苗立枯病	142
3) 有機栽培で利用される肥料等の特性	(3) 紋枯病	143

1. 品種の選択と採種

1) 品種の選択

(1) 品種選択と早晚性

有機稲作では、風土に適した品種の栽培が前提となり、出穂期や成熟期を基準にして、気象災害を避け生産力の安定する品種を選ぶ。初期生育が不十分なまま出穂する品種は、単収も品質も低下しやすい。気候が順調であれば、地域の日照や地力を最大限利用できる中晩生種～晩生種の生産力が高い（「有機稲作の基本技術」図Ⅰ－5参照）。しかし、収穫期の台風、秋雨による倒伏や排水不良、あるいは降霜による登熟不良など、晩生種には一定のリスクが伴う。従って、一般的には都道府県毎に定めている奨励品種の中で同じ気象条件の指定地域の中から、中生～中晩生品種を選択する。

同じ品種でも、栽培地が違えば早晚性の分類は異なる。例えば、高品質米とされる「コシヒカリ」は広域適性が高い品種で、多くの府県で奨励品種に指定されているが、寒冷地では中～晩生に分類され（表Ⅱ－1）、中間地～温暖地では早生～極早生に分類されている（表Ⅱ－2）。ここでいう中生種の位置づけは、過去の長期にわたる標準的な作付時期を基準にして、気象災害を回避し安定して栽培出来る出穂期や成熟期を基本として決められた適期栽培を可能とする品種群を指す。古くから地域の基準となっている中生種は、概ね少肥適応性を持ち、地力を主体として利用する有機栽培で籾数が多く単収も高くなりやすい。

なお、有機栽培でも作付けの多い「コシヒカリ」は、いくつかの点で有機栽培に適した特性をもっている。その一つは、古い時代の育成の選抜条件となった少肥適性や耐冷性がある。さらに、穂数よりも穂の重さで収量が増える穂重型に近い中間型であり、地力窒素の発現時期に1穂当たり籾数を増やせる出穂以降の活性が高い特性がある。これらは有機栽培に適した特性といえる。

品種選択のポイントは以下の通りである。

- i. 有機稲作では、風土に適した品種を、出穂期や成熟期を第一の基準にして、都道府県ごとに定められた奨励品種で、同じ気象条件の指定地域の中から、中生～中晩生を選択する。
- ii. 気候が順調な豊作年であれば、中晩生種～晩生種の生産力が高い。
- iii. 偏穂重～穂重型が、地力を有効に利用して収量が高くなりやすい。
- iv. 早生、極早生品種で穂数型タイプの草型や耐倒伏性の高い品種は適していないことが多い。
- v. 穂数型品種は草丈が短く分けつが増え、多肥で収量が増加する。有機質肥料で初期生育が抑えられると能力が発揮出来ないの、草丈が高い品種の方が有機栽培に適している。
- vi. 広域適応性のある「コシヒカリ」は耐寒性が高く、中生に分類される地域の有機栽培に適している。

(2) 早晚性における中生種の位置づけ

近年、慣行稲作では農薬や化学肥料の使用量が減少傾向にあり、以前とは栽培方法が変化している。また、乳苗や稚苗を利用し除草剤で雑草害を抑えるとともに、化学肥料で地力不足を補えるので作付時期が前進し早生品種が増加している。にもかかわらず、早晚性の分類基準はあまり変わっておらず、過去の品種の出穂期や成熟期を元に新品種の特性を明らかにする奨励品種の判定基準になっている。

有機栽培では、少し生育時期がずれるが、標準品種は水稻栽培の歴史を反映しており、早晚性における中生種の位置づけは、過去の標準的な作付時期を基準にしており、基準となる奨励品種のデータは有機栽培の栽培基準として役に立つ。また、基準となる中生種は施肥に依存しない少肥適応性を持ち、地力を主体として利用する水稻栽培に向いている。

(3) 品種選択の留意事項

草型を基準にするのは、地力の発現量（ソース）

表Ⅱ－１ 特性表からみたコシヒカリあるいは中生品種の産地別扱い

県	場所	品種	栽培型	早晩生	播種	田植	出穂	成熟期	中～中晩	区分※
北海道	道央以南	きらら 397	普通	中の早	4/21	5/22	8/1	9/15	彩	寒地
青森	津軽中央	つがるロマン	普通	中の中	4/10	5/16	8/2	9/16		寒地
岩手	県中部平坦	あきたこまち	稚苗	中の早	4/20	5/15	8/4	9/17		寒冷地
秋田	平坦部	あきたこまち	普通	早の晩	4/12	5/16	8/2	9/16		寒冷地
	海岸平坦	ひとめぼれ	普通	中の晩	4/12	5/16	8/7	9/22		
山形	平坦	コシヒカリ	普通	晩	4/21	5/16	8/16	10/3	はえぬき	寒冷地
宮城	南部平坦地	コシヒカリ	普通	極晩	4/18	5/10	8/17	9/30	ひとめぼれ	寒冷地
福島	平坦	コシヒカリ	普通	中の晩	4/26	5/20	8/18	10/4		寒冷地
茨城	全域	コシヒカリ	早植え	中	4/15	5/7	7/28	9/5		中間地
栃木	全域	コシヒカリ	早植え	早の晩	4/15	5/15	7/30	9/14		中間地
群馬	標高 200～500	コシヒカリ	早植え	中の早	4/19	5/20	8/9	9/23		中間地
		コシヒカリ	普通	中の早	5/9	6/2	8/11	9/22		中間地
埼玉	県南東部早期早	コシヒカリ	早期	中の早	4/25	5/14	8/1	9/14		中間地
	植え	コシヒカリ	普通	中の早	5/29	6/22	8/20	10/9		中間地
千葉	全域	コシヒカリ	普通	早の晩	4/5	4/26	7/29	9/7		中間地
東京	平坦	コシヒカリ	普通	早	5/18	6/15	8/21	10/6		中間地
神奈川	全域	コシヒカリ	普通	早	5/18	6/8	8/16	9/24		中間地
山梨	400～700	コシヒカリ	普通	中	5/1	6/2	8/6	9/12		寒冷地
長野	700m 以下	コシヒカリ	普通	中の中	4/19	5/19	8/6	9/20		寒冷地
新潟	平坦中山間	コシヒカリ	普通	中	4/10	5/10	7/31	9/6		寒冷地
富山	平坦	コシヒカリ	普通	中	3/28	4/23	7/29	9/5		寒冷地
石川	平坦	コシヒカリ	普通	中	4/14	5/10	8/4	9/12		寒冷地
福井	平坦	コシヒカリ	普通	中	4/6	4/26	7/24	8/30	あさひの夢	寒冷地
岐阜	全域	コシヒカリ	普通	早の中	4/20	5/10	7/30	9/1	あいちのかおり SBL	中間地
静岡	高冷地	コシヒカリ	普通	早	5/11	6/1	8/9	9/13		中間地
	平坦排水良好	コシヒカリ	早期	早	4/17	5/12	8/9	9/22		中間地
愛知	平坦部	コシヒカリ	早期	極早	3/30	4/28	7/25	8/30		暖地
三重	全域	コシヒカリ	早期	早	4/5	4/25	7/22	8/27	日本晴れ	中間地
滋賀	平坦～中山間	コシヒカリ	早植え	早	4/9	5/9	7/21	8/25	祭り晴れ	中間地
京都	平坦～中山間	コシヒカリ	早期	早	5/3	5/23	8/2	9/6		中間地

(農林水産省生産局、平成15年版推奨品種決定特性表から作表)

注:区分※はコシヒカリが栽培出来ないか普通期中生～晩生分類を寒冷地、コシヒカリが早期早生・普通期早生～早植え中生を中間地、コシヒカリが早期の極早生(早の早)・普通期極早を暖地、ただし、冬期積雪地域を除く。コシヒカリ作付けの場所が山間部、早期地帯など限定される場合は、全県下を対象に区分した。

と、それに応じて生長する生育量(シンク)との関係を一致させることを狙いとしている。地温(地力窒素発現の有効温度15℃)に制限される地力ソースは、生育初期に増加する茎の数に比べ、盛夏に増加する穂の重さを増大するシンクが有効に利用できる。つまり、地力が発現する時期に茎の数が増加し、穂が重くなる偏穂重～穂重型のシンクを持つ品種が地力を有効に利用し、収量を高めやすい。

穂数型品種は初期に多くの肥料で分けつが増え収量を増加するが、分けつが不足すると草丈が短く小さくなることで、葉内の窒素濃度が高くなり、病虫害が増えて健全な生育が出来ない。

地力発現の下限温度は、稲作の栽培可能期間の大まかな目安である最低気温15℃とも一致する。寒冷地や早期栽培では特に留意する必要があるが、地力発現の少ない時期の生育を順調にするためには、耐寒性が高く、草丈が高く穂が重くな

表Ⅱ-2 特性表からみたコシヒカリあるいは中生品種の産地別扱い（続き）

県	場所	品種	栽培型	早晩生	播種	田植	出穂	成熟期	中～中晩	区分※
大阪		ヒノヒカリ	普通	中	5/18	6/7	8/26	10/14		暖地
兵庫	北部・中山間早どり	コシヒカリ	準早期/短期	極早の晩	5/10	5/31	8/6	9/12	ヒノヒカリ	暖地
奈良	山間部	コシヒカリ	普通	早の早	4/6	5/12	7/28	9/3	日本晴れ	中間地
和歌山	平坦	コシヒカリ	普通	極早	5/28	6/18	8/14	9/21	日本晴れ	暖地
鳥取	中山間～平坦	コシヒカリ	普通	早の中	4/29	5/21	8/4	9/18	改良雄町	中間地
島根	全域	コシヒカリ	早期	極早	4/16	5/7	7/29	9/7	ヒノヒカリ	中間地
岡山	中北部	コシヒカリ	普通期	早の早	5/11	5/31	8/3	9/15	ヒノヒカリ	中間地
広島	500m 以下	コシヒカリ	普通期	早	5/7	5/30	8/10	9/17	ヒノヒカリ	中間地
山口	山間～早植	コシヒカリ	普通期	早の早	4/24	5/15	7/26	8/31	日本晴れ	中間地
徳島	早期地帯	コシヒカリ	早期	早の晩	4/5	4/25	7/14	8/19	ヒノヒカリ	暖地
香川	全域	コシヒカリ	早短期	早	5/28	6/17	8/16	9/22	ヒノヒカリ	暖地
愛媛	中山間	コシヒカリ	早期	極早生	4/6	4/27	7/17	8/22		暖地
	平坦地	コシヒカリ	早期	早の晩	3/22	4/15	7/1	8/3	農林 22 号	
高知	平坦～中山間	コシヒカリ	普通期	早の晩	5/6	5/26	7/31	9/2		暖地
	跡作・晩期	たまひめもち	晩期	晩	7/3	8/11	9/20	11/24	ヒノヒカリ	
福岡	早場米	コシヒカリ	早期	極早	3/25	4/25	7/13	8/16		暖地
	海岸	コシヒカリ	早期	早の早	3/14	4/22	7/16	8/17		
佐賀	平坦極早期	コシヒカリ	早植え	早の早	4/13	5/22	7/29	9/8	ヒノヒカリ	暖地
	中山間	コシヒカリ	普通期	早の早	5/17	6/18	8/11	9/12	ヒノヒカリ	
長崎	早期栽培地帯	コシヒカリ	早期	早の早	3/30	4/24	7/8	8/10	森のくまさん	暖地
	海岸島しょ	コシヒカリ	早期	早	3/26	4/21	7/10	8/12	ヒノヒカリ	
熊本	高冷地	コシヒカリ	普通期	早	4/30	5/21	8/9	9/22		暖地
	晩期地帯	バンバンザイ	晩期	中	6/14	7/12	9/5	10/20		
大分	600m 以上普通	コシヒカリ	普通期	極早	4/15	5/7	7/31	9/10	ヒノヒカリ	暖地
	300m 以下早植	コシヒカリ	早植え	極早	3/8	4/5	7/11	8/13	ヒノヒカリ	
宮崎	早期地帯	コシヒカリ	早期	早	2/23	3/23	6/22	7/25	サイワイモチ	暖地
鹿児島	全域	コシヒカリ	早期	中	3/15	4/6	6/27	7/29		暖地
沖縄		ひとめぼれ	一期	早	2/15	3/10	5/22	6/24		
		ひとめぼれ	二期	早	7/25	8/5	9/24	10/30		

（農林水産省生産局、平成15年版推奨品種決定特性表から作表）

注：区分※はコシヒカリが栽培出来ないか普通期中生～晩生分類を寒冷地、コシヒカリが早期早生・普通期早生～早植え中生を中間地、コシヒカリが早期の極早生（早の早）・普通期極早を暖地、ただし、冬期積雪地域を除く。コシヒカリ作付けの場所が山間部、早期地帯など限定される場合は、全県下を対象に区分した。

るほど適しており、短稈で穂数型の耐肥性や耐倒伏性の高い品種は適さないものが多い。

また、多くの有機質肥料は化学肥料に比べ遅効性であり、初期の栄養生長が制限されやすく、慣行栽培に比べて茎数と穂数の不足を招きやすい。そういう観点からも、早生種は有機栽培に向かない。ただし、病虫害や気象災害の回避や、雑草問題解決のために早生種を早期作付けすることが有利な場合もある。そのため、地力などの

栽培条件を基に、中生種を利用する基準や総合的な判断に基づいて、品種と栽培法の最適な組合せを選択する。

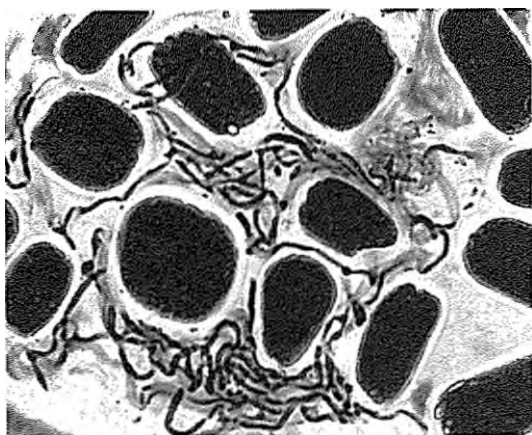
2) 種子の更新

有機栽培に用いる種苗は、健全な種子を用いて病虫害の発生のない種子を採取して、育苗した苗を利用する。有機JAS規格では、「原則として、有機農産物の生産の方法の基準に適合する種苗

を使用すること」などを定めており、基本的にはそのような種苗が市販されていないことから、可能な限りの自家採種、自家育苗が求められる。また、有機JAS規格には、「ただし、通常の方法により入手が困難な場合には、使用禁止資材を使用されずに生産されたもの（薬剤で未処理のもの）を使用する。それも困難な場合には、一般の種苗を使用しても良いが、その場合、種子から使用するものは種子から、苗の場合は最も若齢の苗を使用すること」が特例として定められており、販売・流通する種苗の状況によっては、種子として適した栽培と採種方法をとる必要がある。

種子栽培は通常の食用栽培に加えて、種子としての健全性を保つため、罹病の機会を限りなく零に近づける必要がある。さらに、自然交雑などの影響に配慮して品種の特性を維持しつつ、病虫害の発生のない籾を厳選して利用する。種採り場としては、地力の高い水田で基肥を減らし、雑草害や病虫害の発生が少ない圃場を選び、できるだけ追肥を行わない栽培で、異品種が混入した場合には株毎取り除き、自然交雑種や異系統を取り除き品種特性を維持する必要がある。

一方で、外観や品質特性の異なる交雑が発生した場合には、それを採種して自生を繰り返すと新品種の育成も出来る。ただし、品種固定には10回ほどの選抜採種が必要であり、購入品種の



図Ⅱ－１ エンドファイトの菌糸
(ペレニアルライグラス種子) (宮崎 2011)

注：湖粉細胞の間隙に糸くずのように見えるのが
エンドファイト

特性を維持する以上に厳密な保存や選別管理が必要であるが、採種圃場を決めて有機栽培による自家採種を進める方法もある。

イネ科種子の共生微生物が遺伝的な形質発現に影響することが知られている（図Ⅱ－1）。また、有機栽培の継続によって生産される種子には、細胞内や表面に共生する微生物の窒素固定活性が高かったり（平野ら2001）、放線菌などの病害抑制活性が高い菌が多い（安藤・高橋2011）など、有用な共生微生物の影響が現れることも報告されており、採種環境を有機的に管理することが有益な場合が認められている。その意味で、多少の異系混入を犠牲にしても、生態的に安定した種子の利用を優先する方が効果的と判断される場合は、採種圃場を決めて、品種特性が崩れないように自家採種を行うことも1つの選択肢となる。

2. 育苗技術

1) 播種までの準備

有機栽培向けの育苗技術はまだ開発途上にあるが、本項では失敗しやすい低温期の育苗と、有機育苗で難しいマット苗の中苗育苗を中心に、育苗用土の配合や資材の利用について解説する。

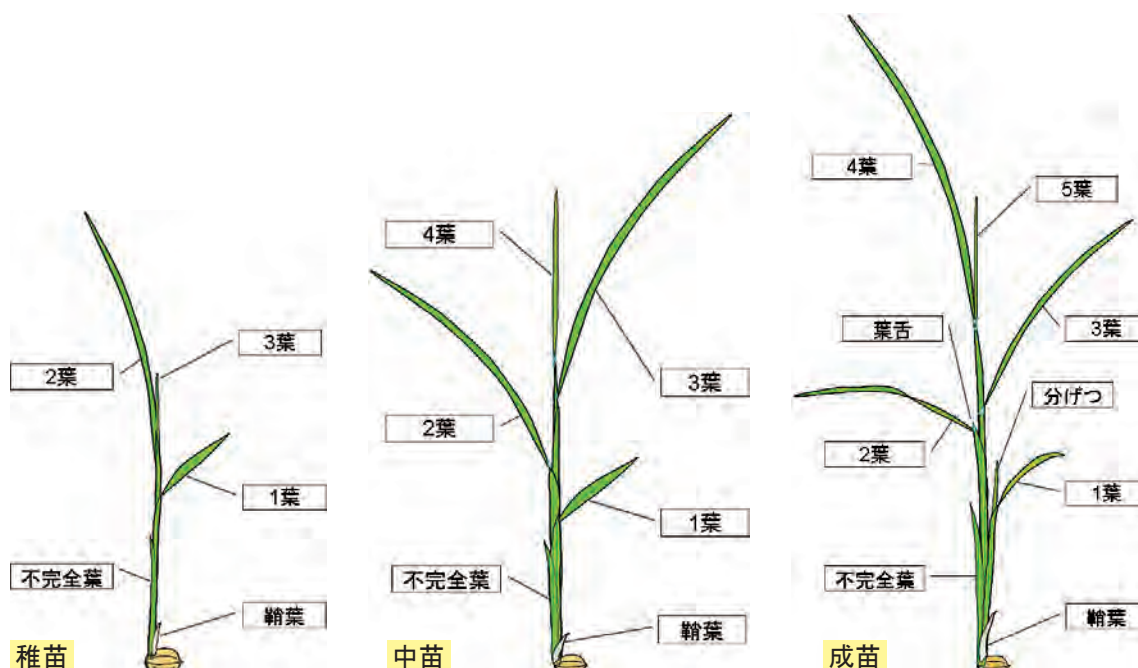
また、本田での稲の健全な生育には根張りが重要であるが、田植機に適した健全な苗姿は根張りを抑えて地上部を充実させる必要があり、養分を十分に供給することで、そうした育苗が可能になる。本来の稲の幼植物の能力を抑え、田植え以降の活着や健全な生育を優先した特殊な生育状況が求められる。

本項では、平箱で育苗した合理的な生育姿を目標に、播種量を160g（稚苗）、80g（中苗）、40g（成苗）とした時の苗の姿を、図Ⅱ－2を目安に生育させる目標におく。

(1) 種籾の調整・消毒・準備

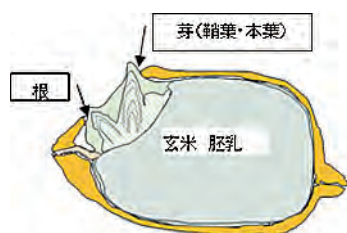
①種籾予措の考え方

縦目篩いや比重選によって充実した種籾を選び、種播きまでに種子重量の25%の吸水を行い、



図Ⅱ－２ 平箱（マット苗）育苗による有機苗の目標草姿と葉齢等の数え方

注：不完全葉は本葉とせずに葉齢を数える。



図Ⅱ－３ 鳩胸状態の断面図

胚芽が1mm程度に膨らんだ種子（鳩胸状態：図Ⅱ－３）を準備する。この行程を予措（よそ）と呼び、水稻の通常の播種技術の一部である。この段階は、病原菌の繁殖にも好都合な条件になるので、慣行栽培では殺菌を行う。有機栽培では自家採種の種子を使うことが多く、種籾の収穫調製段階から病原菌の繁殖には注意する。相対湿度が70%を超えると病気の発生や種の質が低下するので留意する。

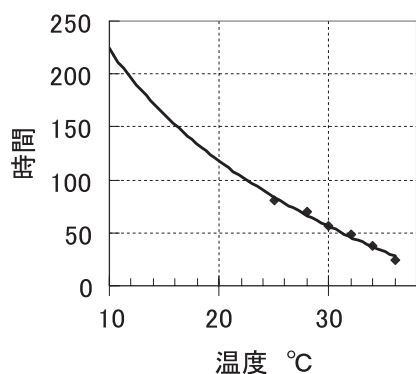
収穫後の乾燥の基準である籾水分15%は、品質を保持し、病原菌や害虫の繁殖を抑える保管の基準であるが、種子が休眠して発芽を抑え品質（生命力）を、室温で2～3年保つ基準である。通常は一定の温度を保った冷蔵保存をするが、種子の寿命の観点からは、さらに低湿度、低温（冷凍）での保管の方がよい。

②吸水から催芽の温度

籾重量に対し吸水で25～35%増加するが、15%の吸水で胚が動き始め、25%の吸水で発芽可能となる。発芽可能温度は10～45℃の範囲内で、低温でも数日かければ発芽し、吸水から鳩胸状態までに平均温度の日積算温度で100日℃（2400時℃）かかる。発芽を揃えるため低温で充分吸水させる（70～75日℃経過）。目安として吸水の段階では10℃前後の低い温度で7日間、15℃で5日を超えないように、発芽直前の状態にした後100日℃の残りで発芽を揃わせ、25～30℃の最適温度で1日（24時間）温度を加えるのが、最適な催芽行程となる（図Ⅱ－4）。

③予措までの病気予防対策

有機育苗では種子伝染性病害のうち、いもち病を除き、ムレ苗症状を起こす苗立枯病が最も問題となり、次いでばか苗病の抑制が重要で、その他の慣行栽培の育苗で防除対象となる病害は、あまり問題視されていない。保菌籾が混入すると、予措の段階で急激に繁殖し発病しやすいので、予措や出芽までの不安定な時期はできるだけ短期間に終らせるか、清潔な環境（清流の利用など）で行う必要がある。



図Ⅱ－４ 吸水状態での温度と発芽までの時間
(松尾 1956 から作図)

育苗段階では病原菌が増えないように健全な環境を維持することが大事で、表Ⅱ－3にばか苗病に対する化学的殺菌の代替法を示しているが、未殺菌で育苗を行う有機育苗では、乾熱や温湯による殺菌効果は認められるものの、生育の改善効果はほとんどない（阿部ら 2009）。そこで、健全な育苗環境や床土により、多様な微生物が病原菌の密度や活動を低下させるように心掛け、有機 JAS で許容されるトリコデルマ剤もあるが、種子消毒は病気蔓延後の補完的な対処法として考えておきたい。従って、床土材料の微生物性にも留意して、病原菌密度を増加させないことが重要である。

（2）種子消毒の仕方

①健全な種子確保と塩水選

有機稲作では自家採種をする場合が多いが、病気がない健全な種籾の採種を心掛ける。このため、通常の栽培に比べ疎植にし、ケイ酸不足が起きないようにして病虫害の発生を避け、籾の充実度を高める。また、脱穀時に籾が傷つくと保管の際にカビが侵入するので、種籾の収穫調製作業は丁寧に行う。

自家採種を行った種籾は風選で調整し、米選機などの網目篩（2.2mm）で篩い分けする。網目篩いでほとんど選別できるが、さらに塩水選で沈下した種籾を洗浄し水気をきる。塩水には市販の食塩を使用し、比重 1.13（粳用）の塩水は水 18L に対し食塩 4.8kg を目安に溶かして作る。実際には、比重計で正確に計る。

より充実度を高めるには、比重 1.15 が良いという意見もある。充実した種籾ほど発芽後の生育が良好で、種由来の養分も多くなるので離乳期の段階では特に生育に差が付きやすい。だが、充実した種籾ほど吸水に時間がかかり、瘠せた籾は短い時間で発芽するので、催芽を揃える意味で種子選別程度に留意し、吸水方法を合わせる。

表Ⅱ－3 有機育苗におけるばか苗と生育に及ぼす籾殻と種子に対する殺菌処理の効果（阿部ら 2009）

要因	処理	乾物重(mg 本)	草丈(cm)	葉齢	健全苗率	徒長苗率	苗枯死亡率
対照（生粉碎籾殻、無消毒種子）		37.8	16.3	3.8	94.7	2.2	2.4
	生粉碎	36.6	15.9	3.7 b	94.2 b	2.9 a	2.0 a
	乾熱粉碎	34.0	15.4	3.7ab	98.0 a	1.1 b	0.5 b
床土籾殻処理(A)	くん炭	35.2	15.2	3.8 a	97.8 a	1.2 b	0.6 b
	無消毒	35.5	15.5	3.8	96.7ab	1.6ab	1.3 a
	温湯消毒	35.3	15.4	3.7	97.6 a	1.2 b	0.6 b
種子処理(B)	トリコデルマ	35.1	15.6	3.7	95.6 b	2.4 a	1.2 a
	もみ殻処理(A)	0.377	0.064	0.015	0.000	0.001	0.000
危険率 p	種子処理(B)	0.978	0.812	0.228	0.013	0.039	0.002
	(A)*(B)	0.859	0.408	0.025	0.842	0.665	0.049

注1:1箱当たり催芽籾 90g 播種。平箱 3 連。2008 年 4 月 15 日に加温出芽させ、緑化期まで太陽シートで被覆後プール育苗として、フィッシュソリブル（T-N6%）を 50 倍に希釈して 7 回、合計 T-N で 2.3g/N 相当を散布した。危険率 p は分散分析による。

注2:処理 A は、床土に前年有機稲作田から収穫した籾殻を 2mm 目のワイレーミルで粉碎した生粉碎と、105℃、48 時間で乾熱処理とした。燐炭は粉碎せず燐炭化し灰分を水洗した。無肥料粒状土と同容量で混合して箱詰めし、無肥料粒状土で覆土した。

注3:処理 B は、温湯処理は 60℃10 分、水温 10～12℃で 6 日間浸種後、29℃で催芽し、トリコデルマは浸種開始時に処理した。

②温湯消毒

温湯消毒は古くからある技術で、ばか苗病やいもち病などの種子伝染性病害全般に効果がある。小規模な場合には家庭の風呂場を利用してもいいが、温度制御が難しく失敗の原因になる。また、高温すぎると発芽率が落ち、低温では十分な殺菌効果が得られない。正しい温度計を使い発芽率を保持するか、農家個々でも利用できる専用の温湯処理装置（写真Ⅱ－1）が市販されているので利用する。近年では環境保全型農業の一環で種子の殺菌剤消毒を廃止し、JAやカントリーエレベーター利用の単位で温湯消毒器の導入が進んでいるので、JAS有機の種籾供給先としての連携体制の構築が望まれる。

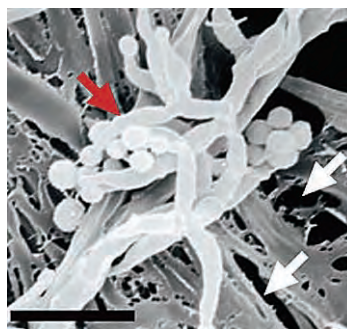
塩水選後1時間以内、あるいは風乾後に温湯60℃で10分もしくは58℃で20分間の温湯に浸ける。温湯後はただちに流水などで熱をとれば、90%程度の発芽率を保ち病害（ばか苗・いもち・苗立枯細菌病）の抑制効果がある（井上2005）。

③微生物による種子消毒

有機JAS許容農薬である微生物農薬として、浸種時にトリコデルマ（商品名エコホープ）液に浸し、ばか苗病の予防ができる。床土表面に緑色の苔様のものが発生すると病害抑制効果がある。トリコデルマの菌糸がばか苗菌に接触して、溶解することで制菌作用を示す（写真Ⅱ－2）。浸種後積算100～120℃日で水分25%まで吸水し鳩胸状態になる。浸種水は更新し、低温（目標10℃以下）



写真Ⅱ－1 温湯消毒器（催芽器兼用タイプ）
（(株)タイガーカワシマHP）



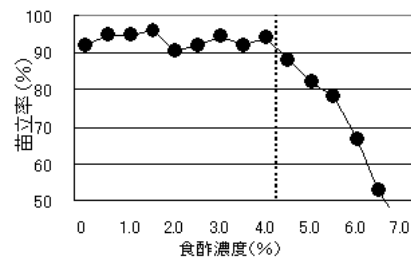
写真Ⅱ－2 トリコデルマと溶解するばか苗菌
（barは10 μm）（クミアイ化学工業(株)HP）

で吸水を完了させる。吸水後28～30℃で催芽する。鳩胸状態になれば播種日まで冷蔵保存する。

④催芽時の酢による制菌作用の利用

温湯処理（60℃、10分）済みの種籾を、2.5%の食酢液中で32℃、24時間浸漬催芽することにより、水稻の各種種子伝染性病害を防除でき、イネ褐条病に対して卓効がある（関原・向畠2005）。富山県の関原らは、一部地域で普及してきている温湯処理が、細菌性病害に対して保菌率が高い場合に効力不足な事例があり、特にイネ褐条病に防除効果が低いことから、「食酢」の催芽時併用処理法を開発した（図Ⅱ－5）。本法を利用する際の留意点は以下の通りである。

- 減農薬栽培等を志向する農業者での防除対策に活用できる。
- 食酢は市販の穀物醸造酢（酸度4.2%、うち酢酸成分約80%）を使用する。
- 種籾に付着する食酢液は催芽後洗い流す必要はなく、そのまま播種できる。
- 食酢処理後の廃液はpHを重曹で中性とする



図Ⅱ－5 催芽時における食酢濃度と苗立率の関係（富山県2005年）

注：温湯処理（60℃ 10分）後に催芽処理（32℃ 24時間）し、搬出11日後に調査。供試品種は「コシヒカリ」。

などの処理をして排出する。

(3) 育苗用土の準備

有機JASに適合した育苗用土の市販も一部で始まっているが、品質保持の関係で受注製造であったり、供給地が限られているなどの問題がある。そこで、市販の培土利用や自作培土製造に当たっでの留意点を提示する。

①市販の無肥料培土を原土として利用する場合

育苗用の床土として、通常市販されている無肥料培土が有機栽培でも使える。これは、土壌を乾燥して回転篩でゴミを取り除く関係で、滅菌された粒状の形態になっている。採取地が山であるため、古くは山土と呼ばれ、製法上焼き土や無肥料培土と呼ばれる。

用土の材料になる原土は、乾熱した粒状の山土（褐色森林土）で有機物が混ざっていない心土が良い。酸性で養分供給力が高いことが一般的な用土の条件であるが、無肥料床土を購入する場合でも、メーカーにより採取地が異なり、用土の特性も大きく異なる。比較的新しい地層の、例えば黒ボク土の心土を採取すると、養分が少なく生育は劣るが、病気は予防できる。一般に硫酸を使って原土のpHを5.0以下にして、苗立ち枯れを抑えている。有機栽培では有機JAS許容資材である硫黄粉末が利用できる。

病気の予防には土のpHが4.5～5.5が良く、乾熱で雑草種子や病原菌密度を低くすることで安全となる。この販売原土に施肥をして用いるが、保肥力は低く、水溶性の養分が過剰になる場合が多く、ECが高くなり発芽や根伸びを抑えやすいので注意する。育苗箱に2cm厚に土を入れ、水1.5Lを灌水後12秒以下で水位が2mm以下になる透水性が望ましい。透水性改善に必要な堆肥、ピートモス、燐炭を加えて利用する場合にはpHが高くなるので注意する。

②有機育苗に向けた用土（原土）作り

通常の土づくりの延長線上で、自家の畑や水田で肥沃な土づくりを行い、そこから採土して有機質肥料を混合して熟成させ、水分や粒度を調整し

て育苗用土を自家で製造する方が、手間はかかるが有機育苗が安定して行える。

生物活性を高めて病害抑制を図る視点から、床土を酸性や無菌状況にしない病害抑制法もある。山土の中でも、風乾させボロボロと崩れる三紀土という比較的古い地層の土壌は、有機育苗に適するとされている。窒素含量が低く分解しにくい籾殻粉碎物は、育苗用土に混合する資材として有用である。籾殻粉碎物はくん炭、水苔（ピートモス）とともに、透水性を改良し保肥力を高める。また、床土の有効態ケイ酸濃度を高めると、水稻の耐病性を高める。苗のケイ酸含有率を移植時点で5%にすれば、育苗中も本田でもいもち病の予防に有効であるとされている（荒井2005）。

なお、鋸屑を利用したキノコの廃菌床や、広葉樹を原木とした椎茸採取後の廃ホダ木を1年以上堆肥化した資材は、pH4程度と酸性が強く、用土に混合する透水性改善の材料として適している。

有機質肥料を土に混合して分解が進み熟成した良質な用土になるまでに、およそ半年、20℃で150日（積算温度3000日℃）程度かかる。堆肥化による発熱で分解期間は短縮するが、土壌の団粒化など物理性の改善には半年以上の熟成期間が必要である。有機物の無機化で発現したアンモニアが酸化されて硝酸態に変わるとpHは低下するが、その途中N₂Oとして逃げ、硝酸態として水に溶け出して損失しやすい。

表Ⅱ-4に床土の良否を判定するチェックポイントを示す。

(4) ムレ苗の発生と有機質肥料の関係

①育苗時の有機質肥料の留意点

自作用土の原料とする水田や畑の表土には、有機質肥料や有機物を混和しなくても様々な有機物が含まれているため、土を播種箱に詰めて出芽機に入れ、発芽に適した水分で30℃以上の温度条件下に置くと、土壌中の有機物が分解を始める。また、播種前の用土に有機質肥料を混合すると急激に分解して発芽障害を起こすので、育苗前に熟成期間を設け、混合後150～600日℃の急激に

表Ⅱ－４ 床土の良否を判定するチェックポイント

項 目	条 件	測定方法など
1 pH(H ₂ O)	4.5～5.5	水:土の重量比 5:1 で振とう 30 分後
2 吸水速度	6.0×10 ⁻² cm/sec 以上 (右の測定方法で12秒以下)	灌水前の床土を育苗箱に 2cm の厚さに入れ、1500ml 灌水後水位が 0.2cm 以下になるのに要する秒数を測定する
3 最大容水量	50%以上	ヒルガード法(重量)
4 透水係数	10 ⁻³ cm/sec 以上	定水位法
5 水分	10～30%	最大容水量に対する百分率
6 出芽率		鳩胸率 70%以上催芽させた種籾を播種し、32℃48 時間後の出芽率
7 根上がり率	10%以下 20%以下	覆土前に望ましい灌水量を灌水し棚置き出芽での成績 覆土前に望ましい灌水量の 8 割を灌水し棚置き出芽での成績
8 苗立ち枯れ病発生程度	直径 2cm 以上のパッチ状の枯れ面積が箱の 5%以上を占める育苗箱が総育苗箱数の 10%以内	消毒済みの樹脂製の箱を使い新聞紙を敷かず土詰めし出芽機で出芽させ、農薬を使わず管理して、播種後 10 日目の苗立ち枯れの発生程度を観察する
9 根張り		床土を 2cm の厚さに入れ育苗し、田植え前にマットを巻いて(ロール試験)観察する。
10 生育障害		観察で判定する。
11 欠株率	5%以下	通常の代かき状態の圃場で、農機具形式検査合格機を使用して、[埋没株率+浮苗株率+機械的欠株率]を測定する。
* EC	0.5～1.0mS/cm 以下	pH と同じ浸出法、根上がり率に関係する。出芽率 70%、根伸び率 30%以上。

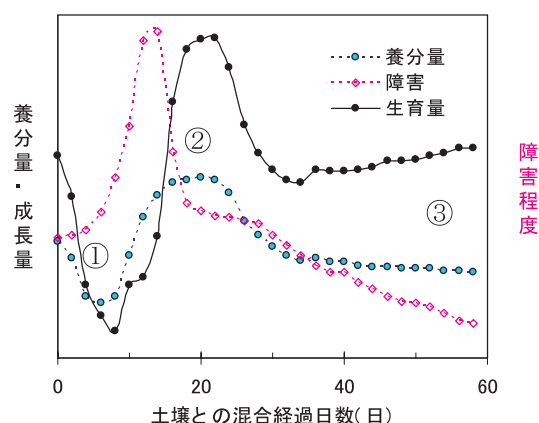
(長野県「Ⅱ水田編、水稻」『土づくりガイドブック』1983 を一部改変、*加筆)

分解する危険期を避ける。

有機物は、土壤水分が35%（飽和容水量の60～70%）前後の時に分解が速まり、温度は出芽に適した32℃で分解が早く、新鮮な有機物は土と混合後600日℃が発熱などの分解ピークとなる。温度10℃で60日かかり、30℃だと20日で分解のピークを迎え、稚苗の育苗日数に相当する。発芽期にこのような有機物の分解時に遭遇すると、出芽機内で発芽障害が起こり、籾が地表面に飛び出す根上がり現象が見られる。

有機物の分解は、温度だけでなく、水分管理や土の酸度などと密接に関連している。有機質肥料の蛋白質が分解してアンモニアが発現するが、湛水下では、分解が遅れ酸素不足で硝酸態窒素に変わりにくい。平均20℃で育苗した場合、最初、有機化による無機態窒素が減少し（図Ⅱ－6の①の線）、その後養分を増やしながら発根や発芽を阻害しムレ苗の発生原因となる（図Ⅱ－6の②の線）。分解のピークを過ぎると障害発生は次第に抑えられるが、直前混合に比べ30日を経過しても生育が良くなるわけではない。長期熟成により土壌の団粒化が進むことで、徐々に苗の生育量が増加してくる（図Ⅱ－6の③の線）。

ボカシの分解と植物生育量イメージ



図Ⅱ－6 有機質資材混合後の生育と障害の状況
(岩石2003から作図)

②有機質肥料の分解に伴うムレ苗症状の発生

播種直前に有機質肥料を混合した場合、過湿条件下で30℃近くにして積み重ねて出芽させると、外側よりも中心部分の苗が酸欠や有機酸、アンモニアガスなどの障害を受け生育が遅れ、回復できずにムレ苗になる。出芽後から2葉展開までに湛水して過湿にすると、有機酸の代謝が進まず酸素不足が起こり障害が強く現れる。播種直前に有機質肥料を混合すると、3葉から4葉頃に分解のピークを終えるので、中苗の育苗では大きな影響を受ける。

有機質肥料を直前に施用する場合、土と均質に混ざりにくく、根傷みで水分吸収が阻害され、また、乾燥害も加わって部分的に肥料分が多く、生育が部分的に抑制されるムレ苗症状を助長する。土壌pHは分解により発生した有機酸がpHを下げ、無機化したアンモニアがpHを高め、さらに時間が経過して硝化が起ると再びpHは低下する。有機質肥料を混ぜてから硝酸が出るまでにかなり時間がかかるため、多くの有機質入り育苗用土のpHは高くなりやすく発病が助長される。

また、ムレ苗は寒地、寒冷地や低温期の育苗で、温度差の激しい管理を行うと発生しやすい。これは有機物分解の問題が低温期に起きやすいことと関係している。ムレ苗症状を起こしやすい離乳期の苗（2葉～3葉期）に11℃の低温処理を12日間与えて、根の生理活性について維持と回復程度を調べた結果、湛水に比べ湿潤（最大容水量の70%）な水分条件で活性が高く維持され、回復程度も大きかった（楊2002年）。つまり、過湿な条件は有機物分解に伴う障害を助長し、水分管理がムレ苗発生に強い影響を与える。

③ムレ苗の防止法

ムレ苗防止の最善策は、事前に用土の熟成期間を設け、安定した状態の用土を使うことである。有機物の分解にはpHが高い方が良く、肥料の分解を進めた後でpHを低下させても良いが、pHを最初から下げると分解が不十分な育苗用土になり問題を起こす。そこで、育苗用土の製造は、pHを上げる分解熟成段階と、pHを下げる2段階に分けて行う。播種前に箱土に混合できる有機物は、難分解のピートモスや籾殻粉碎物、籾殻くん炭などに限られる。あとは液肥の追肥により養分を補給する方が安全である。

米糠は分解中の障害が大きく、養分供給源としては窒素含量が高い魚粉などの方が安全である。米糠を使用する場合には、土と均等に混ぜにくいので、育苗する箱数分の米糠を全体の1～3割程度の原土に加えて前年から熟成させ、水分30%、温度20℃以上で50日間経過させることを2回以上繰り返し発酵させ、最後に全ての土を加

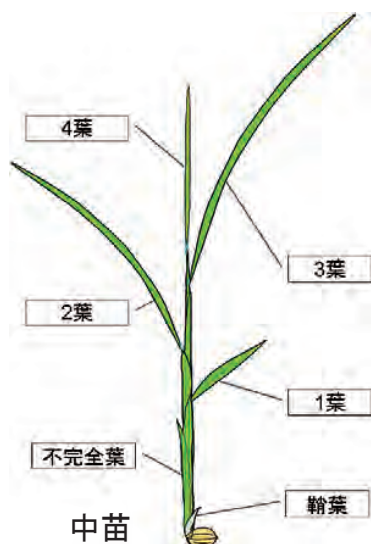
えて水分を調整しても再発酵しないことを確認しながら進める。長期熟成が必要なので、何らかの問題で発酵が途中で止まっていないかを見極めるため、菜種の発芽テスト等で障害の出ないことを確認する。事前の熟成は堆積温度と日数で計算できるが、乾燥などで分解が止まることもあり長期熟成に必要な、水分・温度環境を整える必要がある。

できれば箱土への有機質肥料の施肥やプール育苗をやめ、地床へ出根させる折衷方式に切り替える。地床へ出根させる折衷方式は、箱の下に床土に根を張らせるので、遮根シートは使わない。また、根を箱下の床土に伸ばせるので、育苗箱の用土に多くの肥料を必要とせず、有機質肥料分解による障害を回避できる。

次善の策としては、有機質肥料の混合を避けて、育苗箱の底にCN比の低い魚粉などを敷くように散布し、上から土を詰めて種籾を播種すれば障害は軽減する。湛水で分解を遅らせることも効果的なため、早めに湛水して急激な有機物分解を抑えて生育障害を抑える。しかし、苗の活性を高めるには湿潤状態が良く、中苗を育成するには3葉の離乳期の水管理（後述）が重要なポイントになる。

どうしても有機質肥料を利用する場合は、多量の粉体での混合は危険を伴うので、液肥資材を利用して追肥を行う。温暖地では中途半端に分解を進めるより播種直前に新鮮な有機質肥料を混合した方が、急激な分解による障害を避けられる。また、有機肥料の直前混合後に畑水分状態では分解が進み窒素の取込みが起き、また、カビが生え土が水をはじき保水力が低下するという問題が起こるので、むしろ、強制的に湛水するプール育苗でカビを抑え、急激な分解を抑制した方がよい。

箱育苗で5葉（成苗）までの均一な健苗を育てるには、播種量を乾燥籾40g以下に落とし欠株がでないように精密に播種し、箱下の床土に根を張らせたり、追肥をしたりする。3～4葉期に順調に出葉することを成功の目安にして、籾からの養分吸収が終わり土から養分吸収が順調に開始するように配慮して、老化を防ぐように養水分を供給する。分解のピークが過ぎ4葉の展開が停滞して老



図Ⅱ-7 中苗の目標草姿

(注) 3.4葉、苗丈14cm、1本当たり乾物重30mg、
N含有率2.6%

化が進むよりは3葉前の稚苗で移植した方が田植え後の生育は順調になる。

(5) 育苗における施肥量の目安と追肥

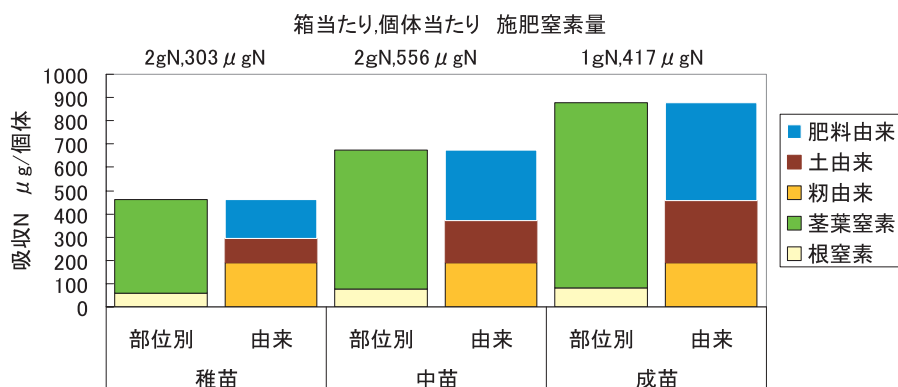
平箱1枚当たりの有機質肥料の施肥量の目安は、全窒素量で稚苗育苗で1.5g、中苗で2.5g、成苗で3.5g程度とする。プール育苗など床土の中へ根を伸ばせない育苗法では、4葉以上の苗を苗箱の用土で育てるには、1箱当たり有機質肥料の窒素施肥量は中苗で3g、成苗で4.5g程度の供給が適当である。窒素含量が2%の米糠を用土に使う時は、前年から土と混合し熟成させるが、1箱当たり150gの米糠（窒素3g相当）を熟成させると、良質の床土となる。

活着しやすさや田植機での植えやすさを考慮すると、根が多く張った黄色く硬い苗より、根が少なくかろうじてマットを形成する程度の青く柔らかい苗に分があり、窒素分の潤沢な供給が必要となる。稚苗ほど窒素含有率が高く葉色は濃く、苗が育つに従い漸次色が淡くなりやすい。もともと成苗が最も窒素含有率が低くなるが、1本当たりの窒素吸収量は成苗が稚苗の倍以上となる（図Ⅱ-8）。

有機質肥料の発酵障害を回避するためにも、出芽後の追肥技術が重視される。長期熟成させた培土が無い場合の次善の策として、追肥主体で養分を補う方が安全である。追肥にはボカシの浸出液（20倍の水で浸出する）や、アミノ酸態の液肥など速効性のものを使う。ボカシの場合の目安は、窒素5%程度でよく発酵したボカシ1kgを20Lの水に浸け、3～6時間浸出させると、1Lの溶液当たり1gの窒素が含まれる計算となる（加藤2003）。フィッシュソリブル（魚煮汁液）は漁港周辺で生産される優良な窒素肥料で、アミノ酸態で全窒素6%相当が含まれ、尿素に比べ水稻の生育が良好となる（岩石2003）。

地床へ出根させる方式であれば、特別に施肥をしなくても箱の外に根を伸ばすことで苗の生育には追肥的な効果をもたらす。この場合、苗の初期栄養は種籾から供給され、窒素肥料を追肥して箱下に根を伸ばす育苗方式の場合より肥料の必要量は低下する。

図Ⅱ-8の硫酸を施肥した試験結果によれば、籾からの窒素供給量は稚苗が41%、中苗が28%、



図Ⅱ-8 箱下に根を伸ばす育苗方式で吸収した窒素と由来（三枝1999から作図）

成苗が22%となっており、また、苗が大きくなるほど、土由来の窒素栄養の割合は増え、稚苗が23%、中苗が27%、成苗が30%となっている。この施肥（硫酸）由来の吸収窒素量と施肥量とを比べると、すべて施肥量が多くなっているが、田植機稲作で使われる育苗箱の中は、空間や養水分が限られ、苗が育つ限界が決まる。根が絡みあったルートマットができないと田植機に乗せられないが、田植機でうまく植えるには、根の絡み具合はほどほどが良く、根伸びが小さい苗の活着が勝る。窒素量だけでなく他の成分も含めて、田植えがしやすい苗姿を目指して、最適な追肥量を調整する。

2) 育苗法

(1) 有機育苗の方法

本項では、3.5葉以上の中苗育苗を目標にした用土の準備と、養分供給や病気の発生防止に関連した技術上の留意点を示す。

大きく健康な苗ほど、有機栽培での雑草制御や病虫害対策に有利であり、生育も安定する。初期除草を円滑に進めるには中苗以上が適しているが、中苗は老化苗となる危険性が高く、稚苗に比べより高度な技術が要求される。

育苗で重視すべき時期は、i)発芽から出芽揃い期、ii)2葉展開期（緑化期）、iii)4葉展開期である。特に、4葉の展開期は籾の胚乳養分が枯渇する離乳期に当たり、4葉目の展開が中苗以上の育苗で失敗と成功の分かれ目となる。

低温期の育苗を省力的に行える管理技術として考案されたハウス内でのプール育苗法は、保温と灌水が容易にできる有機栽培に有効な技術である。また、プール育苗は畑苗代と水苗代の長所を取り入れて技術化された折衷苗代の管理法にも通じるところが多く、各自の装備や環境に合わせて応用がきくが、そのことが中苗育苗での勘違いや失敗の原因になるので詳細に解説する。

①平置き出芽とプール育苗床の準備

置き床の準備として地面を水平にし、苗箱の搬入、搬出がしやすいように通路を確保しつつ、プール育苗床を準備する。厚めのポリ（農ポリ）や耐

水性シート（ブルーシート）の下に枠をあてて畦代わりにして、プールに水を貯められるようにする。

ハウス内のプール育苗は、寒冷地では湛水することで保温でき、生育停滞が置きにくい。ただし、置き床へ根を張らせられないので、育苗後半（3～5葉期）の養分をより多く補給する必要がある。また、水張りまでは温度や水分の変動が大きいので、出芽から緑化期の温度管理や水管理は、折衷苗代よりもていねいに管理する必要がある。

2～3葉期の低温を予防するため、平置き出芽では保温シートを取り除く時期を遅らせ、出芽機を利用した場合は緑化のできるシート（太陽シートなど）で保温を行う（写真Ⅱ-3）。

②播種量

稚苗植えの慣行栽培に比べ、有機栽培で進める中苗や成苗植えでは、箱当たり播種量が半分から4分の1と、薄播きになる。ただし、分けつ不足の水田では播種量や箱数を多くして、植込み苗を増やす。冷涼な地域の中苗育苗の例では、坪70株・1株苗数を3～5本を目標に、箱当たり籾100gの播種で10a当たり25箱を用意する（寒冷地では坪80株35箱）。通常中間地では坪60株・1株苗数2～3本を目標に、箱当たり籾80gで20箱とするが、温暖地で分けつ過剰の場合には、坪50株・1株苗数を1～2本を目標に籾40gの成苗植えで25箱を用意する。

播種量を少なくすることで、稚苗育苗（150g播種）に比べると、中成苗では植え込み本数が圧倒的に少なくなる（表Ⅱ-5）。ちなみに、ポット



写真Ⅱ-3 出芽・緑化(太陽シート)の状況

(提供：(財)自然農法センター)

育苗（みのる産業）の場合は、1ポット当たり3～4粒播種で1箱35g程度になる。1箱100gのすじ播き播種機で乾粒を精密に播種した場合でも、かき取りする粒は3～5粒が8割を占め、1～7粒まで数がばらついている（図Ⅱ－9）。苗立ち率が9～8割に低下すると、標準のかき取り幅では3本植えの割合が増加する。

③低温と過湿を避ける出芽から緑化までの管理

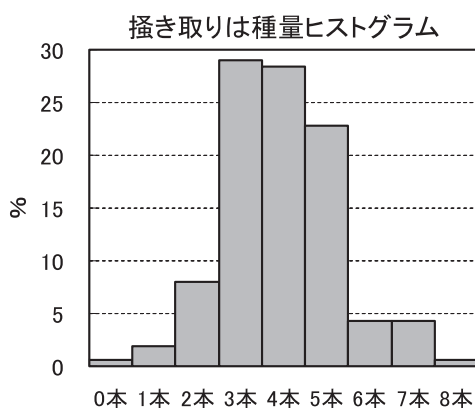
1.5葉期の緑化完了までは、適湿・適温管理を目標として、できるだけ速やかに終了する。温度の急激な変化を極力避け、乾燥させてはいけませんが、過湿が問題となるので、水管理に注意する。ブルーシートを貼ったプール育苗では、特に水が抜けないため過湿になりやすい。種播き後出芽までの灌水は、散水できる播種機では厳密に水量を調整し、手灌水の場合は箱の保水量（水はけ）を確認して、1箱当たり0.8～1.0L程度で緑化期までを経過させる。平置き出芽などで、出芽までに時間がかかり乾燥した場合でも、緑化終了までは

プールに湛水せず、前項の有機質肥料の影響を考慮して、水量をこまめに調節して手灌水で調整する。

低温期の育苗では加温出芽が必要で、ハウス内で苗箱を保温するなど、地域によっては2葉期まで加温する必要がある（写真Ⅱ－4）。太陽シートで無加温出芽する場合には、ハウス内を最高50℃程度まで上げることで苗箱が25～30℃近くになり、適温で無加温出芽ができるが、夜温の低下で1～2日のうちに出芽する加温出芽に比べて、4～7日程度の日数が必要となる。プールにして保温するのは、できれば1.5葉期を過ぎるのが良く、霜が降りるような地域（時期）では緑化が済んでも太陽シートなどの被覆で、1.5葉期まで長めに保温し、被覆を除くと同時に湛水して保温する。

④2～3葉期（離乳期）のプールの管理

緑化後、2葉展開始めから箱下まで湛水する（写真Ⅱ－5）。急激な高温や乾燥を避けるため風下側のハウスの片側を開けて管理するなどの工夫を



図Ⅱ－9 精密播種の1株粒数のバラツキ
（(財)自然農法センター元データから作図）



写真Ⅱ－4 スチームで加温する積み重ね出芽の状況
（提供：(財)自然農法センター）

表Ⅱ－5 寒冷地における播種量の目安と箱数に対する栽植密度及び株当たり本数

播種量(乾粒g)	種類	苗大	箱粒数※1	箱数/10a	m ² 栽植株数(坪)	株当本数※2
160	平箱	稚苗	6400	18	18(60)	6.4
120	平箱	中苗	4800	21	21(70)	4.8
80	平箱	中苗	3200	24	24(80)	3.2
40, (35)	平箱	成苗	1600	30	24(80)	2.0
〃	ポット(4)	成苗	1500	30	12(40)	3.5
20, (17)	ポット(2)	成苗	750	30	12(40)	1.7

注:※1; 千粒重乾粒 25g、催芽粒 30g とした。※2; 苗立ち率 100%とした。
（(財)自然農法センター元データによる）



写真Ⅱ－5 1.5葉期に入水を開始 プール育苗の水管理の状況

(提供：(財)自然農法センター)

し、高温時にはサイドのビニールを全開する。急激な高温や乾燥を避けるためハウス片側を解放し風が通り抜けないようにハウス内の温度を下げて調整する。灌水は午前中に行い、夕方萎れが起らないならそのまま経過させ、夕方に溢液がみられず乾燥する場合は日中や夕方でも灌水をする。

2葉展開始めからプールを湛水し、高温時にはサイドのビニールを全開する。最低10℃以下、最高38℃以上にならないように水を張り保温する。プールの水温が上がるまで朝方は温度を高める(35℃以上にしない)。以後水がなくなったら概ね3～7日おきに入水する。

ハウス内の温度と水温は外側は低く生育が遅れるので箱を移動して生育を揃え、箱下にダンボールなどを敷いて、箱の中央へ液肥を行き渡らせるなどの手当てを行う。3葉期までは夕方以降保温

し、朝方は湿度を高く暖かにして、午後は涼しく乾燥させるように管理する。

⑤ 3葉～5葉期の管理

苗は4.5葉で草丈15cm程度、基部から2葉の葉鞘までは4cm程度と短めにして太く育てる。4葉から下葉が黄化して老化しやすく、根が硬くなり植傷みが起こりやすくなる。また、4葉の展開が遅れて老化すると活着に日数がかかるため、老化前に田植えを行う必要がある。育苗期間は播種量と出芽までの温度経過により大きく異なるが、乾籾160g播種の稚苗で20～23日、80gの中苗で30～35日、40gの成苗で35～40日を目安とする。

4葉期からは徐々に外気の夜温に近づけて管理し、苗を順化する。寒冷地ではあまり必要はないが、温暖地では田植え前の1週間程度は外気に馴らす。また、田植え2日前頃には落水し、苗箱を軽くし運びやすくする。

(2) 有機育苗の苗質目標と留意点

見掛けが丈夫で根がたくさん出ている苗は良さそうに見えるが、育苗用の平箱を使った機械田植では根を切断して植え付けるため、根張りはあまり強くない苗が活着も順調で適している。葉齢が進み生育が停滞しないことが重要で、老化して硬くなった苗より素直に育った苗なら柔らかくても良い。

田植機で使う深さ2～4cmの箱育苗は、根域が制限されることから、健康に育てる薄播きやポット育苗が推奨される。ただ雑草群落を凌駕するため、



写真Ⅱ－6 100g播きの2.5葉期(左)と60g播きの5.5葉期(右)

(提供：(財)自然農法センター)

成苗まで育つ薄播き疎植では育苗箱数を増やす必要がある。労力や生育問題の少ない稚苗がより健全な苗で移植出来る場合は、活着を優先して段階的に育苗技術を変えていく。

- ハウス内プール育苗は低温期や寒地～寒冷地の育苗に適している。
- 平箱40g播きに比べてポット育苗では用土が少ないため、床土に根を広げる折衷苗代が適している。プール育苗は難しい。
- 暖かい時期や暖地での育苗は容易であり、露地折衷苗代がよく、プール育苗は適さない。

3. 土づくり技術

1) 有機稲作の土づくり

(1) 土づくりの考え方

水稻の有機栽培では、地力窒素を主体にして稲体の健全な生育を図る必要があることから、土づくりは極めて重要な役割をもつ。有機稲作において一定水準の収量を上げるには、従来の土壌の化学性や物理性の改善を主眼にしてきた土づくりを一步進め、生物性の改善及び耕種管理手法や透・排水性の改善も含め、水稻の生育に望ましい生態系づくりを進める必要がある。

慣行栽培の化学肥料主体の養分供給システムから、地力発現による養分供給システムに移行するには、土壌動物や微生物を含めた有用生物の維持・繁殖を促して、養分の保持や放出などを気候条件に合わせて調節する機能の役割が期待される。

有機栽培の継続圃場では、堆肥や有機質肥料の施用により、水田の表層に土の性状がクリーム状の、いわゆる“トロトロ層”が形成され、イトミズ等の土壌動物、藻や水草等の水生生物の増加、並びに土壌の微生物性が高まって、土壌養分の発現や雑草抑制が行いやすくなるなどの現象が指摘されている。

このような土づくり効果を実現するため、有機稲作では、例えば、以下のような対策が行われている。

- 稲わら、籾殻、冬季雑草等の有機物を鋤込むとともに、有機物の場合は堆肥等を投入している。
- 有機物の分解促進や根の健全な生育を促すため、透・排水性が不良な圃場ではその改善を図っている。
- 地域や圃場、作付体型にもよるが、レンゲ、ヘアリーベッチ等の緑肥作物を積極的に活用している。
- 地力窒素の発現しにくい時期には、速効性有機質肥料の活用を図っている。
- 有機物を発酵させて、田植え後の田面に施用している。
- 土壌養分の状況を客観的に判断するために土壌診断を行い、その結果に基づいて対策を行っている。

有機稲作では、有機物資材の利用もさることながら、例えば、以下のような耕耘管理の仕方、圃場条件の改善が図られている。

- 耕耘管理作業は土壌特性を踏まえ、透・排水性などの物理性や、養分供給量などの化学性を、水稻生育に適する状態に近づけるように努めている。特に、耕耘・代かきで土壌の物理性を改善し、また、有機質資材・肥料によって土壌の化学性・物理性を改善させるとともに、土壌の物理性も向上させている。
- 湿田では透・排水性の改善により微生物活性を高め、窒素などの養分の可給化を進め、水稻の生育改善に役立てている。
- 田植え時期の土の硬さは活着に大きく影響するので、碎土にも配慮している。
- 粗大有機物を埋め込む荒起こし、または荒代かき後、地表を浅く攪拌する植え代かきにより、発酵を促進させて未分解の稲わらなどを原因とする還元障害を回避している。
- 中干しなど落水による田面の乾燥は、機械作業の際の地耐力増強に役立てる狙いもある。

が、水稻に適した肥効制御や土壌硬度、水はけ、水持ちを整える機能を重視し実施している。

また、土づくりによる雑草制御機能を重視し、例えば、以下のようなことに配慮している。

- 有機稲作田で優占するコナギを抑制するため、稲わらや米糠などの収穫残さの春鋤込みを避け、秋からの鋤込みによる土づくりで稲わらの分解促進に努めている。
- 有機栽培への転換初期は土壌の微生物活性が低く稲わらなどの分解能力が不十分なため、本来生育特性の異なるノビエとコナギが共に優占して水稻の初期生育を妨げることがあるが、ヒエの発生を助長する速効的な養分供給を控えている。
- 田植え以降も未分解の稲わらが多いほどコナギが大きく育ちやすいので（三木・岩石 2009）、土づくりにより微生物活性を高め、稲わらの分解能力を高めている。

(2) 有機栽培へ移行期の土づくり

有機稲作が安定的に営まれるまでには、通常4～5年かかるとされているが（（財）日本土壌協会 2009）、この期間をいかに短縮し、生産を安定化させていくかは、土づくりの大きな課題である。有機栽培への移行期間に起きている稲作の状況や対処の仕方を挙げれば以下の通りである。

- i. 有機栽培に移行後1～2年間は、多量の無機養分の残効により、未熟な堆肥施用や肥効の劣る有機資材施用でも障害がなく、初期生育が過剰となる場合がある。地力の低い水田で初期生育量を高くして追肥を省くと、籾数や登熟歩合が低下しやすい。
- ii. 有機栽培へ移行する初期段階においては、地力窒素を増やすため土壌分析結果などを参考にして、堆肥などの肥料効果が小さい粗大有機物の投入を3年間程度は継続すると良い。転換初期に大量の有機物の鋤込みを数年繰り返すと、微生物の多様性とバイオマスが高まり、土壌の有機物分解の活性が高まる。

- iii. 寒冷地では稲わらの分解がよく進むように、秋の段階から圃場の乾燥を進め、浅い耕耘により稲わらと土を良くなじませておくことと地力の促進効果があり、田植え後の雑草抑制にも繋がる。
- iv. 窒素やその他の養分過剰を避けるため、畜糞由来の堆肥の投入で腐植を増やすよりも、裏作に緑肥作物を組み込んだ作物栽培と作物残渣の還元により腐植を増加させた方がよい。
- v. 緑肥作物栽培と作物根による土壌構造の改良を狙って、根で耕す、いわゆる“根耕”を進めて、土壌機能の増進を図るとよい。
- vi. 有機物資材としては、運搬コストをかけないで土づくりが可能なライ麦、レンゲ、ヘアリーベッチなどの緑肥作物の栽培を行う。裏作緑肥の栽培は、養水分の吸収により土壌構造が発達し、土壌機能の活性化が図られるという利点もある。
- vii. 寒冷地で緑肥を栽培する場合には播種時期が限られ、積雪や低温耐性をもつ緑肥草種は限られるので、しばしば未成熟のまま鋤き込まれることになるが、レンゲなどは窒素過剰になりやすいので注意を要する。
- viii. 有機栽培への移行後3～4年頃から初期生育が緩慢となり、地温上昇とともに地力窒素が発現して後期生育が盛んになる傾向が見られる。そうした生育の傾向を予測して施肥量を考える。
- ix. 有機栽培に切り換えて3年目を迎えるまでに、優占しやすい雑草種が変化するため、従来の栽培管理の延長では雑草の繁茂と種子の蓄積に繋がりがやすい。状況に応じた対応と徹底した雑草防除対応ができるように計画する。

(3) 水稻の生育・収量と地力窒素

① 水稻と地力窒素

水稻は地力窒素の依存度が高い作物である。水稻の生育に必要な窒素は地力窒素（土壌中の有機態窒素のうち微生物によって分解され無機化（アンモニア態、硝酸態）あるいは低分子化して有効化する窒素）に依存する割合が高い。

表Ⅱ－6 元肥窒素の利用率（前田1984）

場所(県名)	利用率	場所(県名)	利用率
長野(西垣ほか1961)	33%	長野(御子柴1974)	20～53%
宮城(和田ほか1971)	26～27%	佐賀(小山ほか1977)	45～50%
福井(勝見1972)	30%	新潟(山室、1981)	43%
秋田(田口ほか1974)	35～46%	埼玉(前田1982)	36%

注:いずれも重窒素法による計測

重窒素により求めた水稻の元肥窒素の利用率は、これまでの試験結果からほぼ30～40%の範囲にとどまり、水稻の生育に必要な窒素成分の大半を地力窒素に依存している（表Ⅱ－6、前田1984）。

一般に水稻に吸収される窒素は、地力窒素から60～70%、施肥窒素から40～30%とされている。地力窒素の発現量は地温の影響が大きく、地力窒素は15℃以上で発現し始めてきて、20～25℃で最も多く発現してくるとされている。こうした地力窒素の発現量の多少は水稻の収量に大きく影響する。

②地力窒素の相違による収量格差

水稻の生産安定と土づくりの課題を明らかにするため、雑草防除が安定的に行えている有機稲作農家を対象に、単収の異なる圃場について比較調査を行った（表Ⅱ－7）。この調査の結果、「収量の高い農家」は十分な堆肥や有機質肥料を施用しているのに対し、「収量の低い農家」では堆肥や有機質肥料の施用量が少なかった。また、収量の低い農家は「有機質資材の肥効が足りず目標とする収量が確保しにくい」とコメントしている。

単収の低い有機稲作農家は、可給態窒素（土

壌を30℃、4週間培養して発現してくる無機態窒素量で地力窒素を測定する項目）、腐植含量、全窒素含量が低かった。また、灰色低地土の水田の高収量農家と比べても可給態窒素、腐植含量、全窒素含量が低かった。これらから、単収の低さの大きな要因として窒素肥沃度の低さが指摘される。

2）堆肥の利用と土づくり

（本項は、第3部「大豆の有機栽培技術」と共通する解説である）

（1）堆肥の特性と利用上の留意点

地力窒素の発現に大きく関係してくるのは土壌中の有機物含量（腐植含量）である。堆肥等の有機物を連用すると地力窒素の発現が大きくなる。また、堆肥は作物に養分を供給するとともに、土壌の物理性・化学性・生物性を改善し、総合的な地力向上を図ることができ、作物の安定生産に寄与する。

このため、腐植含量の低い慣行水田から有機栽培へ転換する際や借地により有機稲作を行なう際には、初期段階においては大量の堆肥の投入

表Ⅱ－7 10a 当たり収量の高い有機稲作農家と劣る農家の収量と窒素肥沃度

区分	農家名	土壌の種類	腐植含量 %	全窒素 %	可給態窒素量 mg	10a 収量kg (平成19年)	備考
収量の高い農家	栃木県 K 農家	厚層黒ボク土	16.1	0.77	27.3	470	堆肥施用
	栃木県 T 農家	黒ボク土	12.6	0.64	36.2	420	堆肥施用
	(参考)福島県 S 農家	灰色低地土	5.9	0.32	25.2	600	堆肥施用
収量の劣る農家	和歌山県 M 農家	黒ボク土	2.9	0.17	12.8	230	基肥米糠のみ
	富山県 T 農家	黒ボク土	3.7	0.19	12.8	360	米糠ばかしのみ

((財)日本農業研究所 2010)

を行って地力を高める必要があり、実際そのように行う農家が多い。

①堆肥の特性

堆肥の主な特性は次の通りである。

i. 養分の供給

堆肥には窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどの多量要素だけでなく、鉄、亜鉛、銅、マンガン、ホウ素などの微量元素が比較的バランス良く含まれている。そのため、作物に対する総合的な養分供給源になるが、化学肥料と異なる点は、窒素などの養分供給が緩効なこと、連年施用でその効果が累積していくことである。

ii. 土の物理性・化学性の改善

堆肥を連用すると、土壌有機物含量が増加し、土壌の物理性が改善される。このため、堆肥連用区では化学肥料区と比べ土壌中の全窒素、全炭素、CECなど地力関係項目の値が上昇してくる。特に、地力窒素の発現が収量向上に寄与している。土壌中における有機物の分解過程では、微生物による分解を受けにくい土壌特有の腐植物質が形成される。この腐植物質及び微生物や根から分泌される粘質物が接着剤となり、土壌粒子が互いに結合して直径数ミリ程度の土壌団粒を形成する。土壌の団粒化が進むと、粒子間の隙間の堆積割合（孔隙率）が増大する。孔隙率が大きいほど土壌は柔らかく、耕耘が容易になり、作物の根も伸張り易くなる。また、団粒間には比較的大きな孔隙が形成され、過剰な水が排水されるため、通気性が良好になり、作物根の伸張が確保される。このため、堆肥連用により土壌孔隙率は増加し、根の活性も化学肥料区と比べ高まる例が多く、これが単収向上に寄与している。

iii. 土壌の生物性の改善

堆肥を施用すると、これを餌として土壌中ではミズやダニなどの活動が活発になり、堆肥自体が土中で物理的に微小化・分散されて微生物による化学分解を受けやすい性状になる。また、堆肥中には多くの微生物が含まれており、堆肥中の有機物が餌になるため、土壌微生物の数は大幅に増加する。こうして土壌生物の活動が盛んになる

と、施用した有機物だけでなく、それまでに土壌中に蓄積されていた有機物の分解も促進される。これによって窒素をはじめ多くの養分が放出される。さらに、放出された窒素の一部は増殖した微生物の菌体に取り込まれ、再び土壌中に蓄積され長期間にわたって土壌窒素を放出するようになる。

そして、堆肥の施用により有機物の分解に関する土壌動物、糸状菌、放線菌、細菌などの多様な生物群が棲息するようになる。また、これらの生物群はそのサイズに応じて団粒内外に主要な棲息の場を確保し、生物相の多様性が維持され、土壌の生物的緩衝能が増大する。

②堆肥の種類と成分特性

堆肥の原料は、従来稲わら等作物残渣と家畜糞を原料としたものが主体であったが、近年は原料が多様化してきている。最近では平成13年に食品リサイクル法が制定され、食品残渣の堆肥化が推進されるようになり、食品リサイクル堆肥も多くなっている。

現在、最も生産量の多いのは家畜糞関係の堆肥である。平成11年に家畜排せつ物法が施行されて、野積み等不適切なふん尿の処理が禁止されたことにより堆肥化が進められ、家畜糞堆肥の利用促進に取り組まれている。現在、生産・販売されている主な堆肥には次のようなものがある。

- 家畜糞関係：牛糞堆肥、豚糞堆肥、鶏糞堆肥、各畜種のブレンド堆肥
- 食品関係：食品リサイクル堆肥（原料中10%以上食品残渣を含むものを言う）
- 林業関係：バーク堆肥
- 各種原料の混合堆肥

堆肥は種類によって、肥料成分の高い堆肥と低い堆肥がある。成分の高い堆肥は、豚糞堆肥、鶏糞堆肥などで肥料的効果が高い。また、成分の低い堆肥としては、バーク堆肥、牛糞堆肥などであり、土壌の物理性改良効果が高い。

i. 家畜糞関係等の堆肥

家畜糞堆肥の成分は、近年、飼料等の関係から全体として高くなってきている。家畜糞堆肥の種

類によって肥料成分等に次のような特色がある。

- 牛糞堆肥：加里がやや高い、有機物分解はやや遅い。
- 豚糞堆肥：リン酸が高い、有機物分解はやや速い。
- 鶏糞堆肥：リン酸が高い、有機物分解はやや速い。採卵鶏堆肥についてはカルシウムが高い（採卵鶏糞で発酵処理を行っているものは窒素成分が低い）。

畜種別の堆肥の平均的な成分は表Ⅱ－8の通りである。

ii. 食品・林業関係等の堆肥

食品関係、林業関係、排水汚泥関係等の堆肥は、それぞれに成分的に特色がある。

- 食品リサイクル堆肥：窒素が多く、リン酸、加里は低い 有機物分解は平均的
- バーク堆肥：窒素、リン酸、加里全てが低い 有機物分解は遅い

それぞれの堆肥の平均的な成分は表Ⅱ－9、表Ⅱ－10の通りである。

③堆肥の品質

畜産経営の規模拡大の中で十分な糞尿処理ができず、これまで未熟なままの堆肥が多く出回るなどによって作物に生育障害が発生したり、悪臭等環境問題が発生するなどの問題があった。近年、堆肥の品質向上が叫ばれ、改善が図られてきているが、まだ、十分でないものもある。また、最近、堆肥原料が多様化してきている中で、食品リサイクル堆肥が多く出回るようになってきている。食品残渣は油分等が多く、好気発酵がしにくいこともあって、現在、品質に問題のあるものもある。

このため、品質の良い堆肥を入手することが重要である。一般的には堆肥の品質として次のような品質項目が重視される。

- 腐熟度（雑草種子混入や臭いに関係）
- 取扱性（乾燥度合い、固まりの大きさ等機械散布のしやすさ）
- 肥料成分の安定性（施肥設計時に関係）
- 土壌物理性改良効果（重視する利用目的による）

表Ⅱ－8 畜種別の全国の堆肥の主要成分（（財）畜産環境整備機構2005）

	試料数	水分	pH	EC	C/N	全窒素	全リン酸	全加里	石灰	苦土
乳用牛	318	52.3	8.6	5.6	17.6	2.2	1.8	2.8	4.4	1.5
肉用牛	304	52.2	8.2	5.9	19.0	2.2	2.6	2.8	3.0	1.3
豚	144	36.6	8.3	6.7	11.4	3.5	5.6	2.7	8.3	2.4
採卵鶏	127	22.4	9.0	7.9	9.5	2.9	6.2	3.6	25.7	2.2
ブロイラー	27	33.0	7.9	8.5	10.6	3.8	4.2	3.6	8.9	1.9

注：水分は現物中で、それ以外は乾物中の%、ECはmS/cm。

表Ⅱ－9 食品リサイクル堆肥の主要成分(平均)（（財）日本土壌協会2006）

試料数	水分	pH	EC	C/N	全窒素	全リン酸	全加里	石灰	苦土	食塩
30	29.1	6.9	6.2	13.5	2.7	1.9	1.5	2.7	0.7	1.6

注：水分は現物中でそれ以外は乾物中の%、ECはmS/cm。

表Ⅱ－10 バーク堆肥の主要成分(平均)

水分	pH	C/N	全窒素	全リン酸	全加里
59	6.8	22.3	1.8	1.3	0.9

注1：日本バーク堆肥協会会員のバーク堆肥の平均(2010)。

注2：水分は現物中でそれ以外は乾物中の%、ECはmS/cm。

有機農業においては、こうした一般的な堆肥の品質とともに重金属等の混入チェックも必要である。豚や鶏の飼育の際には、飼料添加物として銅や亜鉛を添加している場合があり、それが糞に混入してくる。わずかな量であれば作物に障害はないが、一部にはかなり多く含まれている場合が見られる。そこで、豚糞堆肥、鶏糞堆肥を入手する際には、その成分含量をチェックする必要がある。

肥料取締法では、次のような場合には堆肥に銅、亜鉛の成分表示が義務づけられている。

- 豚糞を原料に使っており、現物 1kg 当たり 300mg 以上の銅を含んでいる場合の銅濃度
- 豚糞または鶏糞を原料に使っており、現物 1kg 当たり 900mg 以上の亜鉛を含んでいる場合の亜鉛濃度

また、畜産において抗生物質を使用している場合があり、一般には堆肥で検出されることはないが、抗生物質の利用状況を把握しておくことも重要である。

④堆肥利用上の留意点

堆肥の施用に当たっては、以下のような点に注意する。

- i. 排水不良水田では有機物の分解が遅れ生育後半に窒素が発現するため、倒伏の程度も高まり、登熟が悪く収量が低下する。こうした水田での堆肥施用量は乾田の半分程度の量にする必要がある。
- ii. 稲作への堆肥施用量は通常 1 ～ 2t/10a であるが、過剰に施用したり、窒素成分の高い堆肥を通常量施用すると過繁茂になり、倒伏の危険が増し収量が低下するので注意する。
- iii. 堆肥の肥料効果を重視する場合は春施用にする。一般に、堆肥は稲刈り後に施用するが、秋施用するのは、土壤の腐植含量等の増加をねらいとする場合や物理性の改良を目的とする場合であり、肥料効果については田植えまでにかなり流亡する。このため、鶏糞堆肥、豚糞堆肥のように肥料成分の高い堆肥を肥料養分の目的で施用する場合には代掻き前に施用する。

(2) 堆肥の製造法と留意点

有機栽培農家の中には安心できる堆肥で農産物を生産するために、自ら材料を入手して堆肥を製造する場合もある。堆肥に用いる有機質資材の種類や堆肥化の方法はいろいろある。堆肥化の方法としては、昔からの堆積方式、ロータリー攪拌方式、スクープ方式などがある。小規模であれば有機物を堆積し、シャベルローダー等で攪拌する方式が適当である。有機質資材は地域で入手しやすいもので行うのが適当であるが、堆肥化は好気性微生物による有機物の分解作用であるので、通気性を良くする籾殻、落葉などの資材を混合することが重要である。

堆肥化過程の微生物作用によって、堆肥の品質に悪影響を与える要因を除くとともに、水分調整や悪臭物質の生成を抑制し、取扱い易くして、有効かつ安全な資材にする必要がある。

堆肥化の主な目的や製造プロセスは以下の通りである。

①堆肥化の目的

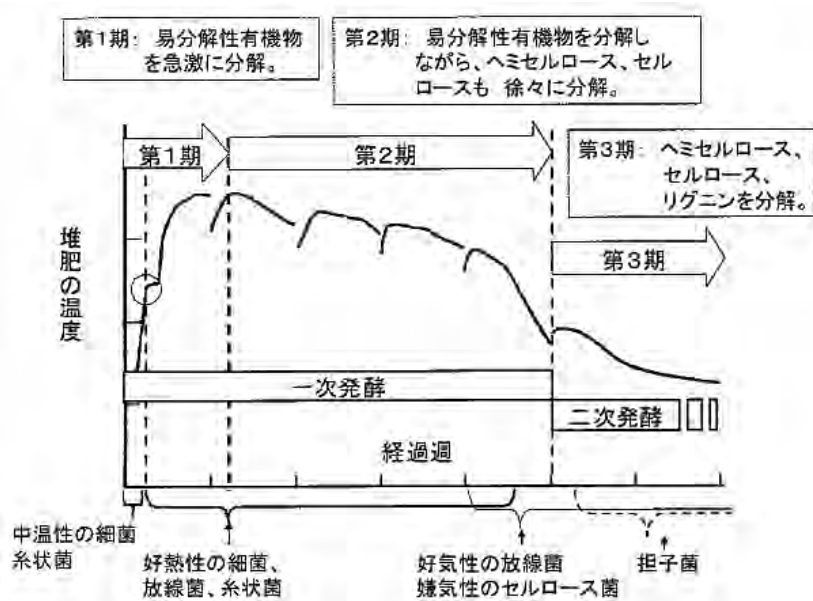
- i. 作物の生育にとって有機物の分解過程で出てくる有害な有機酸等を分解し無害なものとする。
- ii. 発酵熱により病原菌や雑草の種子等を死滅させる。
- iii. 発酵によって悪臭をなくすとともに、含水率を下げ保存性や取扱性を良くする。

②堆肥化のプロセス

堆肥化の一般的なプロセスは図Ⅱ－10の通りである。

牛糞等に籾殻などを加え有機物を適当な水分条件、堆積条件で堆積すると、まず低分子の糖、アミノ酸、脂肪酸などの易分解性有機物が消失し、この過程でフェノール化合物などの植物生育阻害物質も分解する。堆積物の温度が下がり始めたら切り返しを行い、酸素を供給し続けると、次いでヘミセルロース、セルロース、さらにリグニンが分解する。切り返しを行っても余り堆積物の温度が上がらなくなったら完成である。

これらの過程で炭素は二酸化炭素として大気中に失われるが、窒素の相当部分は微生物に取り



図Ⅱ－10 堆肥化過程の模式図(例)
(新畜産環境保全指導マニュアル(2011))

込まれて残存するため、炭素率（C/N比）は次第に低下し、土壤に施用しても急激な微生物の増殖や作物の窒素飢餓を生じない安定した堆肥化物となる。また、微生物の増殖に伴う発熱によって堆積物中の温度は60～70℃にも達するため、雑草種子や有害微生物が死滅する。さらに、有機物の分解が促進されて悪臭物質の生成は抑制され、取扱い性も向上する。

③ 良い堆肥を製造するための留意点

堆肥化がうまくいかない要因として多いのは、初期の温度が上がらないということである。この原因として、原料の水分調整がうまくいかず好気発酵がスムーズに進んでいかないことが多い。通気が良くなり好気発酵するための原料の比重調整は0.7以下にするとよい（10ℓのバケツで水分を含む原料の重さ6.5kg以下に調整する）。

また、発酵途中で温度が上がり過ぎて水分が低下すると、微生物の活動が低下し発酵が停止状態になることもある。こうした場合には水分を加える必要がある。

3) 稲わら・籾殻・米糠の利用と土づくり

(1) 収穫残渣利用の考え方

有機稲作での有機質資材の利用は、基本的に

は収穫残渣となる稲わら、籾殻、米糠の全量還元を前提とし、寒地や湿田の場合には一部を事前に分解させてから圃場に還元する方法を工夫する。寒冷地で安定している有機栽培水田の例を示すと、秋に稲わらとともにわずかの有機質肥料を鋤き込んで分解を進め、田植え後14日程度を目安に地表面に10a当たり窒素3kg相当の米糠あるいは菜種油粕を2回程（それぞれ80kg程度）施用する。移行時には米糠合計で窒素10kg相当を施用するが、分解を促すための秋の稲わら・堆肥や有機質肥料の窒素

施肥効果は収穫時の必要施肥量の計算には入れない。10aの乾燥稲わらが600kgに対して、分解を進めるために全窒素3kg相当の有機質肥料か、土壤100g当たり3mgの無機態窒素が必要となる。収穫時の診断によって、土壤中の無機態窒素や有効態リン酸の含有量が稲わら分解に不足する場合には、有機質肥料の散布が分解の促進や地力増強にわずかながら貢献する。

有機物はC/N比20程度を境に、それより高い稲わらや籾殻は土づくり材料（土壤腐植）となり、低い米糠は養分補給材料（可給態成分）になる。どちらの材料も栽培期間中での急激な分解を起こさないことと、土づくり材料は特に、非作付期間中に十分分解熟成する準備期間を設ける。

(2) 収穫残渣利用の留意事項

土壤中の酸素不足で有機物の分解が停滞するので、排水が悪い地域や湿田では、日減水深を目安として、極く浅い代かきや代かきを省略し、耕耘自体を省いて稲わらを表面に残すようにする。10mm程度の日減水深であれば、不耕起移植を行うことも可能である。特に地下水位が高く、水温度の高い地域では、日減水深を高めるため代かきや耕耘を省いて有機物の分解を進め、生産

力を高めながら土づくりを進める。

稲わら還元を目安は、田植え時期までに収穫した稲わら重量の5～6割以上が分解・減少する状態であり、玄米目標収量が500kgの水田では、代かき時の土壌中の残存有機物が200～300g/m²程度を目標にする。収穫後田植えまでの非作付期間中の積算温度が1000～1200℃を下回る地域では、収穫残渣をすべて持ち出して堆肥化を進める。その熟成堆肥を収穫直後に圃場に還元することが望ましく、耕畜連携による堆肥と稲わらの交換方式がとれば、より合理的である。ただし、牛糞由来の厩肥にはカリウムが、豚糞や鶏糞由来の厩肥にはリン酸やカルシウムが過剰に含まれるので、過剰蓄積に注意を払う。

リン酸分が不足する痩せた水田では、米糠や鶏糞、豚糞の発酵堆肥を施用すると可給態リン酸が増加する。米糠を乳酸菌や酵母で発酵させたボカシ肥料は、フィチン態のリン酸が水溶性リン酸に変化して利用しやすくなる（加藤2003）。

4）有機栽培田と生物多様性

有機栽培では、化学合成農薬や化学肥料を用いず有機物を施用するため、慣行栽培田に比べて土壌微生物の多様性・活性が高いとされている。これが生態系と調和した形で有機栽培が営める一つの要因になっている。

そのため、最近(独)中央農業研究センターで開発した炭素資化量連続測定装置で、土壌の微生物多様性・活性値^(*)の測定を行なった。測定結果によると、有機栽培圃場の微生物多様性・活性値は、慣行栽培圃場や転換中の圃場と比較して高い傾向が見られた。しかし、有機物施用の方法によってその効果は異なる。

(1) 有機栽培田と生物多様性

慣行栽培田と有機栽培田との稲の姿、生物多

(*) 微生物多様性・活性値：微生物活性値は土壌や堆肥の有機物分解反応の立ち上がりの早さ、分解速度、分解量を総合的に数値化したもので、微生物の炭素源資化反応の多様性と鋭敏性を評価したものである。

様性の違いなどについて、埼玉県小川町T氏圃場等で調査を行った結果は以下の通りである。

①有機稲作田の稲の姿と生き物の特徴

水田の土壌の種類が灰色低地土である埼玉県小川町において、有機稲作田と隣接する慣行栽培田とで、稲の生育状況、生物多様性の状況を調査した。有機稲作田は10年来有機水稻を栽培しており、水田にはカブトエビが生息し、水草も水田一面を覆い、生物相が多様である。また、有機稲作田は灰色低地土でトロトロ層が形成しにくい土壌であるが、堆肥の施用と米糠抑草の米糠施用によりトロトロ層が形成され、田植後の水田は濁っており、隣接の慣行水田ではこうした状況はまったく観察されなかった。

また、有機栽培の水稻の茎は太く、葉色の退化は遅く、収穫直前まで光合成が盛んな様相であった（写真Ⅱ－7、写真Ⅱ－8）。

カブトエビはこの地域に生息するが、この有機稲作田には特に多く生息している。その要因として、秋冬作にキャベツを栽培し、その残渣を水田に鋤込んだことが挙げられる。カブトエビはそれを餌として繁殖している。

②土壌中の微生物多様性

有機稲作田と慣行稲作田とで微生物多様性・活性値比較調査を行なった結果、有機栽培歴10年の水田の微生物多様性・活性値が1,371,983に対し、慣行栽培田の微生物多様性・活性値は634,099と半分程度であった（表Ⅱ－11）。

(2) 有機物施用と土壌・単収への影響

有機物施用による土壌の微生物多様性・化学性と水稻の単収などの違いについて、栃木県野木町T氏圃場で調査を行った。栃木県野木町のT氏は、有機稲作の規模拡大を進めてきた中で、有機歴年数の異なる圃場がある。圃場は全て黒ボク土で比較的トロトロ層がしやすい圃場であるが、トロトロ層ができなかったり、生物の種類が少ない圃場がある。また、水稻の収量にも格差がある。このため、有機栽培への転換中の圃場も含めこうした特徴のある圃場間で、土壌の

状況、収量、土壌の腐植含量、土壌微生物多様性の相違点を調査した。なお、T氏の雑草抑制はよくできており、栽培管理はほぼ同一である。

①圃場別の土壌・水稻生育評価と土づくり対策
有機稲作年数が異なり、土壌のトロトロ層形成状態等の異なる圃場の状況は表Ⅱ－12の通りである。痩せ地ではトロトロ層ができにくく、収量が



写真Ⅱ－7 有機栽培水稻(左)は慣行栽培水稻(右)と比較して色落ちが遅い



写真Ⅱ－8 有機栽培水稻(左)は慣行栽培水稻(右)と比較して茎は太く、下葉の枯上がりが少ない

表Ⅱ－11 有機栽培水田と慣行栽培水田の微生物多様性・活性値 ((財)日本土壌協会 2009)

	水稻品種	10a 当たり収量	微生物多様性・活性値	備 考
有機歴 10 年圃場	さいのかがやき	470kg	1,371,983	堆肥 2t 菜種ぼかし施用
慣行栽培圃場	さいのかがやき	470	634,099	稲わら鋤込み

表Ⅱ－12 圃場別の土壌と水稻生育評価と土づくり対策

圃場番号	平成 21 年 収量 kg/10a	T 氏の圃場別の土壌評価	平成 21 年土づくり対策
有機 9 年 No.11 水田	450	やや肥沃、トロトロ層大	平成 21 年グアノ肥料、マグネシウム材、米糠
有機 9 年 No.21 水田	330	瘠せ地、トロトロ層無、茎数少ない	平成 20 年グアノ肥料 40 kg、平成 21 年 80 kg、米糠やや増(リン酸不足のため)
有機 7 年 No.27 水田	450	肥沃、トロトロ層大、光合成細菌繁殖、やや倒伏	平成 21 年グアノ肥料、米糠施用せず
有機 11 年 No.8 水田	420	肥沃度中、トロトロ層大、光合成細菌繁殖	すずめのでつぼう多く繁茂する水田、これを鋤込、米糠
転換 3 年 No.51 水田	390	借地、肥沃度中	平成 21 年グアノ肥料、マグネシウム材、米糠多め(90 kg)
転換 1 年 No.47 水田	360	借地転換初年目、雑草多い、浮草出ない、肥沃度低	平成 21 年グアノ肥料、マグネシウム材、米糠

((財)日本土壌協会 2010)

低いという特徴がある。また、有機9年 No.21 水田は土壌分析の結果、有効態リン酸が2mg/100gと極めて少なく、これが、緑藻類、水草等の発生やトロトロ層形成に影響していると考えられた。

②土壌の腐植含量と水稻単収

収量の異なる圃場毎に腐植含量や全窒素含量などを測定した結果、腐植含量等が水稻の収量と密接に関係していた。T氏の圃場では腐植含量が10%程度で、450 kg/10a程度の安定した単収が得られているが、それ以下であると収量が低下している。また、腐植含量が12%程度になるとやや倒伏する傾向が見られ、適正な腐植含量は10%程度と考えられた。食味も腐植含量の低い圃場で低く、11%程度の腐植含量のある水田で高かった(表Ⅱ-13)。

腐植含量は、土壌の種類によって異なり、地温によって水稻の収量への影響の度合いが異なるので、同一地域の同じ土壌の種類で比較し、地力窒素の高まりの目安とするのが適当である。

③水田の特徴と土壌中の微生物多様性

微生物多様性・活性について比較調査を行なっ

た結果、有機栽培歴が長く、腐植含量の高い圃場の微生物多様性・活性値の値が高かった。また、有機栽培への転換期間中の水田は有機栽培田と比べて微生物多様性・活性値が低かった(表Ⅱ-14)。さらに、微生物多様性・活性値は除草剤等農薬を使用していると低いことから、慣行栽培から転換期間中の水田は腐植含量が低く、農薬の影響がまだ残っているため、微生物多様性・活性値が低かったと考えられる。

なお、有機9年(No21)の圃場は、有機歴は長いものの微生物多様性・活性値が低かったが、この圃場の有効態リン酸は低く、藻類等の発生、トロトロ層の形成が悪かった。このことから、有効態リン酸が生き物や生き物が関わるトロトロ層形成に影響していると考えられる。

このため、微生物多様性・活性値は、有機栽培水田の熟成度合いを判断する目安になると考えられるが、これが、有機物の分解能の向上、トロトロ層の形成、藻等有用水生植物の形成等とどのような関連があるかの検証は今後の課題である。

表Ⅱ-13 有機水稻黒ボク土水田の地力窒素関係項目の分析結果と収量・品質

対象圃場	品 種	地力関連分析項目		収量・品質	
		腐植含量(%)	全窒素含量(%)	平成21年収量 kg/10a	食味値
有機9年 No.11 水田	コシヒカリ	11.9	0.60	450	88
有機9年 No.21 水田	コシヒカリ	4.7	0.26	330	84
有機7年 No.27 水田	コシヒカリ	10.3	0.50	450	-
有機11年 No.8 水田	コシヒカリ	9.6	0.47	420	-
転換3年 No.51 水田	コシヒカリ	9.5	0.47	390	88
転換1年 No.47 水田	コシヒカリ	6.2	0.34	360	-

((財)日本土壌協会 2010)

表Ⅱ-14 有機水稻年数の異なる圃場での微生物多様性・活性値

圃場番号	平成21年	平成23年	備 考
有機9年 (No11)圃場	1,092,095	1,282,350	
有機9年 (No21)圃場	1,086,078	783,105	
〃 7年 (No27)圃場	917,846	1,158,201	
有機転換3年目(No47)圃場	724,817	817,946	
有機転換1年目圃場	—	710,217	平成23年のみ測定

((財)日本土壌協会)(2011)

5) 緑肥の利用と土づくり

水田での緑肥利用は以前からの技術で、地域ごとに緑肥の種類や播種時期、鋤込み時期などの最適化がある程度行われてきている。特にレンゲは栽培経験も蓄積されており、比較的導入しやすい技術である。

緑肥は、水稻収穫直前または収穫後に播種をすれば、特別な管理をすることなく生育し、春先の適当な時期にトラクターで鋤込んだり、カバークロップとして活用でき、土壤に有機物を供給する最も手軽な手段である。特にマメ科緑肥は、窒素固定を行うため窒素供給能力が高く、水稻作では緑肥だけで十分な窒素供給が可能である。また、リン酸等の土壤中で不可給態化した養分の可給化効果も期待される。水田での緑肥利用技術は、大きく「鋤込み」と「カバークロップ」（草生マルチやリビングマルチと同義）に分かれるが、緑肥鋤込みの方が知見の集積が多く、導入も容易なため、本項では主に緑肥鋤込み技術に重点を置く。

(1) 緑肥利用の考え方

緑肥は非作物栽培期間に裏作として栽培し、作物栽培開始前に鋤込むことにより、多量の有機物が土壤中に供給され、有機物施用効果による総合的な地力改善効果を目的として導入される。

緑肥に含まれる養分は、マメ科草種の窒素は後作の水稻栽培に十分な量を有し、適切な管理を行えば窒素施肥は不要になる可能性が高い。しかし、その他養分は不足することもあるため、土壤分析により必要な追肥が必要になる。緑肥利用の利点と問題点は以下の通りである。

①利点

i. 養分供給

緑肥に蓄積された養分は、鋤込み後の土壤微生物分解により、無機化あるいは低分子化され、作物が吸収できる形態に変化し、土壤中に放出され、作物にとり有効な養分となる。また、養分供給速度は、化学肥料に比べ緩効で養分バランスもとれているため、作物根へのストレスが少ない。

ii. 窒素固定

マメ科植物の緑肥では、根粒菌が共生して窒素固定を行い、水稻1作に必要な十分量の窒素量を容易に供給できるため、窒素肥料の施用を省略できる。

iii. 省力・省資源・省コスト

緑肥は、圃場で多量の有機物を生産するため、堆肥製造の材料、場所、時間、労力、コストは不要であり、製造した堆肥を搬送し、土壤に散布する必要がない。

iv. 環境保全と土壤養分の有効活用

緑肥は生育期間中に前作の残効養分を吸収し、裸地管理にすれば降雨により溶脱や流亡する硝酸態窒素や陽イオンを圃場内に保持でき、さらに土壤の風食や水食を抑制できるため、環境保全機能もある。また、土壤下層に蓄積した微量元素等の養分を溶解、吸収し、地上部に蓄積し後作の水稻が吸収しやすくなり、土壤養分の効率的な活用が可能となる。

v. 景観形成や生態系保全

レンゲ、クローバー、ナタネ、ヘアリーベッチなど水稻の裏作に用いる緑肥は、春先に開花する草種が多い。水田でこれら緑肥が開花すると美しい景観が生まれ、グリーンツーリズムなどへの利用で農村の活性化に、また、ミツバチ等訪花昆虫の餌場となるほか多くの生物の生息場所として、生物多様性の向上に繋がる。

vi. 土壤物理性の改善

緑肥が土壤中に根系を発達させた後、鋤込み処理等により枯死すると、根が分解し、根のあった場所に空洞（マクロポア）が生じ、土壤の通気性や透水性が改善される。湿田、特に水稻の不耕起栽培田では深根性の緑肥を利用すると効果が高い。

②問題点

i. 肥効コントロールが必要

緑肥の生育は、環境要因、特に気象や土壤状態により大きく変動し、鋤込み時の生育量や生育ステージも毎年変動する。そのため、緑肥に蓄積された養分量や分解特性も毎年異なるため、鋤込

み時期や鋤込み後の土壌管理により肥効をコントロールする必要がある。マメ科緑肥を利用して過剰な窒素供給を行うと倒伏や食味低下、病害虫の被害を受けるリスクが高くなる。一方、緑肥が生育不良の場合は、水稻栽培中に有機質肥料の追肥を行う必要がある。

ii. 未熟有機物施用に伴う障害

緑肥を鋤込むと土壌微生物により、急速に緑肥の分解が始まる。この時に発生する微生物の代謝産物は植物根にとり有害なものが多いため、鋤込み後は通常2週間程度放置し、有害物質濃度を低下させてから代かき作業を始める。代かきの際湛水すると、今度は酸化還元電位が低下し、有機酸などが発生し水稻の生育を抑制する。この障害程度は、寒冷地の排水不良田では被害を受けやすいが、温暖地の水田では被害を受けにくく、発生した有機酸で雑草抑制効果が見られることもある。

iii. 細断が必要な草種

レンゲやクローバーなど草丈が低く、剛性も低い草種はロータリー耕やプラウ耕で鋤込めるが、バイオマス量が多く、剛性の高い草種のヘアーベッチ、エンバク、イタリアンライグラス等の草種は、予めハンマーナイフモア等で細断後に鋤込む必要がある。細断・断片化により、ロータリーの

爪軸への緑肥巻き付きがなくなり、緑肥鋤込み量の平準化が行える。

iv. 1年2作が不可能

暖地では、1年2作が可能な地帯で緑肥栽培を行うと、小麦、大麦、裸麦、ハクサイ、キャベツ、タマネギ、ソラマメ等の冬作物の栽培ができず、この間の換金作物の栽培ができない。

③緑肥の選定方法と利用上の留意点

緑肥草種は、気象条件、栽培時期、土壌の乾湿、緑肥病害虫、生育量、窒素固定量、鋤込み方法、景観配慮等の条件を総合的に判断し、適切な草種を選ぶ必要がある。辻（2002）は、有機栽培に限定はしていないが、水稻裏作に適した緑肥品種の栽培特性（図Ⅱ－11）及び開花・鋤込み期（表Ⅱ－15）をまとめている。有機稲作では基本的に田植え時に施肥が不要なため、窒素固定を行うマメ科草種が適している。しかし、未利用有機物資源が豊富にあり、緑肥と併用する状況下では、イネ科草種の選択も有用性が高い。

マメ科緑肥利用で重要なのは、生育量や窒素固定量、開花時期である。水稻移植時期に合わせて、鋤込み時期、緑肥開花時期を逆算して推定し、緑肥草種を選択する。

i. レンゲ

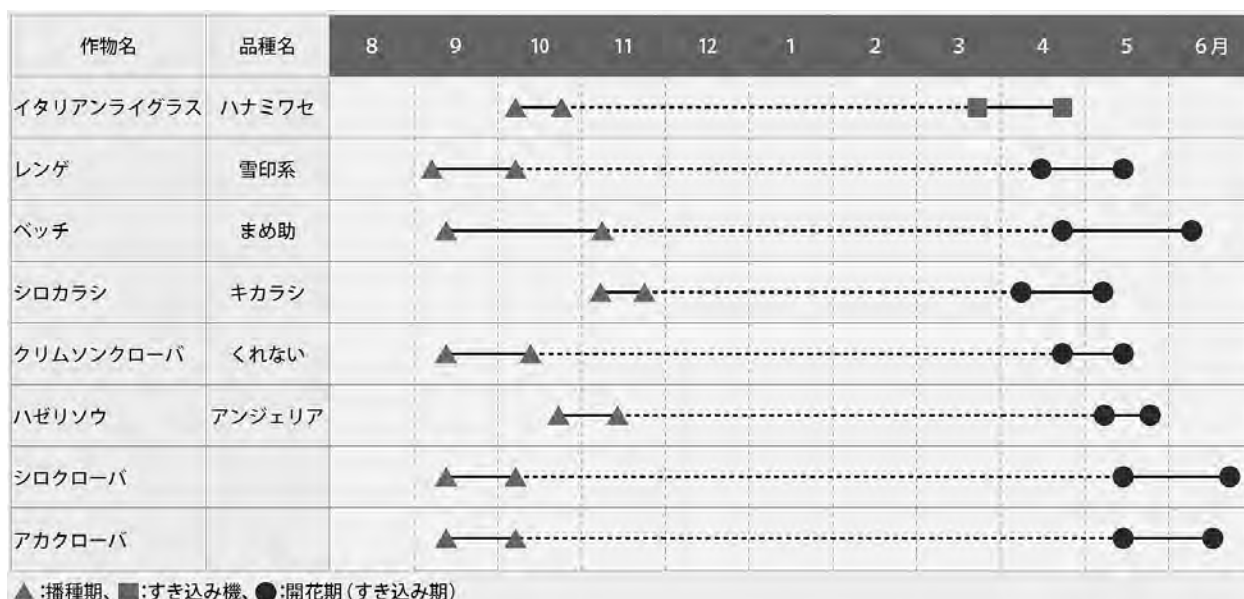
マメ科草種で正式和名は「ゲンゲ」、学名は

表Ⅱ－15 秋播き用緑肥作物・景観緑肥作物の栽培特性（辻2002）

作物名	品種名	分類	用途・適性			耐湿性	初期生育	草高 (cm)	播種量 (kg/10a)	播種期(月)		
			緑肥	景観	飼料					高冷地	一般地	暖地
イタリアンライグラス	ハナミツセ	イネ科	◎	×	◎	○	◎	80	4	9中～10上	10上～10下	10中～11上
レンゲ	雪印系	マメ科	◎	◎	○	△	△	30	3～4	—	9上～10上	9中～10下
ベッチ	まめ助	マメ科	◎	△	○	△	○	50	5	—	9中～11上	9下～11下
シロカラシ	キカラシ	アブラナ科	◎	◎	×	×	◎	100	2～3	—	11上～11下	11上～12上
クリムソクローバ	くれない	マメ科	◎	◎	×	×	○	60	2～3	—	9中～10中	9下～10下
ハゼリソウ	アンジェリア	ハゼリソウ科	◎	◎	×	×	◎	50	2～3	—	10下～11中	11上～11下
シロクローバ		マメ科	○	△○	◎	△○	△	20	2～3	8下～9下	9中～10上	9下～10中
アカクローバ		マメ科	◎	△○	◎	△	△	60	2～3	8下～9下	9中～10上	9下～10中

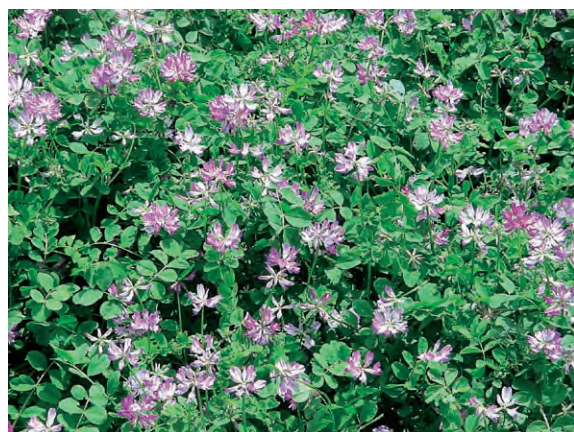
◎：優、○：良、△：中、×：不良（不適）

草高は目安であり、栽培条件によって変動します。



図Ⅱ－11 秋播き用緑肥作物・景観緑肥作物の播種期及び開花・鋤込み期（一般地：関東平地標準）
（辻2002）

Astragalus sinicus L.である。中国大陸から導入され、古くから水田の緑肥として用いられてきた。ミツバチの主要な蜜源植物としても利用されている。昭和前半までは広く栽培されていたが、化学肥料の普及で衰退した。沖縄と北海道を除く暖地から寒冷地まで広く栽培されている。長い栽培の歴史の中で在来種あるいは銘柄が分化し、現在では収量の高い晩生の岐阜レンゲ（岐阜系）、さらに北陸地方で耐寒性の耐雪性を改良された中生の富農選24号が奨励品種となっている。初期生育時は湿害が根粒菌の着生を妨げるので、特に水稻の後作では排水を十分に行なう。播種量は10a当たり2～4kg程度、レンゲの栽培歴がない場合には根粒菌を接種する（奥村2005a）。



写真Ⅱ－9 レンゲ（提供：上野秀人氏）

ii. シロクローバ

和名はシロツメクサで、学名は *Trifolium repens* L.である。明治時代以降に牧草として導入され全国的に広がった。多年生のマメ科牧草で原産地は地中海沿岸地域とされている。現在では温帯地域を中心に、北極圏から熱帯高地まで世界中に分布している。我が国でも北海道から沖縄まで分布し、蛋白質やミネラルに富み、根粒菌が固定した窒素による肥料節減効果もあるため混播草地で利用されている。また、公園、芝生あるいは道路法面や路肩の土壌保全植物としても使われる。適地は湿潤な温暖地から寒冷地まで幅広く適応するが、夏期の干ばつには弱い。土壌への適応性も高いが、酸性土や排水の悪い土壌には適さない。



写真Ⅱ－10 シロクローバ（提供：上野秀人氏）

品種は葉の大きさに基づいて、大葉型（ラジノタイプ）、中葉型（コモン型）及び小葉型（ワイルドタイプ）に分類される。大葉型の主な普及品種は「カリフォルニアラジノ」「ルナメイ」などがある。競合力が強い、再生力の強いオーチャードグラスと混播されることが多い。中葉型では「マキシロ」「ソーニャ」「フィア」が代表的な品種でチモシー、ペレニアルライグラス、メドーフェスクなどと採草あるいは採草放牧兼用で混播利用される。

小葉型では「ノースホワイト」「タホラ」「リベンデル」などがあり、混播で放牧利用されることが多い。マメ科牧草の中では土壌pHや水分に対する適応性が比較的高いが、pHは5.5～6.5程度に石灰質資材などで矯正する必要がある（奥村2005b）。

iii. ヘアリーベッチ

ヘアリーベッチ（*Vicia villosa* Roth）はヨーロッパ原産で、ソラマメやカラスノエンドウの仲間であり、明治時代に牧草として導入された。花がフジに似ているのでシラゲクサフジまたはナヨクサフジの和名がある。秋播で春先から初夏に圃場を全面被覆し雑草をほぼ完璧に抑制し、草高は50～100cmにもなる。開花後は一斉に枯れて敷わら状になり、窒素固定能力が高く緑肥効果も高いため、果樹園や休耕地の雑草管理に最適とされている。ヘアリーベッチはマメ科で最高の窒素固定能力があり、通常10a当たり10～25kgの窒素固定を行う。四国農試での測定記録では、40kgも固定した記録がある。アレロパシー物質であるシアナミドを生成し、雑草抑制作用を有する。最近は多くの種苗



写真Ⅱ-11 ヘアリーベッチ（提供：上野秀人氏）

会社から、早生種のヘアリーベッチが、「まめ助」「まめっこ」「まめ太郎」「寒太郎」「藤えもん」などの名前で販売されており、これら品種は後作の水稻栽培のために、春先早く枯れることが望ましい場合には適している。雑草抑制効果は従来の品種に比べて劣り、アレロパシー活性もやや弱い。また、雪の下でも越冬できないことがあるので注意が必要である。太平洋側の温暖な地域や西日本でも、播種時期が遅れると雑草抑制力が低下する傾向があるので、東日本では9月下旬～10月、西日本では11月頃までに播種することが推薦される（藤井1995）。

（2）緑肥の栽培と鋤込み

①播種

緑肥は湿害に弱いものが多いため、水田に緑肥を導入する場合には注意を要する。湿田では暗渠排水や溝切りなどの明渠を設け、水分が過剰にならないように注意する。基本的に水稻収穫後に土壌を荒起こしして、乾燥させた後にロータリー耕で土粒子を砕土してから播種し、軽い覆土を行うと発芽率が高い。

しかし、レンゲやクローバーを水稻立毛中に播種する場合は、特別な準備は不用である。収穫前に水田土壌を乾かし、地耐力がある程度高まった時点で動力播種機やブロードキャスターで散播し、水稻収穫後に稲わらで被覆すれば、十分な個体密度が得られる。しかし、ヘアリーベッチなどの大型種子や水分吸収に時間がかかり、発芽しにくい種子を播種する場合は、播種後に浅いロータリー耕で覆土を行い、さらに鎮圧することで発芽率が高まる。

播種時期は9～10月が中心であるが、シロクローバーやヘアリーベッチは早期に播種すると、初期生育が良く、冬季の雑草を抑制することもできるとともに、翌春のバイオマス量も高くなりやすい。

②緑肥の鋤込み

レンゲやシロクローバー等の剛性の低い草種は、ロータリー耕だけでも鋤込み可能であるが、ヘアリーベッチやイネ科牧草等の剛性の高い草種

表Ⅱ－16 田裏作に適用可能な緑肥草種の養分含有量 (g/kg 乾物)

草種	炭素	窒素	C/N	リン酸	カリウム	カルシウム	マグネシウム
ホワイクロローバー	376	31.7	17.2	6.8	22.5	58.0	11.6
レンゲ	393	24.8	14.1	12.8	49.1	44.6	7.7
ヘアリーベッチ	427	39.7	15.2	6.8	21.5	30.7	9.8
クリムソクローバー	379	28.8	20.5	5.1	41.2	22.8	8.9
エンバク	424	16.0	33.2	6.3	26.8	6.3	3.0
ライムギ	316	11.6	31.3	5.7	32.9	8.9	3.8
イタリアンライグラス	246	11.5	33.1	6.6	39.4	11.0	3.4
キカラシ	382	15.7	21.6	5.1	36.5	12.6	3.4
アンジェリア	420	21.0	33.2	6.1	29.7	65.2	7.8

(agi and Ueno (2009) に一部データを追加)

は、プラウ耕や反転耕による鋤込み、またはハンマーナイフモアなどで細断してからロータリー耕で鋤込むとよい。

鋤込みと同時に緑肥の分解が始まり、緑肥に含まれる養分（表Ⅱ－16）が土壌中に放出され、水稻の元肥となる。窒素に関しては、マメ科緑肥であれば十分量の窒素を供給可能である。マメ科以外の草種はC/N比が高く窒素飢餓の影響を受けることもあるため、適切な窒素施用と十分な分解時間の確保が必要となる。窒素以外の養分についてもリン酸を除けば、水稻の吸収量に対してほぼ十分な量を供給できる。しかし、緑肥バイオマス量が低い場合は、有機質肥料を適宜追肥する必要がある。

特に考慮すべき点は、鋤込み時期と湛水時期である。マメ科緑肥の窒素固定量が最も高いのは開花時期であり、この時期に鋤込むと最も多量の窒素を土壌に供給できる。しかし、緑肥の生育が旺盛で、バイオマスが多過ぎる時は窒素が過剰になり、水稻生育に悪影響を及ぼすので、早めに鋤込み生育量を低くしたり、代かき実施までの期間を長くして脱窒による窒素放出を行うなど供給窒素量の調整を行う必要がある。

表Ⅱ－17に岐阜県平坦地の灰色低地土（乾田）におけるレンゲ導入水稻作の鋤込み時期と移植適期の関係を示した（川瀬1994）。鋤込み時期を遅らせるほど窒素固定量が増加し、開花盛期

である4月21日が最も高くなっている。鋤込むことでレンゲの分解が非常に急速に進行していることが分かる。無機化窒素の一部は脱窒あるいは硝酸態窒素として流亡するので、窒素固定量が多い場合はこれにより窒素量を減らすことができる。しかし、代かきのために湛水すると、嫌気条件になって微生物分解速度が遅くなり、窒素固定で蓄えられた窒素養分はゆっくり土壌に供給される。このため、鋤込み時期から湛水までの期間を調整して緑肥窒素の残存量を調整できる。水稻の元肥に適当な有機態窒素施肥量は、概ね4～6kg/10aと考えられるため、レンゲでは鋤込後25～30日目に湛水を行い、その後、代かき、移植作業を行うとよい。しかし、これはレンゲの生育が順調な場合を想定しているため、レンゲの生育量が低かったり、生育が遅れた場合には、鋤込後湛水までの日数を短くする必要がある。また、気温により分解速度が異なるため、寒冷地では鋤込後湛水までの日数を長めにとり、逆に暖地では鋤込後湛水までの日数を短くする必要がある。

ヘアリーベッチはレンゲに比べて地上部乾物量が安定して高く、単位面積当たりの窒素固定量もほぼ2倍近く高い（佐藤ら2010、表Ⅱ－18）。緑肥の早播（9月10日頃）と晩播（9月25日頃）に分けて3年間播種を行っているが、試験が行われた新潟県長岡市では、この期間の播種であれば比較的安定した緑肥栽培が行えると考えられる。

表Ⅱ－17 レンゲ鋤込み時期と有機態窒素の推定残存率及び残存量（岐阜県平坦地）（川瀬 1994）

鋤き込んでからの経過 日数(日)	鋤込み時期					
	4 月 1 日		4 月 11 日		4 月 21 日	
	残存率 (%)	窒素残存量 (kg/10a)	残存率 (%)	窒素残存量 (kg/10a)	残存率 (%)	窒素残存量 (kg/10a)
0	100	16.8	100	19.0	100	21.1
10	73	12.3	67	12.7	66	13.9
20	49	8.2	43	8.2	41	8.7
<u>25</u>	<u>39</u>	<u>6.6</u>	<u>34</u>	<u>6.5</u>	<u>31</u>	<u>6.5</u>
<u>30</u>	<u>29</u>	<u>4.9</u>	<u>24</u>	<u>4.6</u>	<u>20</u>	<u>4.2</u>
40	13	2.2	7	1.3	3	0.6
50	0	0	0	0	0	0
移植適期	4/30～5/5		5/10～5/15		5/20～5/25	

注 1：下線はイネに適当な残存率と量であることを示す。

注 2：有機態窒素量のうち地下部の量はおおよそ 20%と仮定した。

表Ⅱ－18 緑肥鋤込み時の乾物重及び鋤込み窒素量（佐藤ら 2010）

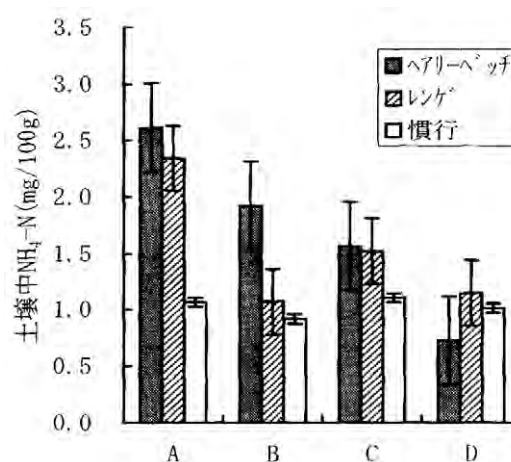
試験区名	2007 年		2008 年		2009 年	
	地上部 乾物重 (g/m ²)	窒素量 (kg/10a)	地上部 乾物重 (g/m ²)	窒素量 (kg/10a)	地上部 乾物重 (g/m ²)	窒素量 (kg/10a)
ヘアリーベッチ早播	320	11.5	239	9.6	341	14.3
ヘアリーベッチ晩播	262	10.0	252	10.1	358	13.2
レンゲ早播	83	2.8	255	7.7	325	7.2
レンゲ晩播	176	6.0	146	4.4	348	7.3

注：2008 年の窒素含有率は未測定のためヘアリーベッチは 4%、レンゲは 3%として換算した。

ヘアリーベッチとレンゲからは栽培初期に多量の無機態窒素が放出され、特にヘアリーベッチは窒素固定量が多いため、栽培期間中、レンゲに比べて土壌アンモニア態窒素濃度が高く推移している（図Ⅱ－12）。また、ヘアリーベッチを毎年連用することにより土壌中のアンモニア態窒素発現量が高まっているため、水稻収穫後もヘアリーベッチ由来窒素は、有機態窒素として土壌に残存し、翌年も発現すると考えられる（図Ⅱ－13）。レンゲでもそのような現象はみられるが、ヘアリーベッチよりも持ち越される窒素量は低い。

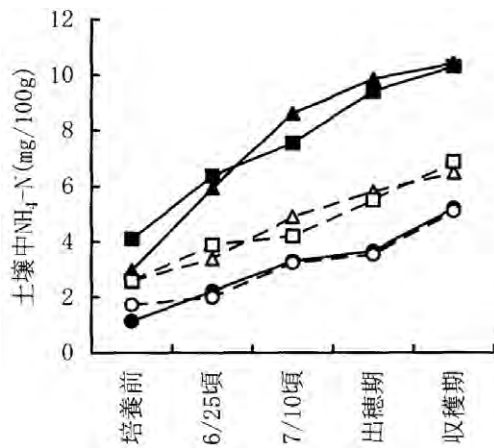
これらのことから、温暖で有機物分解が速く、低肥沃度な水田においては、ヘアリーベッチのような窒素固定量が多く、地力窒素を蓄えやすい草種は有望と言える。しかしながら、寒冷地で比較的肥沃度の高い水田でヘアリーベッチを導入すると、初期の窒素供給量が多すぎて下位節間が長くなり、コシヒカリのような品種では倒伏する危険性

が高いため、レンゲを用いるか、ヘアリーベッチを用いるとしても鋤込みのタイミングを早期化して肥効を調整する必要がある。



図Ⅱ－12 水稻生育期間別の窒素発現量（佐藤ら 2010）

注：A: 移植～最高分げつ期、B: 最高分げつ期～幼穂形成期、C: 幼穂形成期～出穂期、D: 出穂期～成熟期。2008～2009 年の平均、縦棒は標準誤差。



図Ⅱ-13 ヘアリーベッチの作付回数と累積窒素発現量 (佐藤ら2010)

凡例：ヘアリーベッチ区 (●1作目、▲2作目、■3作目)
慣行区 (○1作目、△2作目、□3作目)

水田裏作技術としてまだ確立されていないが、マメ科緑肥とイネ科緑肥を混播して、マメ科緑肥の窒素固定とイネ科緑肥の高い光合成能を活かし、緑肥バイオマス量を増加させるとともに、鋤込み後の窒素供給を緩効的に行える技術研究も行われており、今後、緑肥窒素の高度なコントロールが行える可能性がある。

(3) 緑肥導入・利用上の留意事項

①適切な草種を選択する

水稻作には基本的に施肥が不要なマメ科緑肥の利用が望ましいが、草種により播種適期、開花時期、生育量、窒素固定量が大きく異なるため、栽培圃場の気象、土壌肥沃度、移植開始時期などの条件にマッチングした草種を選択するようにする。緑肥利用はどうしても元肥重点型の肥培管理になるので、水稻の耐倒伏性も考慮する必要がある。また、剛性の高い草種は鋤込みのためにハンマーナイフモアなどの細断機械が必要になる場合がある。

②湿害に注意する

水田裏作に使用できる緑肥は、湿害に弱い草種が多いため、土壌が過湿の場合は生育量が低くなったり、圃場内で生育ムラができる。そのため、湿田では暗渠や明渠排水により、適切な土壌水分が維持できるようにする。

③鋤込みと湛水時期のタイミングを考慮する

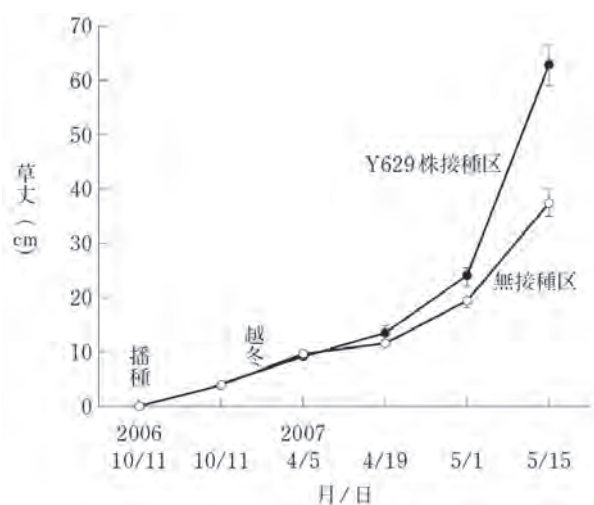
緑肥生育は、苗立ち量、気象などにより生育量や生育ステージが変動することが多い。水稻移植時期はほぼ例年決まっているため、緑肥生育をみながら緑肥鋤込み時期と湛水時期のタイミングを調整する必要がある。緑肥生育が過剰であれば、鋤込み時期を早め、湛水までの期間を長くすることで窒素供給量を低減できる。逆に緑肥生育が不足する場合は、鋤込み時期を遅くし、湛水までの期間を短くする。また、鋤込みから湛水までの期間を寒冷地では長くし、温暖地では短くすることにより、新鮮有機物の分解による生育抑制物質による影響を回避し、水稻による緑肥窒素の効率的な吸収が行える。

④必要に応じて追肥を行う

マメ科緑肥が通常の生育量を確保できれば、水稻の作付けに十分量の窒素を供給することが可能である。しかし、緑肥バイオマス量が少なく、鋤込み時期や湛水時期を調整しても窒素が不足する場合は、有機質肥料による追肥が必要である。また、窒素以外の養分についても緑肥が蓄えた養分でまかなえる場合が多いが、リン酸は不足する可能性が高く、土壌診断に基づき適切な追肥を行う必要がある。

⑤優良根粒菌の接種を行う。

秋田県八郎潟干拓等の寒冷積雪地域において



図Ⅱ-14 黒ボク土圃場での根粒菌接種によるヘアリーベッチ草丈の推移 (佐藤2008)



写真Ⅱ-12 黒ボク土圃場でのヘアリーベッチ
根粒菌Y629株の接種効果

(2007年5月15日) (佐藤2008)

左：無接種、右：根粒菌Y629株接種

ヘアリーベッチを栽培した場合、低温になると生理障害で赤くなり、越冬できず枯死してしまう現象がみられる。佐藤（2008）はヘアリーベッチ栽培土壌から多くの根粒菌を分離し、窒素固定能や根粒形成状態から優良菌株を選抜して、圃場接種実験を行ったところ、生理障害を解消し、生育を改善させている（図Ⅱ-14、写真Ⅱ-12）。

6) 冬期湛水

(1) 冬期湛水の考え方

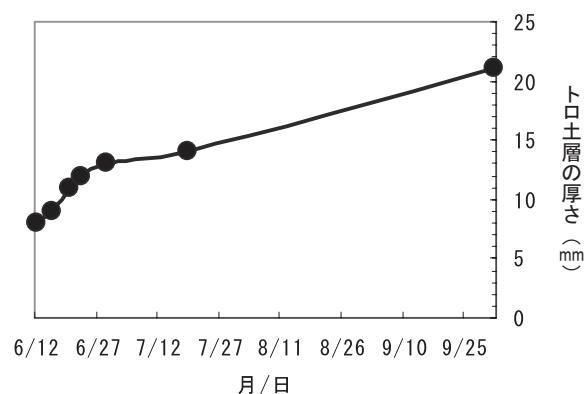
通常、湿田は落水時にも水が滞留し、酸素が遮断されるため有機物の分解が抑えられ、乾田に比べ地力が高い。この地力を発現するため、湿田を乾燥させると乾土効果として無機化した養分を水稻栽培に利用できる。逆に乾田でも通常の落水時期に湛水すると、水が運ぶ養分が蓄積し、養分の溶脱による損失が抑えられるのに加えて、生物活性が高まり、窒素やリン酸の固定が進み肥沃になる。春先に地表面が盛り上がるトロ土が形成されて、コナギなどの雑草抑制にも効果がある（図Ⅱ-15）。

そのため、冬に湛水する「冬期湛水（写真Ⅱ-13）」によって、乾田の地力を高め雑草を抑える有機栽培の土づくり効果が期待されている。

冬期湛水は冬鳥の飛来地となり、生息域や餌の供給地として重要な役割を果たす。これが注目され、ラムサール条約における保全湿地の役割が期待されている。また、湛水することで水田土壌の化学性が改善すると同時に、生物性も向上する。

施肥量を減らしても生育量が増加し、水稻が過繁茂になることが観察されている（図Ⅱ-16）。さらに、水が地下にゆっくり浸透する際水が浄化され、地下水の涵養効果もあり、「超緩速濾過」による水源としての効能も期待されている。

一方、湛水の継続によって機械作業に必要な地耐力が年々低下し、収穫ロスの増加や農業機



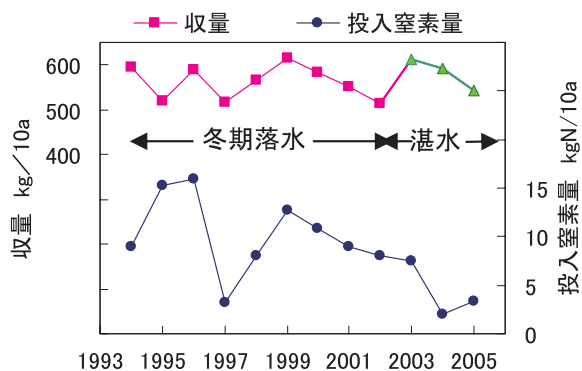
図Ⅱ-15 トロ土層の形成

((財)自然農法センター 2005)



写真Ⅱ-13 冬期湛水田

((財)自然農法センター 2005)



図Ⅱ-16 2003～2005冬期湛水田の窒素投入量
と収量の経過

((財)自然農法センター 2005)

械の劣化による耐用年数の低下など、農作業上の問題がある。さらに、2～3年で透水性の低下と地表が肥沃になるため、水稻は浅根になり、ころび倒伏などの問題も起きる。機械作業に適度な排水を、どのように行うか、適当な湛水期間や湛水を隔年に実施するなど地域の条件に応じた方法の工夫が必要である。

(2) 冬期湛水の方法と留意事項

冬期湛水は用排水条件や水利権等を確認して、集落への影響や地域の慣習に配慮して、地域の営農の妨げとならない場所で行う。水量が豊富であれば日減水深は余り問題にならないが、漏水田では代かきが必要となる。収穫後に湛水できる状態にするため、乾田では代かきを行い、湿田では排水口を止めて湛水する。湿田では不耕起でも水を多く入れれば湛水状態となるが、多年生雑草が繁茂しやすい条件をつくるので、雑草量に応じて収穫後の耕起・代かきを適宜行う。

一期作の地帯では、収穫から翌年の田植えまで5～6カ月間あるが、春先に過剰に乾燥する場合は、早期に湛水すれば冬期湛水と同様の効果が得られる。

また、湿田地帯では周年湛水は考えず、湛水期間を限定して中干し期、収穫期の2度は徹底した排水により稲作に適した透水性を確保する。

なお、最も乾燥しやすい時期に排水すると養分の溶脱も激しくなるので、出穂期前と収穫期前に地下水位を低下させる方法で行う。この場合透水性を回復させるには、落水して表面から乾燥するよりも、出穂期までに根系を深く発達させて根の働きによる水分吸収により内側から乾燥する方が好都合である。蒸散量は温度により変わり、最も水分吸収と蒸散量が多くなる出穂直前の落水は根を深く張らせ、稲の倒伏防止にも役に立つ。

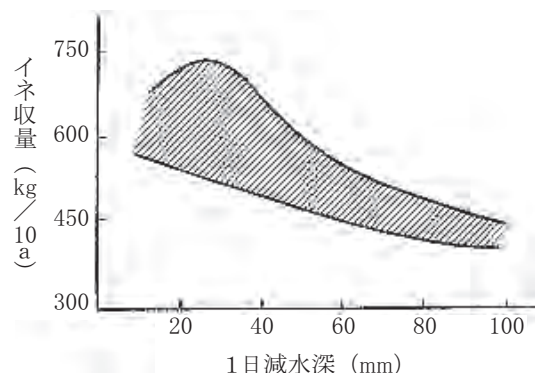
7) 排水対策

(1) 排水・保水対策の考え方

透・排水性や保水性がよい圃場は、地力の維持・増進に繋がり、また、水稻の根に十分な水

と酸素が供給され、稲体の健全な生育に繋がる。水稻作においては、通常、収穫期と春先及び中干し期の3回水を落とし、地下水位を下げて田面を乾燥させる。地下水位が高い湿田は、地力維持という面では優れているが、有機物施用の際の還元障害の発生や地耐力が低く機械走行が困難となりやすい。一方、乾田では地下水位が低く、機械走行は容易であるが、水持ちが悪く水不足や低水温、養分溶脱のため地力が低下しやすい。しかし、乾田は大型機械の走行による踏圧等で水持ちが調節しやすく、排水対策の方が課題として大きい。

排水対策の要点は、水が滞留しない水位を維持しつつ、日減水深を確保することにある。そこで近年、目詰まりを解消しメンテナンスの必要が少なくて済む、入排水に利用出来る地下灌漑排水システムが実用化されている。これらの方式は、水稻の必要な部分に必要な量の灌漑ができ、短時間で地耐力を回復でき、減水深の調節を簡単にできる利点を持っているので普及が進みつつある(第3部「Ⅱ.有機大豆作の栽培技術解説」の「圃場排水対策」の項参照)。



図Ⅱ-17 日減水深と稲収量 (五十崎1956)

(2) 排水対策の方法と留意事項

①水稻の生育条件からみた透・排水性

通常、水稻は湛水状態で生育するが、一般的に減水深で20～30mm/日程度が水稻の収量の面からも適当とされている(図Ⅱ-17)。

浸透水は畦畔浸透と耕盤浸透とからなるが、畦畔浸透は排水路側の浸透が大きく、耕盤浸透は

地下水面の高さや土性などの浸透が異なる。作土の浸透が大きく耕盤浸透が大きい場合は、ていねいな代掻き、客土や床締めなどで耕盤からの浸透量を少なくする。

一方、作付期間中の日減水深（畦畔漏水を除く）が5mm未満の場合は、暗渠排水や圃場内の明渠設置を行い、代かきを省略した方がよい。寒冷な地域や湿田域ほど地力は蓄積し利用しにくくなるため、地力を発現させる観点から透水性を改善し乾田化を図ることが、稲作を安定化させる土づくりに繋がる。なお、代かきの工夫によっても下層土の透・排水性を確保するように、深水による浅代かき（深水浅代かき法）でトロトロ層をつくる。この時下層土を粗く起こし、表層土を細かく代かきすることで、排水機能を高く維持できる。逆に、漏水田や温暖な地域では、地力の消耗が激しいので、ていねいな代かきや湛水期間を長くして、地力を高める必要がある。

②有機栽培における中干しのねらい

水稻の冠根の発根は出穂期（止め葉の展開）までで終わり、登熟まで分枝根が増加するが、遅く出た根ほど活性も高く、上根となりやすい。しかし、地下水が下がると根が下方に伸張するので、出穂20日前頃から水位を下げて下向きの根を増やす。また、出穂期前後が水稻の吸水と蒸散量が最大になる時期であり、水稻の根群によって縦浸透を促し水みちをつくることになる。

地下水位が低下すると、深く張った根の活性が高まるので、登熟期の光合成を支えながら、地表水を低下させても最後まで枯れ上がらない地上部をつくることに繋がる。

③透・排水性と有機物の分解

水田の排水性が悪いと鋤込んだ稲わらの分解が遅くなり、水稻の生育不良や雑草の繁茂を助長する。有機物の分解は湛水よりも畑水分状態で進むので、稲刈り前から暗渠及び明渠による落水で地下水を下げ、土壌が乾燥した状態をつくり、収穫後すぐに稲わら等の粗大有機物を鋤込めるようにしておく必要がある。

特に、排水不良田では暗渠排水や補助暗渠な

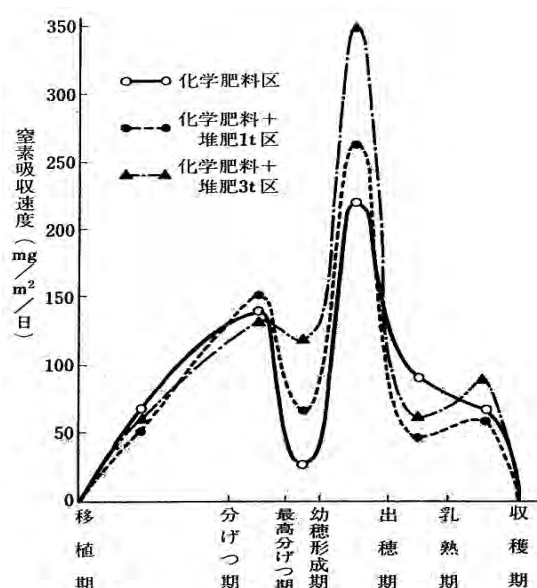
どが必要であるが、排水対策の簡便法として額縁明渠を掘る方法もある。額縁明渠は圃場内周辺に溝幅25～35cm、深さ30～40cmの明渠を掘り、その終点を排水口に連結させ圃場外に排水する。これでも排水が不十分な場合には圃場内に小排水溝を掘り額縁明渠と連結させる。しかし、暗渠などの過度の利用は部分的な漏水を引き起こしたり、暗渠の損耗が進むので、自然の乾燥状態で有機物分解を進める方がよい。

4. 施肥管理技術

1) 水稻の養分吸収の特徴

水稻の生育に大きく影響する窒素については、移植後分げつ期にかけて吸収が増加するが、最高分げつ期から幼穂形成期にかけて最低となる。その後、幼穂形成期から出穂期にかけて最も窒素吸収が旺盛になる。その後は収穫期まで窒素の吸収は低下していく（図Ⅱ-18）。

有機水稻の場合、地力窒素に依存する割合が高いが、地力窒素の発現は地温に左右され、温暖地と寒地、寒冷地とでその発現パターンは異なる。温暖地では寒冷地水田と比べ地力窒素の発現が生育初期に偏り、無効分げつが多くなりがちで秋落ちの生育パターンとなりやすい。一方、寒



図Ⅱ-18 堆肥施用と稲の窒素吸収速度
(安西ら1983)

地、寒冷地では地力窒素の発現が遅く、地温が上昇するまでの初期生育の確保が重要である。

こうした地力窒素の地域による相違から、温暖地においては分げつ増加に寄与する元肥をできるだけ減らし、寒地、寒冷地においては初期生育を促すため速効性の有機質肥料が元肥に利用されることが多い。

有機稲作では田植えから最高分げつ期には深水管理とし、無効分げつを減少させるとともに、地力窒素を徐々に発現させ、幼穂形成期から出穂期にかけての最も窒素吸収の多い時期に窒素を効かせるような形が望ましい。穂肥は水稻の葉色等を見つつ必要に応じて施用する。

2) 有機物施用と養分管理

(1) 堆肥の肥効率

堆肥を連用していると土壌の地力窒素の含有量が高まってくる。堆肥の施用量や有機質肥料の施用量を検討する場合、特に地力窒素などの蓄積量との関係が重要となる。

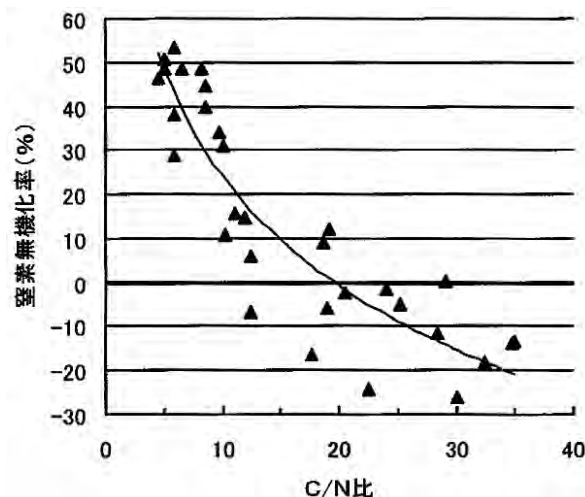
堆肥の窒素成分は成分量が全体として高くなってきているとともに、堆肥の種類や材料によってかなり異なる。特に、副資材としてオガクズ、籾殻等炭素を多く含むものは分解が緩やかで窒素の肥効が低いのに対し、家畜糞単独で堆肥化するものは肥効が高い傾向がある。成分表示のC/N比の大きい堆肥は窒素の肥効率（化学肥料の肥効を100としたときの堆肥の肥料としての効果の比率）が低く、C/N比20以上のものは、ほとんど窒素の肥効は期待しにくい（図Ⅱ－19）。

特に最近の鶏糞堆肥については乾燥鶏糞、発酵鶏糞等発酵条件によって窒素含量に大きなバラツキがあり、窒素肥効率も全窒素含有率の大きなものほど窒素肥効率が高い傾向がある。こうしたことから、最近では畜種の違いではなく、窒素成分で肥効率を判断するようになってきている。県によっては肥効率を提示しているところもある。

なお、堆肥中に含まれるリン酸と加里の有効化率については、最近のデータ等では堆肥の種類や成分含量に関わらず、リン酸8割、加里9割程

度としている例が多い。千葉県では堆肥の肥効率の目安を表Ⅱ－19のように提示している。

また、堆肥は連用すると肥効率が高まってくる。こうしたことから、数年経ったら堆肥の施用量や元

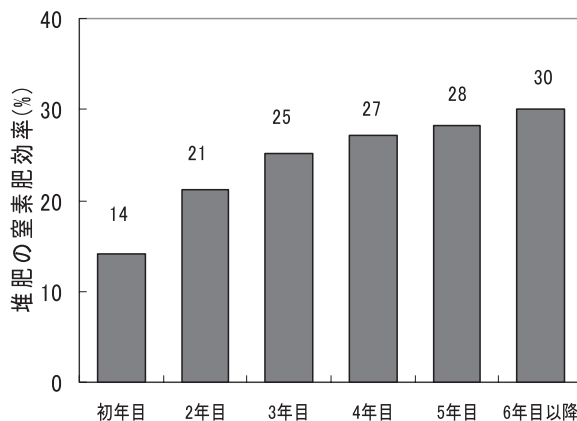


図Ⅱ－19 炭素率と無機化の関係
(神奈川県農業試験場2008)

表Ⅱ－19 千葉県における家畜糞堆肥の肥効率の目安

	堆肥の全窒素含量(乾物当たり)	窒素	リン酸	加里
牛糞堆肥 と豚糞堆肥	2%未満	10	80	90
	2～4%	30	80	90
	4%以上	60	80	90
鶏糞堆肥	2%未満	10	80	90
	2～4%	50	80	90
	4%以上	60	80	90

(千葉県 HP)



図Ⅱ－20 牛ふん堆肥の連用年数と窒素肥効率
(茨城県農業研究センター 2009)

肥有機質肥料の施用量を減らす必要がある（図Ⅱ－20）。

（2）土壌診断と養分バランスの是正

有機栽培では慣行栽培の場合と同様に、定期的に水田の土壌診断により養分バランスの状況を把握して問題点を把握し、施肥管理に活かしていくことが重要である。

水稻の収量に影響を与える養分としては窒素が最も大きい、そのほか有効態リン酸、交換性加里の含量も収量に影響を与える。また、有効態ケイ酸はいもち病の抵抗性を増すとともに、高温障害による品質低下を受けにくくする。しかし、近年河川からの流入量が減少してきていることが明らかになっている。

①地力窒素

堆肥等有機質資材を施用していると、地力窒素の発現が多くなって水稻が倒伏しやすくなったりする。このため、地力窒素の高まり等を把握し診断していくことが重要である。地力窒素は地温等により変化するので、正確に把握することは難しい。

地力窒素の診断法としては、作土を用いて30℃（最大容水量の60%の水分状態）で4週間培養して発現してくる無機態窒素量を測定する方法と、積算地温から地力窒素の無機化量を推定する方法がある。また、最近では簡易に地力窒素を測定する簡易分析法も開発されているが一般化していない。

これらの方法について、現在一般の分析機関で対応しているところは少なく、現地で活用しにくい。地力窒素の発現は土壌中の有機物含量が大きく影響するので、大雑把ではあるが、多くの分析機関で行っている腐植含量や全窒素含量により推定することができる。

これにより、大まかに把握するとともに、水稻の生育状況などを見ながら施肥設計に生かしていくことが現場での現実的な対応である。

②有効態リン酸

リン酸過剰といわれているが、土壌分析をしてみると不足している実態が有機稲作田でも見ら

れる。前述の栃木県T有機稲作農家の有機9年No.21水田は有効態リン酸が2mg（県基準10～30mg）とかなり少なく、これが茎数不足等により収量に影響しているものと見られる。また、リン酸不足の圃場の観察結果からトロトロ層の形成などにも影響があると考えられる。こうした、リン酸不足は特例的ではなく他地区でも見られる。宮城県の有機稲作グループで土壌診断を行った調査結果は図Ⅱ－21の通りであり、有効態リン酸含量の低い有機稲作田での収量が低い傾向がある。有効態リン酸は10mg未満の場合は施肥リン酸による収量向上効果が極めて高く、30mg以上になるとほとんど収量に影響がないという研究データもある。

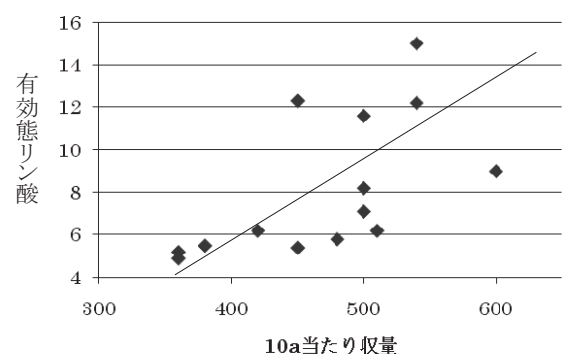
③交換性加里

交換性加里は20mg未満の場合には施肥加里による収量向上効果が大きく、40mgまでは収量が向上する。これを超すとほとんど収量には影響がないという研究データがある。

④ケイ酸

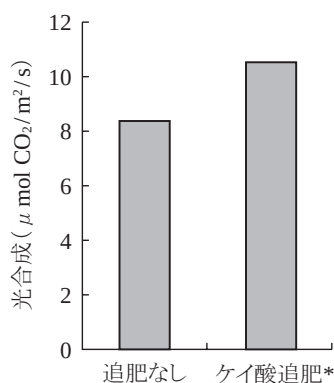
水稻はケイ酸を多量に吸収し、窒素の約10倍量を吸収されている。水稻はケイ酸を好む作物で、次のようなメカニズムで高温障害による品質低下を抑制するとともに、食味の向上にも役立っている。

水稻がケイ酸を吸収することにより、茎や葉の表面にケイ化細胞が形成され、葉が直立し下葉の枯れ上りが少なくなる。また、受光態勢が改善され光合成が盛んになり（図Ⅱ－22）、デンプンで米



図Ⅱ－21 有機水稻栽培での有効態リン酸と単収
（（財）日本土壌協会 2010）

注：宮城県大崎市の圃場での調査結果



図Ⅱ－22 ケイ酸の追肥が葉身光合成量に及ぼす影響（北海道立上川農業試験場）

注：* 幼穂形成期1週間後にシリカゲル（ケイ酸）を2株に15gを施用した。

粒が充実して心白粒や乳白粒等が減少し（図Ⅱ－23）、タンパク含量も低下して食味の面でもプラスとなる。さらに、根にも炭水化物を補給し根の活力も維持できる。

なお、ケイ酸の土壌診断基準は15mg以上が適正レベルとなっている。特に11mg以下でケイ酸の施用効果が高いという研究データがある。

⑤ pH

pHについては、一般には水稻の適正值として5.5～6.5とされているが、後作に大豆（適正pH 6.0～6.5）、麦（適正pH 6.0～7.0）を作付けること及び微生物の活性等を考慮した場合、pH 6.0未満にならないような管理が望ましい。

【参考：土壌分析による養分バランスの診断事例】

有機水稻においても養分バランスが崩れていて生育、収量が劣るケースが見られる。

新潟県M市の灰色低地土の水田で、20年ほど水稻の有機栽培（コシヒカリ）を行っているH氏の有機稲作田について、土壌診断と有機水稻の収量調査を行った。H氏は有機水稻を2.2ha栽培しており、その中で収量の良い圃場とやや劣る圃場があったので土壌分析を行い比較した。

「収量の劣る圃場」と「収量の良い圃場」とを比較しての特徴としては（表Ⅱ－20）、

- i. 腐植含量が低い。
- ii. 交換性加里含量がかなり低く、収量が低下するレベルになっている。
- iii. 有効態ケイ酸含量が低く、ケイ酸施肥効果の出るレベルの濃度である。

（光合成活性が低下し収量に影響するレベルである。）

なお、微生物多様性・活性値は腐植含量の違いも影響し、「収量の良い圃場」の値が高くなっている。

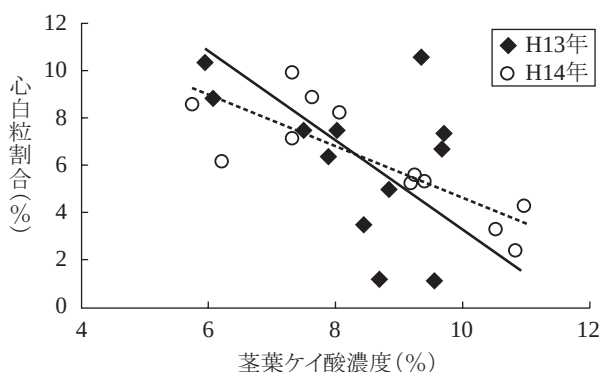
表Ⅱ－20 コシヒカリ「収量の劣る圃場」と「収量の良い圃場」との土壌分析値の比較

圃 場	10a 当たり 収量(H23)	pH	CEC	磷酸吸収 係数	腐 植 含量(%)	アンモニア態 窒素 mg	硝酸態窒 素 mg
有機水稻(収量劣る)	455	5.7	15.6	450	2.4	1.7	0.3
有機水稻(収量良)	480	5.8	15.6	616	3.3	1.8	0.6
県土壌診断基準	—	—	—	—	—	—	—

（続き）

圃 場	有効態リ ン酸 mg	交換性加里 mg	交換性苦 土 mg	交換性 石灰 mg	有効態ケ イ酸 mg	塩基飽和 度(%)	微生物多様 性・活性値
有機水稻(収量劣る)	12.9	8	11	76	6.6	22.0	578,245
有機水稻(収量良)	22.3	18	21	180	12.4	50.4	826,714
県土壌診断基準	10～	—	—	—	15～	51～72	—

((財)日本土壌協会)(2011)



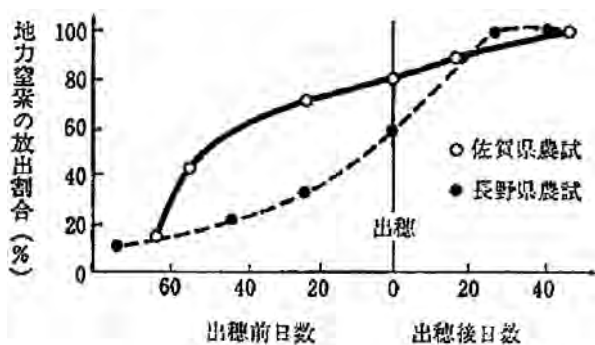
図Ⅱ-23 成熟期茎葉ケイ酸濃度と心白粒割合
(富山県農業技術センター 2003)

(3) 追肥の基準

①追肥の考え方

有機栽培に移行後、肥料の残効がある期間は地力が低いのに初期生育が過剰となるため、秋落ち傾向になる。そこで、元肥を減らし追肥で登熟歩合を上げる必要がでてくる。有機栽培を長期間継続した場合には、無機態窒素が減少し地力窒素が増加して、初期生育が遅延する一方で、最高分げつ期あたりから地力窒素の発現が進み、追肥の必要がなくなる。こうした地力窒素の発現量に応じて、段階的に追肥量を決めていく。

また、地力の発現時期が初期から旺盛となる暖地(佐賀)と、夏場に多くなる寒冷地(長野)では、養分の過・不足となる時期が異なる(図Ⅱ-24)。さらに、前作の麦わらなどの鋤込みを行う1年2作体系では、栽培中に窒素の取込みと放出を伴って、寒冷地のような養分発現になる。地力窒素の放出量に合わせて、必要な施肥量や施肥時期を見極めて追肥の方法を決める。



図Ⅱ-24 地力窒素放出割合の推移(出穂期基準)
(農業技術体系(暖地環境での生育相と生理反応))

田植え直後に米糠などの有機質を発酵させて田面に散布すると、分解と同時にアンモニア態窒素やミネラル分等が溶け出して、水稻の生育を促す追肥の効果が得られる。作土中の稲わらなどが分解熟成していると、施用した米糠の分解が促されるので、より効果が高くなる。地力が高い水田では、田植え後に散布した米糠ボカシにより、登熟歩合や千粒重が増加することが確認されており、肥効は長期にわたる。

②追肥の方法

初期の地力窒素の発現が少ない場合、有機栽培の継続田での収量・品質を高める効果的な追肥時期は、田植え直後がよい。初期の養分が十分にある場合や、有機栽培に移行して地力の低い時期には穂肥を行うと効果的である。穂肥の施用時期は無機化による肥効の遅れを想定して、出穂40日前頃が適当である。この時点で初期生育が遅れて葉色が葉緑素計のSPAD値35以上と濃い場合には、増収効果も乏しく品質の低下につながるので追肥は行わない。

地力窒素の発現が遅れる低温時の養分補給としては、より速効性が求められるので、アミノ酸態窒素を含む液肥の利用が効果的である。低温期にはCN比10程度の速効的な有機質肥料を利用し、穂数や登熟の向上にはCN比20以上の遅効的な肥料を田植後に田面施用するか、さらに、堆肥や収穫残渣に類する速効的な肥効が期待できない有機物の継続的施用によって地力を高める。こうした表面追肥を経年に行い、地力を高め、徐々に地力を主体とした養分供給を行う。

3) 有機栽培で利用される肥料等の特性

有機JAS規格で許容されている肥料(有機JAS規格に基づく厳密な説明については、別途解説を加えた巻末の参考資料「有機農業で使用可能な資材等」を参照されたい)で、有機栽培において使われることの多い肥料等の機能や利用上の留意事項は以下の通りである。

①石灰質肥料等

カルシウムは植物体内において有機酸の中和

や糖の転流に関係する。体内で移動しにくい元素であり、欠乏すると新葉の先端部が白色から黄色に変色して枯れる。この時の症状はイネシンガレセンチュウによる被害に類似する。石灰質資材の施用は不足するカルシウムの供給以外に、土壌酸度の中和や有機物の分解促進に効果がある。

有機JAS規格で許容されている石灰質肥料には、生石灰、消石灰、炭酸カルシウムがある。生石灰と消石灰では10a当たり80～120kgを元肥として施用し、炭酸カルシウムの場合は1.8倍量とする。また、貝化石粉末、貝殻粉末も炭酸カルシウムとして使用できる。

②加里質肥料等

カリウムは、植物体内において細胞の浸透圧調整、タンパク合成、糖の転流に関係する。体内で移動しやすい元素であり、欠乏すると下葉の葉脈間や周縁に淡黄色や淡褐色の斑点ができ、葉幅は狭く、草丈は低くなり、稈は細く倒伏しやすくなる。また、根の発育が悪くなり、根腐れの症状を示す。土壌中にカルシウムやマグネシウムが多量に存在するとカリウムの吸収が拮抗阻害され、欠乏が助長される。一方、植物体中にカリウムが多いと稈の強度が高まり、根の発育や登熟が向上する。

有機JAS規格で許容されているカリ質肥料にはパームアッシュなどの草木灰や塩化カリ、硫酸カリ、硫酸カリ苦土がある。草木灰は全カリの80～90%が水溶性であり、普通の灰類中のカリは硫酸カリ、塩化カリと同じくらいの肥効を示す。石灰の含量も多いので、強いアルカリ性を示し石灰質資材としても使用できる。

塩化カリは、水田に施用する場合は土壌に良く吸着されるので、元肥にも追肥にも適している。無硫酸根肥料であるので、老朽化水田や湿田などに好適である。また、副成分の塩素は、水稻の生育後期に繊維を多くして倒伏抵抗性を強くし、石灰や苦土などの吸収を促進して茎葉を強くするのに効果がある。硫酸カリは水田に対しては塩化カリと同じように使用できるが、硫酸を含むので老朽化水田や湿田などでは使用を避ける。追肥として施用する場合は出穂前35日から40日に10a当

たりカリ成分で2～4kgを施用する。硫酸カリ苦土は、水溶性のカリと苦土を含んだ肥料である。苦土欠乏が出やすい地帯では、カリの施用量が少し多くなるとすぐ苦土欠乏が出る。硫酸カリ苦土はこのような地帯に向く肥料である。

③リン酸質肥料等

リン酸は、植物体の呼吸や光合成などの生命活動に必須の元素である。欠乏すると葉は暗緑色から暗紫色に変色し、茎は細く、古い葉には赤褐色不定形の斑点や葉脈に沿った褐色条斑ができる。植物体内での移動が容易なため、欠乏症状は古い葉から現れ下葉から黄化する。また、草丈が低く、分げつが少なくなり、不稔や登熟が不良となる。有効態リン酸が少ない火山灰土壌や新規に造成または客土を行った圃場では欠乏症が出やすい。

有機JAS規格で許容されているリン酸質肥料には熔成りん肥（熔りん）、天然リン鉱石がある。10a当たり40～80kgを元肥として施用する。有機質肥料では海鳥やコウモリの糞や遺骨の堆積物であるグアノ（窒素12%以上、リン酸全量8.0%以上、カリ全量1.0%以上）も使用できる。このリン酸はリン酸三石灰のためか肥効はあまり高くない。

④ケイ酸質肥料等

水稻はケイ酸を多量に吸収する作物であり、植物体中に10～20%含まれる。ケイ酸は茎葉組織に集積され、稲体を丈夫にし、受光態勢向上による光合成能力の促進、倒伏の防止や虫害耐性を向上させる。最近では高温障害対策にケイ酸の効果が評価されている。いもち病などに対しては病原菌の侵入を物理的に阻害する静的抵抗性を高めるとともに、抗菌物質の産生を促すなどの動的抵抗性を誘導することが知られている。

ケイ酸は土壌や施用される稲わらなどの有機物から供給されるが、灌漑水中にも含まれ重要な供給源となっている。地域により土壌や灌漑水からの供給量が少なく、施用される有機物のみでは水稻の生育に必要な量が確保できない場合、ケイ酸質肥料の施用により不足分を補う。

有機JAS規格で許容されているケイ酸質肥料に

は鉍さいケイ酸質肥料のケイカルがある。前年の収穫後に10a当たり100～200kgを散布して鋤込む。追肥で施用する場合は最高分けつ期から幼穂形成期に行う。

⑤鉄肥料等

鉄は水稻にとって極めて重要な元素である。水稻の作付期間中発生する有害成分である硫化水素を無害の硫化鉄に変えたり、水稻の根の周囲に硫化鉄の皮膜をつくり硫化水素やメタンガスなどの有害成分から根を守る役割をしている。

鉄分の不足は土壤中の硫化水素の発生を多くし、これが水稻の根腐れを引き起こすとともに地上部の代謝にも影響し、登熟を不良にする。腐植質の多い湿田では、夏場の高温時に腐植が急激に分解されて土壤が還元状態になるため、硫化水素が発生して生育に悪影響を及ぼす。このような土壤に起因する生育障害は秋落ちと呼ばれるが、これがごま葉枯病やいもち病などの感染性病害を助長する誘因となる場合がある。

秋落ちが発生しやすい水田では、有機JAS規格で許容されている含鉄資材として鉍さい（特殊肥料）、微量要素複合肥料を施用することにより流亡した無機成分を補うとともに、土壤中の鉄含量を増やして硫化水素の発生を抑制する。

⑥苦土質肥料

マグネシウムは、葉緑素の中心元素であり、植物生育の必須元素である。マグネシウムが欠乏すると葉緑素の生成能力が低下し、葉色は緑色から淡黄色に変化して光合成能力が衰え、糖質の合成量が減少する。苦土肥料は作物の燐酸吸収を促進させる働きがある。

有機JASで許容されている苦土肥料には硫酸苦土肥料（硫マグ）、水酸化苦土肥料（水マグ）がある。硫酸苦土肥料は水溶性苦土を25%含む。生理的酸性肥料なので、酸性土壤の場合は石灰質肥料を用いて土壤の酸性を中和する必要がある。また、副成分として硫酸根（ SO_4 ）を含むため、鉄分の乏しい老朽化水田などでは硫化水素に変わり根腐れを起こして秋落ちの原因となるので注意する必要がある。水酸化苦土肥料はく溶性

苦土を60%含み、塩基性を帯びているので土壤の酸性を中和できる。基肥としてよく土壤に混ぜて利用するのが適当である。

苦土質肥料ではないが、「ようりん」もく溶性苦土を15%含有しており、特に酸性土壤でリン酸、石灰が少ない土壤には使用できる。また、平成24年度から新たに軽焼マグネシウムも使用できることになった。これは、肥料規格では副産苦土肥料に属しており、く溶性苦土を80%含有する。

⑦堆肥・土壤改良資材

i. 堆肥（特殊肥料）

堆肥（有機JAS規格では「たい肥」として表示されるが、本節では一般的な説明を主目的としているため「堆肥」とした）は、わらなどの植物質を腐熟したものである。窒素の大部分は有機態であるため、肥効は継続的であり、初年目は約30%しか作物に利用されないが残効は大きい。リン酸含有量は少ないが、作物に吸収しやすく、リン酸の欠乏している火山灰土壤では効果が大きい。カリは大部分が可溶性で速効的である。さらにケイ酸が多いため水田への施用は効果がある。その地域の施用基準に合わせた施用が必要である。

ii. 厩肥（特殊肥料）

家畜や家禽排泄物を敷料とともに腐熟させたものである。一般に家畜糞堆肥といわれるもので、牛糞堆肥、豚糞堆肥、鶏糞堆肥などである。

- 牛糞堆肥：牛糞を主体に堆積発酵したものは、肥料成分は低く、土壤改良効果が高いことから、どんな作物でも使用できる。他の畜糞堆肥と比較すると、窒素成分が低く加里がやや高く、土壤中での分解は遅い。
- 豚糞堆肥：牛糞堆肥に比べると窒素成分とリン酸成分が多く、特にリン酸分が多い。土壤に施用した場合、牛糞堆肥より分解が速いが鶏糞より遅く、肥料的効果と土壤有機物としての効果の両面が期待できる。
- 鶏糞堆肥：全体として牛糞堆肥、豚糞堆肥に比べると速効的である。成分としてはリン酸の含有率が高い。採卵鶏堆肥については石灰含有量が高い。また、鶏糞堆肥は窒素成分が多い

ものの少ないものとバラつきが大きい。

iii. 食品製造業に由来する堆肥（特殊肥料）

コーヒー粕、醤油粕、豆腐粕など食品加工残渣に副資材を加えて発酵したものである。成分としては窒素が多い。なお、茸類菌床残渣堆肥はバーク堆肥に近い土壌改良効果がある。

iv. 生ゴミに由来する堆肥（特殊肥料）

生ゴミを分別回収したものに副資材を加えて発酵処理したものである。成分としては窒素が多い。

v. バーク堆肥（土壌改良資材）

広葉樹、針葉樹の樹皮に鶏糞等を添加して好気性発酵させたものである。成分は低く土壌改良効果が高く保肥力を増す効果がある。

VI. ぼかし肥料（発酵有機質肥料）

有機質肥料や山土などを混ぜて堆積し微生物を利用して発酵させたものをいい、有機質発酵肥料とも呼ばれている。ぼかし肥料の効果は、土と微生物と有機物の共同作業によって、農作物の養分供給を効果的にし、土壌の生態的環境を豊かにする。

⑧ベントナイト（土壌改良資材・政令指定）

天然鉱物のベントナイトの膨潤性を生かして漏水田の改善に用いれば顕著な効果を示し、併せて保肥力を高め、養分の流亡を防ぐ。また、ベントナイトは約70%のケイ酸を含むが、かなりの部分が可給態で、イネの茎葉を強健にして収量の向上に寄与する。

4) ボカシの作り方・使い方

(1) ボカシの作り方

①ボカシ作りの基礎

ボカシ（発酵有機質肥料：以下本項では一般的に用いられている呼称に従い「ボカシ」と記述する。）は、有機性肥料や食品、産業、生ゴミ由来の分解しやすい有機質資源を事前に発酵させて、いわゆる“ボカシ”を作り、施用することで、土壌中でゆっくり分解を続けさせることができる。ボカシは育苗用土に混合すると、出芽中に2次発酵が進み、立ち枯れやムレ苗の原因になる。有機稲作では田植え後の田面施用に適している。

ボカシは作り方によって好気性発酵有機質肥料と嫌気性発酵有機質肥料に分けられる。ここでは、製造期間は長い、手間がかからず、長期間保存が可能な嫌気性発酵有機質肥料の作り方を紹介する。

利用する材料は、米糠などの新鮮な有機物を主とし、水分を30%程度に調整して密閉しておく、米糠等の表面に生存する乳酸菌の働きも加わって乳酸発酵し、サイレージあるいは漬け物のような好ましい香りの発酵が起こる。発酵を補うために、水溶性の糖分（糖蜜など）を加えたり、さらに安定して微生物を増やす種菌として乳酸菌や酵母菌の混合液を添加することが広く行われている。特に、窒素含量が高い有機質を材料とする場合には、酪酸菌などの腐敗臭を伴う分解菌が優占しやすいので、新鮮な材料で密閉を厳密にして嫌気状態下におき、種菌の添加などで発酵を安定させる。さらに、一度うまく発酵させたボカシを種菌として、一部を新しい材料に混ぜても、発酵が安定する。

粒状の有機質資材ならほとんどボカシにすることができる。米糠単体でも分解が進むが、安定した養分供給効果を得るには、米糠や油かすを主体として、全窒素含量が5%程度になるように配合する。より熟成を進めるために、pH調整剤として卵殻などを添加し発酵を補うこともできる。

新しい酸素供給を絶つ嫌氣的な発酵によって、温度は25℃～40℃程度まで上がるが、温度が低い時の立ち上がりには、やや高めの温度に保温して、早めに好気分解をさせて酸素を消費させ、良い発酵に繋げる。pHの低下とともに酸素が消費されて分解が収まり、50日程でサイレージ程度の1次発酵は終わり、そのまま長期間保管しておくことでゆっくりと熟成が進む。

②ボカシ作りの留意点

温度変化の激しいビニールハウスなどでは、結露して水分が過剰となり腐敗しやすいので、低温でも温度が安定する屋内で発酵させる。嫌氣的に発酵させたボカシは、水田表面に施用されると、他の微生物や動物によって新たな分解が始まるが、発酵堆積中に生産した有機酸などは、微生物

物種によって利用しやすさが異なる。乳酸は光合成細菌が利用しやすい有機酸である（原田・平田 2011）が、乳酸菌や酵母菌が働いて生成した有機酸を、紅色非硫黄細菌型の光合成細菌が資化（栄養源にして利用）することで、メタン生成菌の活動を抑制し、水田で窒素固定が進み、水稻の生育環境にとって有利な条件となる（加藤・犬伏 2011）。

肥効は、化学肥料の 70% 程度と想定して施用量を設定するが、微生物を増やし土壤動物を増やす適量は、各圃場毎に検討を要する。

（2）ボカシの使い方

①ボカシの使い方の基礎

生態系を構成する生物に利用されるには、施用前の発酵熟成が重要であり、微生物の働きにより、利用しにくい養分の可給化と、初期に過剰放出されて有害となる養分の保持力を高めることができる。ボカシは生育初期に不足しがちな窒素の供給によって、水稻の生育を安定化させると同時に、雑草に対しては田面施用によって出芽を抑制する効果が得られる。

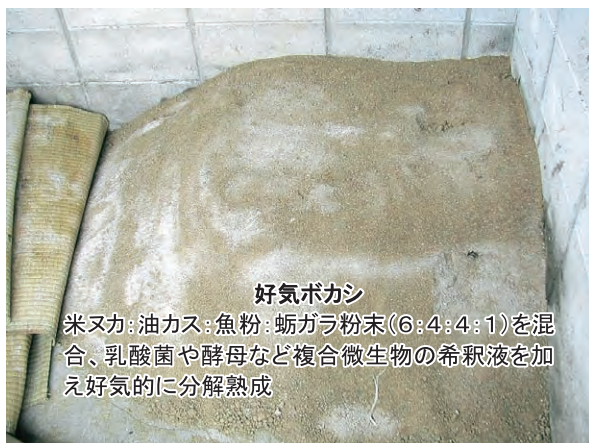
田面への有機質資材散布は、除草効果よりも水稻の生育促進効果を優先させ、さらに、土づくりに繋がるように、雑草以外の様々な有用生物に利用されることを念頭に、発酵させて施用することが重要である。発酵した有機物によって、水田の表面にいわゆるトロトロ層と呼ばれる構造ができる。

土壌中の微生物の働きでイトミミズは繁殖する環境を得て、地表のトロ土づくりに貢献する。地表面の土壌粒子は粘土粒子が数個繋がった直径 60 ミクロン(1/1000mm)ほどの微少団粒である。ていねいな代かきなど細かく砕かれた土が地表面に積もるだけでなく、微生物の働きで適度につながれた状態になっている。さらに、イトミミズの腸内を通過して排泄されたより大きめの団粒も形成される。

②ボカシの使い方の実際

ボカシは田植え後の表面施用が最も効果的であるが、ほかにボカシ抽出液を液肥として利用する方法もある。春先の鋤込みは生の有機質肥料に比べると害が少ないが、肥効が劣るきらいがあるので、低温時や養分不足の場合は、分解を早めるために、好氣的な二次発酵をさせてから施用する。本田の土を加えて二次発酵させる「土ボカシ」を作って施用すると、より速効的な効果が得られる（写真Ⅱ－14）。

有機物を乳酸菌と酵母菌、放線菌、納豆菌などで一次的に発酵処理をしたものは、未分解の有機物であり、これを地表の浅い場所に施用し、暖かい時期に急激に分解させることで、除草効果が得られる。浅水に管理しても、田面の酸化が抑えられることで、雑草の発芽が抑えられる。その場合、大苗・健苗の稲苗をボカシの届かない少し深目に田植えをすることで、分解による障害を受けないようにして、雑草よりも高い耐性をもたせることが重要である。



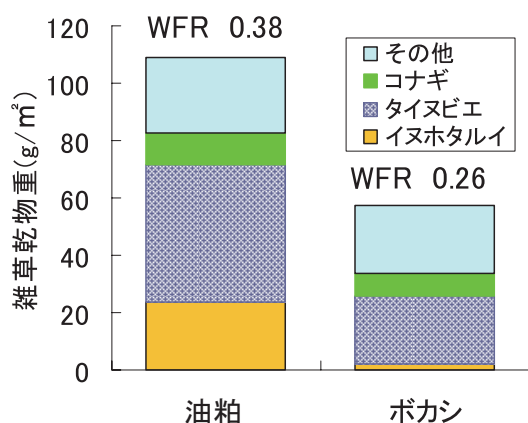
写真Ⅱ－14 嫌気発酵させたボカシを2次発酵させて春鋤込みに適す好気ボカシ(左)と土ボカシ(右)を製造
(提供：(財)自然農法センター)

ボカシは発酵程度によって養分供給などの効果も異なるため、10倍容積の水で浸出した液のpHが4以下（乳酸による）、ECが3ms/cm程度を発酵の目安とする。20～60倍容積の水で6時間浸出すると、窒素やリンは20～30%程度溶出するので、液肥として利用できる。有機質肥料を発酵させると、有機酸を生成する微生物の働きによってアンモニア態窒素が生じるが、リン酸を40%程度溶出し可給化する能力も高まる。

③ボカシを使う際の留意事項

春先の有機質資材鋤込みは雑草が繁茂しやすくなるので、田植え後のみの表面施用が効果的、合理的である。発酵させたボカシの代わりに生の油粕（10a当たり60kg）を鋤込むと雑草を増やす原因になる（岩石ら2010、図Ⅱ－25）。ただし、有機質肥料を表面施用することで、田面が柔らかくなりすぎて除草ができなくなる場合には、地表の攪拌除草を先に行い、その後に有機質肥料を表面施用する方が雑草繁茂に繋がらず合理的である。

田植え後の田面散布は、1次発酵の段階の未熟な有機物のままで施用しても良いが、鋤込んで利用する場合は、土壤中で再発酵が起こるが、分解速度は遅いので、散布後すぐに鋤込みを行わず、もう一度圃場で好氣的に発酵させるか、土を加えて事前に2次発酵させる「土ボカシ」として施用する方がよい。



図Ⅱ－25 春先に鋤込んだ有機質肥料と雑草発生量（岩石ら2010）

注：WFRは雑草重量群落比。油粕は60kg/10a、ボカシは油粕40kgと米糠30kgを材料に発酵させた。

5. 雑草防除技術

有機稲作で最も問題となる雑草防除対策には実に多くの対応策があるが、その基本は耕種的な除草にあり、第1部の基本技術の中で雑草抑制対策と耕種的抑草技術の関わりについて幅広い視点から解説を行った。そこで本項では、冒頭部で全国的に問題の多い雑草と耕種技術との関わりを例示的に取り上げ、そのあとの各節で、耕種的抑草技術を補完するものとして必要になる機械的・生物的除草手法の解説を行う。なお、耕種的な除草は稲作の多くの管理技術とも関係しているので、5の栽培管理技術の中でも、雑草制御との関わりを中心に解説する。

1) 耕種的除草の考え方

水田土壌の物理性・化学性・生物性が水稻の生育環境として適しているかどうかにより、雑草の繁殖力は大きく変わる。有機農業によって、土壌中の有機物が増加すると、生物多様性や活性、地力が高まると同時に、無機態窒素が減少し、酸化還元電位が低下する。また、栽培方法の変化に伴って水田雑草の種類も変わってくる。雑草の繁殖しやすい条件を減少しないかぎり、いくら除草強度を高めても雑草は残存し、除草は際限がない。そのため、優占草種によって除草方法を変える必要がある。

以下、耕種的除草の考え方の理解を助ける観点から、全国的に問題の多い強害雑草に対する栽培管理対策を例示的に示す。

ヒエ、ホタルイは乾田で繁殖しやすく、コナギ、クログワイは湿田で繁殖しやすい。一般に、有機栽培に切り替えると、土壌中の有機物含量の増加、代かき回数の増加、除草で水田を攪拌する機会の増加、深水管理、落水抑制等、透・排水性が不良になりやすいが、このような状況で水稻が還元障害を受けると、コナギが優占しやすくなる。一方、湿田でも排水を良くして乾燥を進めたり、畦畔から漏水により田面が露出するような状態になると、ヒエやホタルイが優占してくる。そのため、大

まかには、ヒエ、ホタルイが多発する圃場とコナギ、クログワイが多発する圃場では、耕種面で異なる処理を行う必要がある。

例えば、コナギが増加した圃場では、稲わら分解を促進し、日減水深20mm以上の透・排水性を確保して還元障害を回避し、水稻の生育環境を整える必要がある。また、生育初期には浅水管理とし、土壤還元化を生じさせる米糠の表面施用は止め、除草機利用を優先する。さらに、登熟期まで透水性を高める落水管理を強めて、コナギの蔓延を抑える。

コナギの繁茂は有機物の蓄積を反映したものであり、水稻生育にとって速効性養分が不足している状況を示している。半湿田に優占しやすいコナギの場合、秋からの稲わら分解促進と合わせて、田植え直前には土ボカシなどの施用により速効性養分を補給し、稲残渣（稲わら、米糠等）の春鋤込みは避ける。透水性が低い場合は、不耕起（無代かき）田植えに切り替えることにより透水性を高めると、除草労力を減らす効果がある。

慣行栽培から有機栽培に移行後3～4年経過すると、コナギが優占して水稻の初期生育不足が顕著となり、速効性肥料の施肥を行うと、今度はヒエとコナギの発生を助長することになる。このような場合、植え代かき後のタイヌビエの発生本数が㎡当たり10以上なら田植え時期を遅らせて、もう一度代かきを行いタイヌビエを抑えるとよい。また、田植えを遅らせて稲わら分解を進めると、さらにヒエが減少する。その上、腐植増加をもたらす完熟堆肥などの施用を継続すると、全体として雑草の繁殖力が低下し、畦畔の漏水防止によってより除草が容易になる。

慣行栽培から切り替えて1～2年内の移行期間は、水稻の初期生育を抑えても深水管理と初期除草を徹底するとともに、出穂期以降に発生する遅れビエも徹底して除草する必要がある。

ホタルイが増加した場合は、田面を露出しないといねいな水管理を行い、分解の遅い生の米糠などの田面施用を避ける。アオミドロが増えれば、田面水のリン酸や窒素濃度を下げるように春先の

鋤込みや田面施用をする易分解性の有機肥料や家畜由来の堆肥施用を止めて水質浄化を進め、藻類が少なくなれば発酵した有機物資材を表面に施用して、水稻の初期生育量を増加させる。

クログワイが多発する場合は、有機質肥料の施用を止めて透水性を改善する。また、早期移植や早期収穫が効果的な場合が多い。こういう水田はコナギが優占する水田に比べ透水性が不良で、水はけが悪く速効的養分が少なく、保水量が小さく稲わらや刈り株の分解が不十分な場合が多いので、秋耕起を利用して水田の排水性能を高める必要がある。さらに、中干しや明渠を活用して栽培期間中も含めて乾田化を図る必要がある。

2) 機械・器具を用いた除草

(1) 考え方と適用場面

機械除草は、苗を損傷させずに田面を代かきする方法が求められる。水稻は30～33cm間隔で条に植えられるため、過去には条間を走行し、条間部のみを回転式の刃で中耕する方法が主流であった。また、条間の中耕除草に加えて、稲が大きくなってから株元近くを除草する株間除草機が使われていたが、より効果的な初期の株元除草は難しかった。条間中耕方式では、稲の収量に大きく影響する稲株周りの除草が困難な上に、稲の株元が高くなり雑草の勢いが増し、その後の手取り除草が必須作業になっていた。

そこで近年、器具を使ったチェーン除草や高精度除草機等の株元や条間を含めて攪拌するタイプの除草法が開発されている。現在、田面をランダムか均一に攪拌する除草器具には、チェーンや竹ぼうき、ハウススプリング、専用タイン、ワイヤーなどが実用化されている。いずれも、田面全体を攪拌する方式であるため、深さと田面をひっかく（除草）強度の調整に工夫が必要になる。

こうした除草器具は、中耕除草で機械的に取り除けなかった株元の除草問題を解決することにねらいがあり、除草効果が得られる時期が制限される。特に、攪拌除草は雑草の小さいうちの初期除草には効果があるが、発生が遅く発生位置の深い



写真Ⅱ-15 株元を除草する揺動式除草機

(提供：(財)自然農法センター)

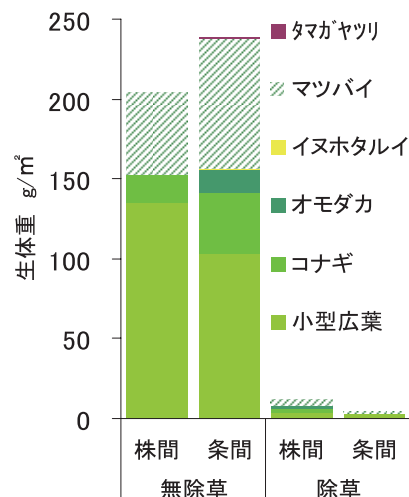
多年生雑草にはほとんど効果がない。

栽培初期に水田全面を浅く攪拌する除草技術の効果が高いことが明らかとなり、中耕除草に依存していた従来の機械除草を改善させ、新しい主力技術になっている。攪拌除草と中耕除草とを組み合わせて、早期の実施、複数回の作業を行う観点からいくつかの除草法を以下に例示して解説する。

(2) 攪拌型機械の初期除草の方法

地表面の攪拌除草は、田植え後の早期除草で効果が高い。田植え後2週間以内をめどに、10℃以上の有効積算温度が200日℃に達する時期の除草は、クログワイを除くほとんどの雑草(ヒエ、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、出芽直後の雑草を浮かせて除くことができ有効である(図Ⅱ-26)。仕上げの代かきから10℃以上の有効積算地温にして、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り、雑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。

早期の機械による株元除草は、雑草が小さいうち(2葉期程度まで)に限られ、雑草は埋め込むのではなく、地表面をかき混ぜることによって浮き上がらせることが重要であり(写真Ⅱ-16)、出芽直後の雑草の定着を防ぐことができる。チェーン除草の初期除草効果が高いのも、同様に浮き上がらせて雑草



図Ⅱ-26 機械除草の効果:株間と条間の残草

(岩石ら2011)

定着を防ぐ効果に起因している。このような田面を攪拌する専用の動力除草機は、いくつか市販されているが、価格や作業性、性能の面で一長一短がある。チェーンや箒・スプリングやワイヤーを使った、ひっかくタイプの除草は、いずれも地表面の攪拌効果による除草効果を期待するものであり、一定の深さに調節することで効果的に除草できる。深さを調節しないとチェーンよりも稲の引き抜きや埋め込みによる損傷が生じやすくなる。

写真Ⅱ-16は強制駆動で揺動するツースが株元を浅く攪拌するタイプの歩行型除草機であるが、前後左右に傾きを抑える機構が施されていて、田面から1~2cmの土を左右にツースで2~3回揺動



写真Ⅱ-16 ホタルイ、コナギを浮かせて除草

(提供：(財)自然農法センター)

表Ⅱ－21 市販の水田除草機一覧

車輪	除草部（駆動）	株間除草	動力・条数	製造元・名称型式
なし	惰性回転かご	なし	2条間アルミ	大昭農工・AW-70
なし(2条)	4輪中耕駆動	なし	動力2条間アルミ	大昭農工・AW-70
なし	惰性スパイラルローラ	回転羽	手押し2～3条間	美善・SW2N、3N
なし	強制中耕	なし	動力2条～3条間	丸山製作所・MKC30・共立・PCE315
動力1輪	惰性スパイラルローラ	惰性回転羽	5条間～10条	美善・SMW-5T
動力1輪	惰性・スパイラルローラ	惰性回転羽	動力4条	ほくえつ・SMW-4T
動力2輪	惰性・フロート	スクリュー	動力4条～6条	和同産業・RSJ433T
動力2輪	惰性・フロート	揺動ソース	動力4条～6条	イセキ・HSJ61(写真Ⅱ-15)
乗用3輪	惰性・中央部	タイン	4条～6条	みのる産業 RTX30
乗用3輪	惰性・中央部	タイン	4条～6条	キュウホー・IS-6・NH 畑作研究所
乗用4輪	強制中耕	揺動ソース	6条～8条	イセキ、クボタ・高精度水田除草機

させながら株間も攪拌するので、除草効果は高いが走行速度が劣る。そのため、より高速で攪拌するタイプで、熊手をひっくり返した形のタインで地表面をひっかいて走る除草機の利用が普及している。除草部分はキュウホー社製で、田植機を改良したり、専用の除草機として利用されて効果を上げている。

経営規模や土質・移行段階などの条件によって、除草機を選択する必要がある。表Ⅱ－21に市販の除草機を掲示した。

(3) 器具を用いた除草

(農家の工夫による手作り攪拌除草)

①チェーン除草

地表面に接地するチェーンの重さが地表面のかき混ぜ効果を決定し、田植え後早い時期に作業しても、稲苗が引き抜かれなくて除草ができる。チェーンが重いほど除草効果も上がるが、稲の引き抜きや埋め込みも起こりやすいので人が牽いて歩くには、実用的に幅2mでチェーン重量が7kg程度が良いことが新潟県の研究で明らかにされている。チェーン除草は、初めて有機稲作に取り組む農家が、手軽に導入できる雑草低減技術である。また、器具の改良が多くの人達により随時行われており、チェーンの数や重さ、取付け方など、創意工夫の

余地を残す初期除草に適した器具である。

なお、除草時期は、1回目のチェーン除草は植代かきから1週間以内に行う。2回目以降は、5～7日間隔で、合計4～5回行う。人力で牽引する場合の作業時間は10a当たり30～40分程度で、チェーン除草を主体とした雑草管理による作業面積は、作業者の体力によるが1人で2ha程度が限界である。

②竹ぼうき除草

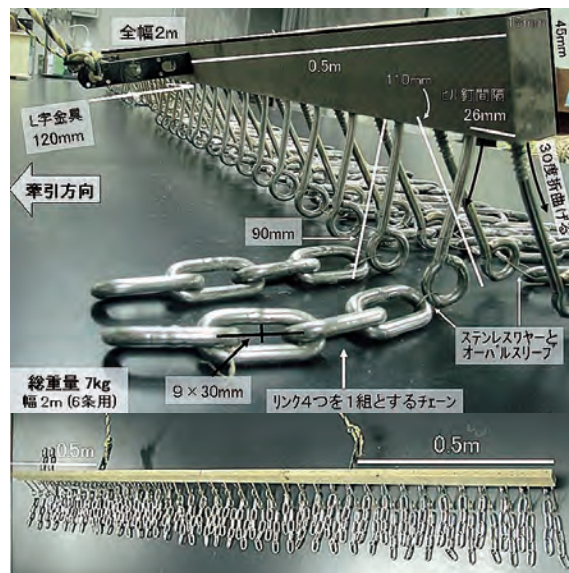
人が行う牽引作業が軽くて楽なのが、静岡県の水口雅彦氏が考案した竹ぼうき除草であり、より手作り感が高い（水口2011）。重さは1～2kgと軽いですが、除草の力は竹の細い枝を垂直に立てるので、チェーンよりも軽くて田面に深く刺さる。多少傾いても枝がしなるので除草圧力は適度に田面に伝わる。作り方は簡単で、竹ぼうき2本を材料にして、枝をばらして1.6～2.1m長さの角材にそって長さを揃えて並べて止め、竹ぼうきの柄の部分を持ち手に利用する。グランドをならすレーキのような格好で後ろ手に引っ張る（写真Ⅱ－17、Ⅱ－18）。

横にわたす板の種類によって本体の重さを2～3kgに調整でき、竹の枝の根本をしっかりと固定しておけば、適度な弾力で細い枝先ほど土を軽くひっかけ、太い枝は深く刺さらずに適度に揃った除草力が得られる。チェーンより除草効果は高い

【チェーン除草機の例（新潟県の研究成果より）】

チェーン除草機（6条用）の作り方を新潟県の研究成果から例示すると、以下の通りである。

- 使用材料は、角材（2m×45mm×18mm）、チェーン内寸30mm×9mm、ステンレスワイヤー、ヒル釘（長さ127mm）、L字金具（120mm）、牽引用のロープである。
- 最初に、チェーン4リンクを1組として切断し、ヒル釘頭部にステンレスワイヤーとオーバースリーブで接続し、抜け落ちないようにヒル釘頭部をかした77組を作る。別に2mの木製角材に、ドリルで25mm間隔毎に77箇所、ヒル釘より少し細めの穴を開けておく。
- 部品の組立方は、チェーンを接続したヒル釘を角材の穴に貫入深が40mmと20mmとなるように交互にねじ込む。
- 貫入深40mmのヒル釘はチェーン除草機の前方に、貫入深20mmのヒル釘は後方に折り曲げ、30度程度に開くようにジグザグに配置させる。
- 角材の両端から0.5mの位置にL字金具を取り付け、その先端に牽引ロープをつければできあがる（図Ⅱ-27）。



図Ⅱ-27 チェーン除草機の製作例
（古川2012）

が、田面が柔らかすぎたり、苗が引き抜かれやすい場合には深く刺さりすぎないように調整する必要がある。手で押さえて力を加える場合は枝先を切って太く揃えと、除草の力が強くなるようになる。枝先は徐々に削れて、短くなったら新しい竹ぼうきと取り替える。材料費は1,000円程度と安く、超低コストの除草機と言える。

なお、駆動輪をもった3輪除草機に、竹ぼうき

を並べて10m幅で除草に使った農家もあるが、大きすぎると移動が大変になる。この竹ぼうきのような、弾力があって線状にひっかく除草器具として、スプリングやワイヤーなどが工夫され、溝切り機や簡単な牽引タイプの動力除草機に接続して利用する人も増えている。

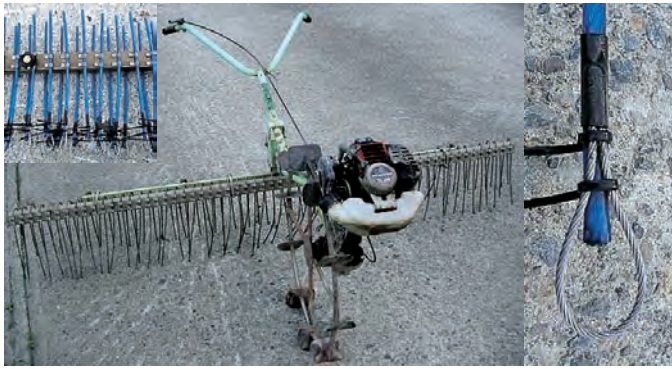
竹ぼうきの枝の代わりに、写真Ⅱ-19のようにアメンボ号に取り付けて、ビニールでコートされた



写真Ⅱ-17 竹ぼうき除草期の作業
（提供：根本伸一氏）



写真Ⅱ-18 竹ぼうき除草機は簡単に作れ大勢の
援農者にも使える（提供：根本伸一氏）



写真Ⅱ-19 竹ぼうき除草とチェーン除草から工夫したワイヤー除草（提供：根津健雄氏）

ワイヤーを角材に止めて牽引するワイヤー除草も工夫されている。チェーンよりも軽く、竹ぼうきよりも均質な材料を使うので、攪拌除草にはより安定的な効果が得られる。

（4）除草機活用上の留意点

①攪拌除草の留意点

ワイヤーや竹ぼうき除草等の田面を全体にひっかく除草方法は初期除草に有効である。前出の攪拌揺動除草機に比べると、1回当たりの攪拌が少ないので効果は劣るが、回数を増やせば除草効果は安定して得られる。多くの人が3～5回の除草で効果的に除草ができることを経験している。早期に何回も行うことで、ほとんどの種子発生雑草を除草できる。牽いて歩くには面積に限界があるが、子供を始め多くの人が援農として参加する道具としても適しており、経営規模によっては動力

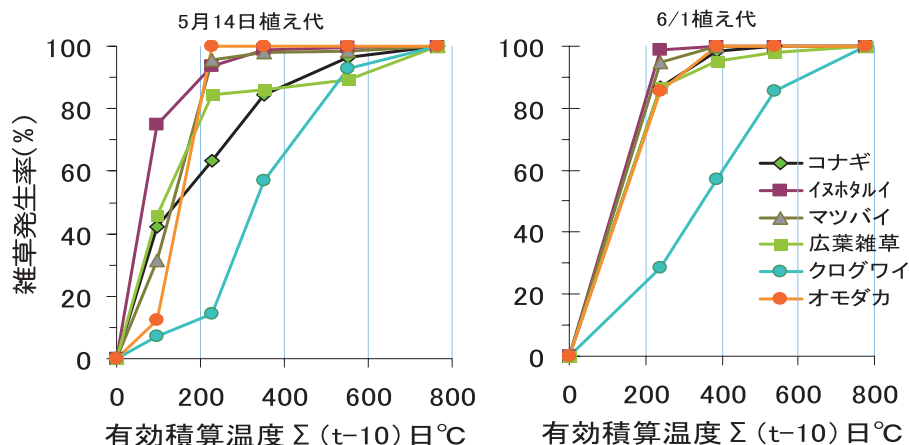
付きの除草機のアタッチメントとして利用することで比較的大面積を効果的に除草することができる。

効果的な除草には、種々の雑草がバラバラに発生しない田植え時期に設定するとよい。例えば、寒冷地では田植え前の稲わら分解とも関係するが、遅植えにすると雑草が齊一に発生し、種子繁殖型雑草の除草効果を高めることができる（阿部ら2010、図Ⅱ-28）。

なお、大型化する雑草や塊茎繁殖雑草に対しては、攪拌による除草効果はあまり期待できないので、副次的に初期生育量を抑える程度と考えて使用する。多くの多年生雑草は耕耘や代かきで発生量を抑え、水稻の根系も含めた生育を促すことで、大型雑草や塊茎繁殖雑草の抑制効果が得られる。有機稲作で機械除草の高効率化を図るには、除草機自体の性能向上と同時に、作業しやすい田面の物理・化学性を整える必要がある。化学肥料や除草剤使用で省いてきた土づくりや育苗など、基本的な耕種法の見直しが必要である。

②攪拌除草と地耐力

早期除草を行う田面は一定の土壤物理性が必要である。土が硬すぎると除草できず、土が軟らかすぎると水稻苗も除去してしまう。稲苗が活着し田面が一定の硬さでないと、田面を攪拌する除草法では強度を調整できない。除草のために行う複数回代かきや、有機施肥及び深水管理によって



図Ⅱ-28 植代かきからの有効積算温度と雑草の累積発生率（阿部ら2010）

土が軟らかくなると、苗が抜けやすく、藻が大量に発生するなど、早期除草にとって不都合な現象を招きやすい。また、機械除草は、未分解の稲株や稲わら等の残渣を苗と共に巻き込みやすく、欠株が発生しやすくなる。田面の硬さなど物理性の調整が除草機使用の課題である。

3) マルチ除草

(1) 紙マルチ除草

①技術の考え方と適用場面

田植と同時に再生紙で田面を覆い、遮光して雑草を枯死させる除草法である。隙間がないように敷設できれば確実に抑草が図れる（図Ⅱ-29）。代かき後の田面に再生紙をマルチとして敷設した直後に水稻苗を移植するものであり、マルチ田植機でマルチ紙を突き破りながら田植えを行い、所要時間は10a当たり40～60分とされる。田植後約1カ月間雑草を抑制でき、再生紙は段ボール古紙から作られ、敷設後約40～50日で溶解する。紙マルチを使用しても雑草種により抑制効果が低い場合があり、クログワイなど塊茎を作り萌芽力の強い雑草の発生圃場は、別途対策が必要である。マルチ除草法の中では最も普及し成果を上げている（写真Ⅱ-20）。

②技術の内容

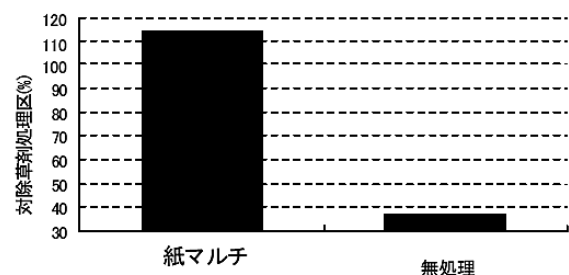
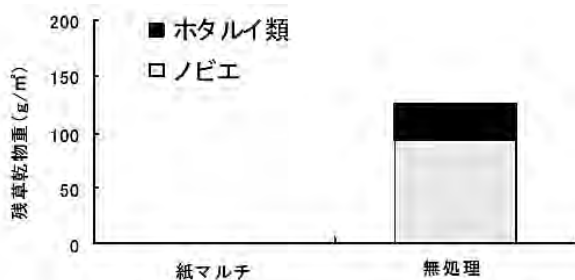
均平度が不十分な圃場では紙マルチの敷設や移植作業に支障があるので、秋冬季に均平化作業を行う。有機物の施用は、腐熟に伴う発生ガスで紙が田面に密着しない場合があるので、多量に施用しない。また、施用する場合は、田植え1カ月前までに施用し腐熟期間を十分にとる。分げつ

の発生は遅れるが、秋まきり型の生育相を示すので多肥にしない。再生紙マルチは10a当たり5条植用1.6m幅で、100mロールを使用する場合は7本準備する。他に180cm幅で125m巻きロールを6条植えするシステムも開発されている。

移植時には土壌表面がトロロテンから糊状となるように、前日の夕方か当日の朝に落水する。軟らかすぎると泥押しが多く、紙が土に密着しにくく、紙マルチの上に乗った泥から雑草が発芽することがある。逆に圃場が乾燥するとマルチの密着性が悪く、風でめくれることがあるので注意する。田植作業は水口から遠く、風下側から植え始め、退出路は最後に植える。紙にしわを寄せないため、真っすぐに植える。畦際は30cm程空け、紙の重ね代は5cm程度とする。田植え後の水管理は、田植え直後は田の低い部分の水が引き、紙が田面に十分密着してから徐々に水を入れる。その後は紙を乾かさないように管理する。

③導入・利用上の留意点

- 水漏れがあると田が乾きやすくなるので、畦塗りをを行い水漏れを防止する。
- 水が深いと紙が浮き上がり、苗が紙の下に潜り込んだり、紙が移動して苗の上に被さり稲の生育を阻害することがあるので、田植時には1cm以下の水深とするか、軟らかい土壌の水田では落水しておく。
- 強風で紙がめくれ上がることがあるので、田植え日の気象条件に注意する。
- 枕地は作業機がターンを繰り返して深水になることが多く、紙マルチ田植機による植付けに失敗しやすいので、まず枕地を含め水田の周辺



図Ⅱ-29 紙マルチの抑草効果(左)及び紙マルチ除草が稲の収量に与える影響(右)

(宮城県古川農試 2000)



写真Ⅱ-20 紙マルチ田植機による田植えの様子

(提供：JA鳥取中央東伯有機米生産部)

部の代かきを行ったあと、中央部の代かきを行う。こうすると土が枕地に移動して部分的に凹所発生を防ぐことができる。

- 水深は田植時には1cm以下とするか、土壌の軟らかい水田では水を落とす。再生紙が土壌に張り付いた後は一般の水管理に準ずる。雑草の発生の恐れがないので、5cm以下の浅水管理を行い地温の低下を防ぐとともに、根への酸素供給を増やし、分げつの増加を図る。ただし、凹凸のある水田で浅水にすると、凸部分の紙マルチが乾燥して破れるので注意する。

④技術の利点と問題点

- 低水位の節水管理が可能であり、紋枯病菌核を紙が吸着するので病害抑制効果もある。

- 田植後の作業は水管理と畦草刈程度のため、労力が大幅に軽減される。
- マルチのため地温が低くなりやすく、初期の生育は抑え気味となる。
- 紙マルチは約40日間で溶けはじめ効果が低下するため、その後は必要に応じ、機械除草などの組合せが必要である。
- 田植えの途中で紙の補給が必要で手間がかかる。
- マルチ紙代で10a当たり2万円程度、専用田植え機は6条タイプで300万円程度の経費が必要で、農家グループによる共同購入が多い（表Ⅱ-22）。
- 圃場整備田でないと作業効率が落ち、傾斜地

表Ⅱ-22 乳苗と紙マルチを組合せた場合の10a当たり移植・除草経費試算（単位：円）
（宮城県古川農試 2000）

	田植機減価償却費	紙代	移植労賃	薬剤費	散布労賃	育苗費(資材費+管理費)	合計
1 乳苗+紙マルチ	9,720	18,000	1,820	0	0	9,115	38,655
2 稚苗+除草剤	7,200	0	1,140	4,000	500	14,478	27,318
1-2	2,520	18,000	680	-4,000	-500	-5,363	11,337

注)田植機は普通田植機定価2,000,000円、紙マルチ田植機2,700,000円として算定
育苗費については、普及に移す技術69号「省力作期拡大のための乳苗移植栽培法」による

水田や不整形な圃場では機械の操作が難しい。

- ガスが発生する水田は、マルチ紙の影響でガスが抜けにくく、根を傷めやすい。

(2) 布(綿)マルチ除草

①技術の考え方と適用場面

紙マルチ技術の開発者が、廃棄されてきた落綿・くず綿などを利用してマルチシートを作り、中山間地の棚田や小区画・不整形な水田でもマルチによる抑草を可能にすることを目標として開発を始め、市販されている。

本シートには予め種籾が埋め込まれており、代かき水田に敷設するだけで湛水直播栽培ができ、発芽した稲の芽は付き抜けるが、雑草は突き抜けられないので抑草効果を発揮する。経費が高く、風によりめくれやすくその対策に手間がかかるなどの課題がある(図Ⅱ-30)。

実施事例に基づく作業手順と留意事項は表Ⅱ-23の通りである。

②導入・利用上の留意事項

以下の点は必須条件であり、どれ一つが欠けても失敗に繋がる。

- 発生の遅い線形葉の多年生雑草(ミズガヤツリやクログワイなど)は、マルチ布を突き抜けやすいため、これらを冬期間の耕起で予め駆除し、代かきによって田面を平らにしておく。
- 布マルチ敷設時期に灌漑水を入れられ、第3葉期に達するまで(約20日間)マルチ布を田面に浮かべる。生分解性ロープを田面に張り、布マルチの移動を防ぐ。

- 第3葉が出現したときに灌漑水を落水し、苗と布が完全に土壌表面に密着し、活着するまで、周辺の水田からの水の侵入を防ぎ土を乾かす。
- 種籾が予めサンドイッチされた布シートを用いるため、通常の場合に比べ生育前半の根張りが弱い。中干しが完全に実施できる水田に適し、土に小ヒビができるくらいに乾かないと、土が固まらないので登熟期に倒伏してしまう。

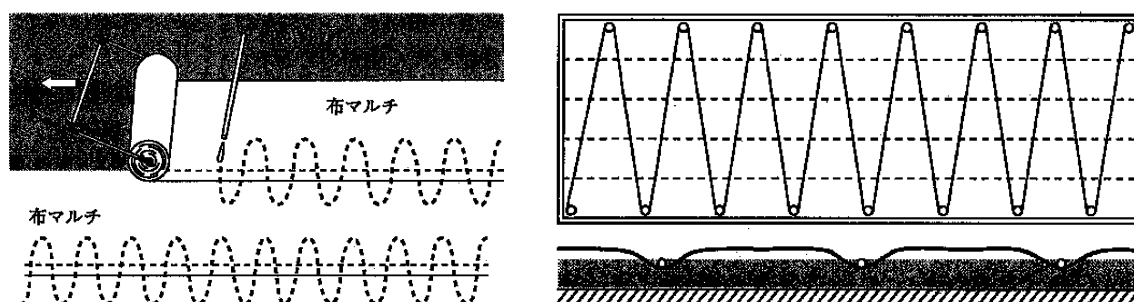
③技術の利点と課題

- 有機直播栽培が可能で、高価な専用田植え機を必要としない。
- 材料としてくず綿を主に用いるため、重金属の懸念がない。
- 3葉期過ぎの落水まで布マルチは水面に浮いた状態であり、種籾をサンドイッチさせたマルチ布ごと日射を受け、発芽が促進される。
- マルチ布代が10a当たり3万円以上とコストがかかる。
- 機械化が確立されつつある。
- 布マルチが水に浮いている時に強風に遭うと、布が風下に移動して田面が露出することがある。この対策としてのマルチ布の固定作業に手間と時間を要する。

(3) 活性炭スラリー除草(液体マルチ)

①技術の考え方と適用場面

活性炭等を原料として作られた黒色の液体を用い、田植後に水田内に流し込み、水を黒く着色して光を遮断し雑草発生を抑制する。商品名としては「液体マルチ」として普及されている。水の濁



図Ⅱ-30 捲れ防止に水を吹き付ける(左)、布敷設後分解性のひもと棒でジグザグに固定(右)

(津野幸人 2004)

表Ⅱ-23 (綿)布マルチの作業内容と留意点 (津野幸人2004から作表)

	作 業 内 容	留 意 点
被覆までの準備	・ 稲わらが田に残る場合牛糞堆肥などを0.5～1.0t/10a程度施用し年内に耕す。 ・ レンゲ栽培田では、早期に鋤込んで分解を促し、マルチ被覆後のガス発生を抑える。 ・ 代かき1～7日前に、元肥として有機質肥料などを窒素成分で4kg/10a程度施用し、耕起する。 ・ 代かきは浅水で丁寧に、田面を均平にする。 ・ 代かき翌日か翌々日には田面に水がない状態にする。	・ 秋耕起の際、できるだけ田面を均平にする。 ・ 基肥施用後の耕起は深さ2～3cmとあまり深くせず、浅めにして碎土をする。 ・ 均平作業は代かきにあまり頼らず、収穫後の乾田状態での地ならしを中心に行う。
マルチング(布敷き)	・ 代かき後数日間放置し土が固まるのを待って作業を行う。 ・ 条間25cm×4条播きで種籾がサンドイッチ状に埋め込められている布マルチ(幅1.1m)を使用する。 ・ マルチ張りは最初基準縄を張り、これに合わせ敷いていく。 ・ ロール状の布を引っ張る用具を用い、作業性を高める。 ・ 布幅より少し長い板を用意しておき、敷き終わる位置でマルチ布を押さえ、板の際を手で泥に押し込んで千切る。 ・ 重ね代は10cm、枕地として80cmほど空けておき、最後に横方向に布を張る。	・ 代かき後放置する間に小さな雑草が生えてきても、その上からマルチをする。 ・ 強風日のマルチ張りは避ける。少しの風なら風下から布を張ることで、重ね代から風でめくれないようにする。
布浮かべ灌漑	・ マルチングが終わると同時に水口から水を入れる。 ・ 水深は6～10cmを保つ。 ・ マルチ布を水に浮かべた状態にしておくと、四国平野部では4～5日で出芽が始まる。 ・ 入水し、布浮かべ灌漑中に強風警報などが出された場合は、田面水を完全に落として布を土に密着させておく。さらに、木綿ひもや麻ひもと棒を用いジグザグに張り渡し、布を抑える(図Ⅱ-30)。	・ 水口付近のマルチ布がめくれないように、布の下に水を導く。 ・ 水が落ちたら、すかさず入水する。丸1日以上落水したままで放置すると、種籾から伸びた根が土中に伸び、布が浮かなくなる。 ・ 入水後1～2日で上の布まで水が沁み上がるが、上がらない場合はホースで散水する。
定着落水	・ マルチ布から発生した稲幼苗が水に浮かんでいる期間は、「苗代期」に相当する。 ・ 発芽後、気温が順調であれば約2週間で第3葉が出てくる。 ・ 第3葉が少し現われた時点で完全に水を落とし、根をしっかりと着土させる。	・ 水温が低いと出葉間隔が長くなり、20日以上要することもある。 ・ あまり長く水に浮かべたままにしておくと、老化苗となるので注意する。
着土後の水管理	・ 着土後稲を引き抜いてみて引っ張り抵抗が強ければ、根が土中に伸びた証拠である。 ・ しっかりと着土していたら、その時から6cm程度の深さに水を張り、通常の水管理とする。 ・ 茎数が400本/㎡に達した時、あるいは主茎の第9葉が伸びきった時、ためらうことなく水を落として土に小さなヒビ割れが出来る程度の軽い中干しを繰返して行う。これで水中に伸びていた根がしっかりと土をつかみ地中に伸びる。	・ 観察しやすい3株を選び、第3葉に輪ゴムをかけておき、その後第6葉、第9葉と生育に即して輪ゴムをかけておくとうかりやすい。 ・ 第10葉が出ないうちに1㎡当たり茎数が400本になった時は将来過繁茂になる恐れがあるため、落水期間を長くし、田をよく乾かす。 ・ 中干しは地下足袋で歩けるくらい干す。
穂肥	・ 布マルチを敷いてから約50日を経過すると布は分解する。ここで油粕など有機質肥料の追肥を行うことができる。 ・ 時期と量は葉色と群落の繁茂程度によって決定する。この時期の最下位の完全展開葉の葉色が葉色示度板で5以下であれば、菜種油粕を10a当たり20kg施す。5以上であれば、穂肥は止める。	・ 一般に出穂の前には葉色が濃くなるが、この時止葉あるいは次の葉の葉色を葉色示度で4.5以上にしない。

りを長く維持するために深水で管理するが、降雨が多い場合は遮光効果が落ちることがある。多くの草種に対して効果があるが、コナギには効果が劣る。移植48日後の調査では、活性炭スラリー区の残草量は無処理区の約20%に抑制されているが、機械除草等との併用が必要である。

活性炭はオガ粉、ヤシガラなどが材料で、分散

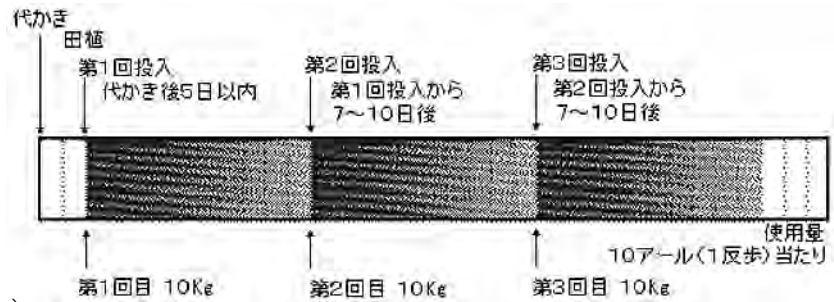
剤として天然物質由来の食品か食品添加物が使用され、液体として1缶10kg(約5千円)で販売されている。1作に3回以上散布が必要なため液体コストで10a当たり1.5万円以上かかり、紙マルチに比べ効果が不安定なため普及率は低い。

②技術の内容

・ 使用量は1回に10a当たり10kg程度で、3回以



活性炭スラリー(液体マルチ)缶(1缶10kg)



図Ⅱ-31 活性炭スラリーの使用例 (10a当たり10kgを3回散布の場合)

(大日精化工業(株)HP)

上の散布が必要である。1回目は代かき後5日以内に、2回目は1回目投入後7～10日の間に、3回目は2回目投入後7～10日の間に行う(図Ⅱ-31)。

- 水口から流し込む場合には、水田の水を一度抜き、再度入水する際に10倍以上に薄めた活性炭スラリーを水口に流し込み、その勢いで用水と混合し拡散させる。その際容量の大きなローリータンクを使用すると用水との調整が容易になる。濁りの維持日数は7～10日間程度である。
- ブームスプレーヤーによる散布では、活性炭スラリーを10倍以上に薄めて散布する。この場合水を抜く必要がなく、30a以上の大型圃場に適している。濁り維持日数は6～8日間と少し短い。
- 畝から散布する場合には、10倍以上に薄めた活性炭スラリーを畦道から行う。

③導入・利用上の留意事項

- 雑草の発芽は入水・代かき直後から始まるため、早期に活性炭スラリーを流し込む必要がある。
- 効果を上げるには中苗以上またはポット苗とし、濁りを持続させるため深水管理が必要なため、水田は均平で水持ちの良いことが前提になる。深水管理により水中に浮遊している活性炭の微粒子に対し土壌からの溶出イオンの影響が少なくなり、凝集して沈降する現象が緩和され、濁りが持続しやすい。
- 稚苗の場合には、深水管理ができず効果が低下するため、活性炭スラリー投入後15～20日の間に除草機を1～2回は掛ける必要がある。
- 水が濁るためアイガモ除草と併用すれば抑草効

果が高まる。アイガモの数を減らすことも可能である。

- 強風や大雨による湛水の振動や対流で活性炭と土壌との接触が増加することにより、金属イオンによる活性炭の凝集作用が働き、濁りが急激に薄くなるので、強風や大雨時には施用しない。

④技術の利点と課題

- 田んぼの形状に影響されにくい。
- 紙マルチ・布マルチに比べて施行時間や手間がかからない。
- 水漏れがあると活性炭スラリーが無駄になる。
- 活性炭スラリーが水温と地温に与える影響として水面から2cmの水温、地表面下1cmの地温とも低下する。その効果は日中で著しく、初期の分げつの遅れがある。

4) 米糠除草・屑大豆除草

(1) 米糠除草

①技術の考え方と適用場面

田植え直後に米糠を田面に散布することで、微生物による米糠の分解過程で生じる有機酸生成や、土壌表面の還元化による酸欠状態が雑草の発生や伸長を抑制する。その際、田面水の溶存酸素量や土壌の酸化還元電位が急激に低下する。

米糠除草を成功させるポイントは、田植えとほぼ同時か2、3日以内には散布すること、苗は中苗以上の健全苗を用いることである(表Ⅱ-24)。なお、米糠処理後、翌日から1週間程度糠漬けのような臭いが発生する。

表Ⅱ－24 水田における米糠処理後の水稻苗の特性（中井、2009）

試験区	移植時				米ぬか処理 12 日後	
	草丈 (cm)	葉齢 (葉)	地上部乾物重 (mg/本)	充実度 (mg/cm)	葉齢 (葉)	地上部乾物重 (mg/本)
稚苗	12.5	2.0	10.1	0.81	米ぬか 60 kg/10a 処理	4.0 ± 0.2a 30.0 (85)
					米ぬか 100 kg/10a 処理	3.9 ± 0.2b 23.2 (65)
					米ぬか 150 kg/10a 処理	3.9 ± 0.2b 21.3 (60)
					無処理	4.1 ± 0.2a 35.5 (100)
中苗	16.6	3.6	19.5	1.17	米ぬか 60 kg/10a 処理	5.1 ± 0.1a 46.5 (102)
					米ぬか 100 kg/10a 処理	5.0 ± 0.2a 46.3 (101)
					米ぬか 150 kg/10a 処理	5.1 ± 0.2a 51.3 (112)
					無処理	5.0 ± 0.2a 45.8 (100)

1) 充実度は、地上部乾物重を草丈で除した値を示す。

2) 葉齢には不完全葉を含まない。

3) 米ぬか処理 12 日後の葉齢は平均値±標準偏差を示す。また、苗質ごとに Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行い、異符号間に 5% 水準で有意差があることを示す。

4) 括弧内は、無処理区を 100 としたときの割合を示す。

抑草のメカニズムは、発芽に酸素を必要とするイヌビエ、タマガヤツリ、キカシグサ及びアゼナなどの草種では、米糠分解過程での酸素消費により土壌表面の酸素濃度が極端に低くなり発芽が抑えられるというものである。発芽に酸素を必要としないタイヌビエ、イヌホタルイ及びコナギも僅かに発芽率が低下し、初期生育が抑制されるが、これは土壌表層の急激な還元化に伴い生成される還元性物質や有機酸の影響と考えられている。中苗以上の健全苗を用いるのも、これら抑草メカニズムの稲への影響を最小限にして活着を高めるためである。

米糠除草は、特別な機械や高額な資材を用意することなく、水田から得られる米糠で抑草でき、また養分供給を兼ねることができ、かつ条間、株間に関係なく処理できることが特徴である。中耕除草機では稲が活着し、ある程度生長するまで作業が出来ず、株間除草が困難で作業回数が多くなるが、米糠除草はこのような問題がない。

しかし、米糠除草単独では雑草防除が不十分なため、機械除草などの方法との組合せが必要である。三重県内の例では、移植を5月中旬に行い、米糠 200kg/10a を移植翌日に表面処理し、初期の雑草を抑制し、移植 21 日後に中耕除草機を使ったところ、米糠処理により雑草量が無除草区の2割に減少したのに対し、中耕除草を1回加えたところ5%まで減少していた（表Ⅱ－25）。

②技術の内容

- 米糠撒布は、移植から散布までの日数が短いほど雑草発生の抑制程度が強くなるため、移植当日か1、2日以内には散布する。米糠は粉状のものだと田面水下に沈む前に風で流され一部の箇所に片寄るので、ペレット化されたものがよく使われる（写真Ⅱ－21）。米糠は水口から流し込むか、動力散布機やペレット散布田植機などで散布される。
- 米糠散布量は多くなれば雑草抑制効果が大きくなるが、苗の活着不良を考慮すると10a当たり60～150 kgが目安とされる。ただし、米糠散布量はその水田の雑草発生状況や米糠除草の履歴、あるいは他の除草対策との併用の有無・方法によって異なるので注意する。米糠の削減方法として、米糠単独ではなく油粕や屑大豆、トウモロコシなどの他の資材と混合・ペレット化して使用方法もある。米糠に2～5割の粉碎屑大豆を混合しペレット成型したもので散布量が10a当たり50～80kgでも効果が期待できる。
- 水温が高い地域では、抑草効果を高めるため田植後30日間は8～15cmの水深を維持する必要がある。深水管理自体も地温・酸素濃度の低下や遮光により抑草効果を発揮する。米糠を施用することにより発芽に酸素を必要とする雑草種に対し土壌表面の酸素濃度を低下させて

表Ⅱ－25 米糠処理と中耕処理及びそれらの組合せによる抑草効果（中山2010）

処理	イヌビエ		イヌホタルイ		コナギ		合計	
	乾物重 (g/m ²)	無除草比 (%)	乾物重 (g/m ²)	無除草比 (%)	乾物重 (g/m ²)	無除草比 (%)	乾物重 (g/m ²)	無除草比 (%)
米ぬか	0	0	10.8	21	2	21	12.9	21
中耕	1.5	500	12	23	2.4	25	16.2	26
中耕＋米ぬか	0	0	3.9	8	0.3	3	3.1	5
無除草	0.3	100	51.6	100	9.5	100	61.4	100



（米糠ペレット）



（米糠ペレット成型機）

写真Ⅱ－21－① 米糠ペレットによる除草（提供：大下 穰氏）



（米糠ペレット散布の様子）



（米糠除草実施田面の様子）

写真Ⅱ－21－② 米糠ペレットによる除草（提供：大下 穰氏）

発芽を抑えるため、畦塗りによる水漏れ防止と田面の均平化に留意する。

③導入・利用上の留意事項

- 米糠散布量は通常10a当たり60～150kgとされているが、雑草の埋土種子量が少なく米糠除草を継続してトロトロ層が発達しており、さらに機械除草を行う圃場では50～80kg/10aでも良いとされる。しかし、大量散布は腐敗臭が出ること、風で吹き寄せられて畦畔際に過剰な窒素が溜まり、いもち病の発生や食味を低下させるなど問題もあるため、施用量や施用時期に注意す

る。

- 発芽に酸素を必要としないタイヌビエ、イヌホタルイ、コナギなどの草種は二価鉄への耐性が高く、米糠除草など新鮮有機物処理による還元効果が発揮されにくい（Nozoe et al. 2009）。
- 始めた当初は効果があったが、数年後に米糠除草の効果が低下し減収したとの事例もあるので、場所によっては田畑輪換などによって埋土種子を減少させたり、機械除草と組み合わせるなどの対策が必要である。
- 米糠除草による水稻苗の活着やその後の生育

への影響を考慮すると、稚苗より中苗が適している。稚苗では活着不良や生育抑制が起きやすく、4.5葉齢以上の健苗を用いることで回避できる。

- 体験農家の指摘では、水温や生物活性によって分解速度が異なり、急速に米糠が分解しなければ効果は乏しいので、散布時期の気温に留意する必要がある。特に、水温が低い場合、深水にした場合など、米糠の分解が緩慢となって除草活性が低下する。また、米糠を急速に分解させるため、作土中の稲わらや稲株を秋から春先までにできるだけ分解させておく必要がある。これは施用された米糠が稲わら分解に使われ、田面の急激な土壌環境の変化が起きにくくなるためと考えられる。
- 米糠の投入で抑草効果が現われるメカニズムの一つとして、土壌表層にコロイド状の層（トロトロ層）ができ、雑草種子を埋め込んでしまうことも観察される。トロトロ層の形成は単年度の米糠施用では難しく、複数年の処理が必要であり、このような層が土壌表層に形成されると雑草種子が発芽しにくい深さまで埋まるため、米糠や屑大豆混合物の投入量は徐々に減らすことが可能となる。

（2）屑大豆除草

①技術の考え方と適用場面

米糠除草と同様な考え方で、資材として屑大豆を使用する（写真Ⅱ－22）。大豆に含まれるオレアナン系のサポニンが抑草効果を発揮するとされる。背景に転作大豆の作付け拡大に伴って屑大豆が入手しやすくなったことがある。米糠など他の資材と混合し、ペレットなどに成型して使用する場合もあり、米糠や屑大豆それぞれ単独で散布するより必要量を調達しやすい。

本法は未利用資源の屑大豆で抑草でき、かつ養分供給を兼ねることができ、また、条間、株間に関係なく処理できる利点がある。ただ、屑大豆処理後、翌日ぐらいから1週間程度、糠漬臭に類似した悪臭が生じる。

②技術の内容

- 屑大豆の散布は移植後の日数が短いほど雑草の発生を抑制する程度が強くなるため、移植当日か1、2日以内には散布する。屑大豆の散布は動力散布機やペレット散布田植機などを使えば省力化できる。
- 春耕起後、入水・代かき前に散布する場合もあり、労力はより軽減される（図Ⅱ－32）。
- 屑大豆の散布量は10a当たり100～150kgが必要とされるが、大量散布は腐敗臭が出ること、風で吹き寄せられて畦畔際に過剰な窒素が溜まりいもち病を誘発したり食味を下げるなどの問題があるため、施用量や施用時期に注意する。
- 屑大豆単独の使用でなく油粕や米糠などの他の資材と混合・ペレット化して使用する場合も多い。米糠に2～5割の粉碎屑大豆を混合しペレット成型したものでは、散布量が10a当たり50～80kgでも効果がある（稲葉 2007）。また、屑大豆を破碎して散布すると抑草効果が3～7割向上する（図Ⅱ－33）。
- 抑草効果を高めるため田植後30日間は8～15cmの水深を維持する必要がある。深水管理は地温・酸素濃度の低下や遮光による抑草効果を発揮するためであり、日減水深が大きいと酸素供給量が増え雑草発芽数が多くなる傾向がある。そのため、畦塗りなど水漏れ防止や田面の均平化にも留意する。

③導入・利用上の留意事項

- 屑大豆除草は、コナギやホタルイには効果的であるが、ヒエ類には効果が低い傾向にあるので、機械除草など他の方法と組み合わせる必要がある。
- 水稻苗は、稚苗では活着不良や生育抑制が起こりやすいので、中苗を用いる方がよい。
- 屑大豆は粗砕したものを散布した方が抑草効果が高い。
- 屑大豆の施肥効果は施用量50kg/10aまでは認められないが、50kg/10a以上の施用では屑大豆10kgにつき精玄米約10kgの増加に相当する。



屑大豆除草実施水田近景

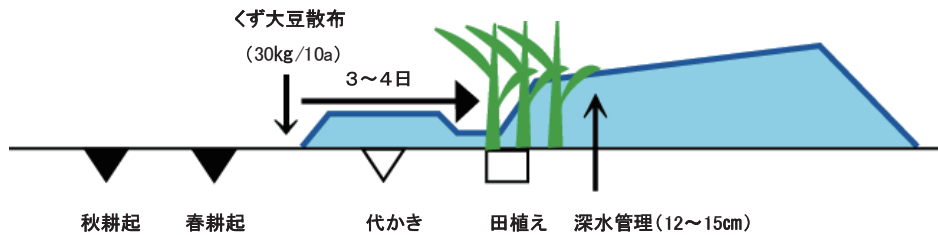


屑大豆除草実施水田全景

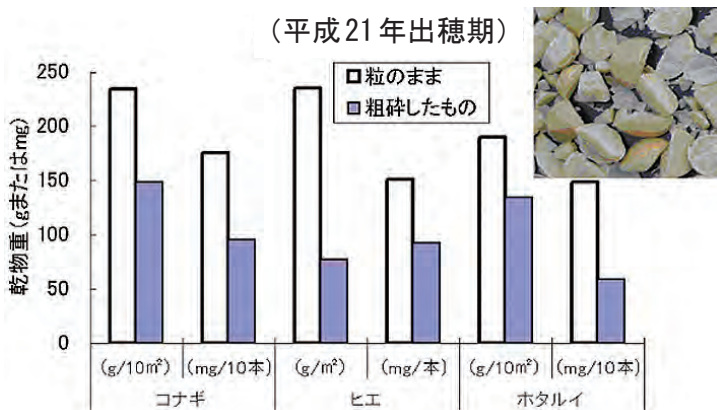


深水管理対策として漏水防止にビニールを被せた畦畔

写真Ⅱ-22 屑大豆除草の実施水田の様子（提供：大下 穰氏）



図Ⅱ-32 屑大豆の代かき前散布による雑草防除法（暖地：6月中旬田植え）
（MOA 自然農法文化事業団）



図Ⅱ-33 破碎された屑大豆の水稻雑草発生に及ぼす影響
（新潟県2009）

屑大豆 30kg の窒素肥効は化学肥料窒素換算で約 1kg に相当する。従って、屑大豆を多く施用すると、水稻の窒素吸収が生育後半に多くなり、玄米タンパク含量が高まるので、多施用には注意する。

5) 生物除草

(1) アイガモ除草等

①アイガモ利用の考え方

アイガモ除草は「合鴨同時作」とも言われる農法として発展してきた歴史をもつが、本項ではそ

の内の除草効果に着眼した部分のみを取り上げる。アイガモ除草は1985年に富山県の荒田氏が始め、荒田氏や福井県の置田氏の実践を参考にして、1990年に福岡県の古野氏によって改良・紹介され、合鴨同時作として爆発的に認知度が高まった。

その頃は、アイガモは生後2～3週齢が放し飼いの適期とされていたが、岡山大学の岸田氏の改良によって生後1日目から水田へ放す方法もとられるようになった。除草効果を得るための放飼時

期は田植え後早いほど良く、除草と育雛を兼ねる羽数としては、雑草量とも関連するが10a当たり20羽程度が標準的とされる。いずれも、雛の環境への適応力と外敵からの防御策を施すことが前提となるが、初期除草が行き届かない場合もあって、雑草の発生量に応じて、機械除草などを組合せて行うことが多い。

同時作と呼称されるように、アイガモの飼育には、ふ化後の餌付けによって管理者を認識させ、水田から逃げ出さないようにすることと、出穂までに回収するように馴らすことも重要になる。回収後はさ

らに肥育して、食肉として成長させるなど、稲作とは別の技術が必要になる。

②導入上の留意点と工夫

アイガモ除草は確実性は高いが、この方法を上手に活用するには留意すべき点も多いので、地域において先駆的に導入して効果を発揮している利用者の情報を収集、活用するとよい。

アイガモは集団で1カ所に固まって苗を踏みつけることがあり、生後幼い時期には体温調整ができなかったり、外敵に襲われやすいなど、水田放飼には課題がある。外敵は大型の犬や狐、鳥のカラスや鳶などで、電気柵やテグスによって防御する。犬や狐は放飼始め1年目は警戒して侵入しないことが多い。カラスや鳶は遠くから見つけて雛の段階で直ぐ襲ってくる。外から見つからない程度まで稲が繁茂すると外敵に襲われにくくなる。

なお、アイガモ除草では、農家による種々の工夫が行われている。

埼玉県の金子氏は、茎が太くて硬い「月の光」という品種での利用や、親鳥のアイガモも利用するなどの工夫をして成果を上げている。また、長野県の波多腰氏は親鳥を1羽入れた少羽数の集団を放し飼いすると、早くから耐水性を獲得し、外敵に対してうまく防御できるとし、また、休憩場所を畦畔沿いでなく水田中央に設け、外敵に襲われやすいイヌなどの歩行侵入に対して格段に安全性を増す工夫を行っている。さらに、秋田県大潟村の有機栽培農家では、育雛業者や肥育業者と協同して除草期間だけ水田で借り受け、水田から引き上げた後は減少した羽数分の代金を支払うレンタル放し飼いが行われている。

(2) 鯉・フナ除草

水田養鯉として長野県佐久地方などの一部の地域で利用されていたものが、水田に深く水を張って管理する鯉除草である。この方法は深水管理で除草出来ないコナギの除草にも利用できる。また、用水がコンクリートで固められていない水系と水田では、そこを住み家として繁殖しているフナやドジョウが除草効果を現すことで、同様な効果が期待で

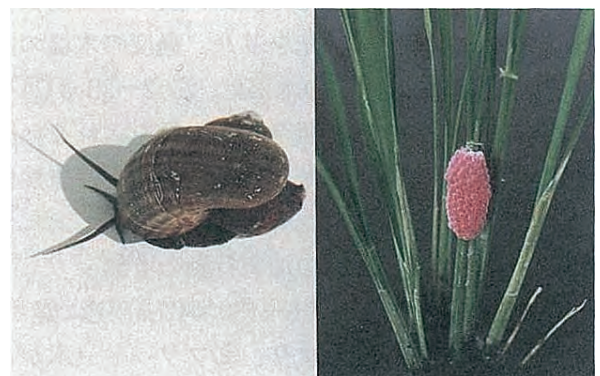
きる。アイガモ同様、外敵の防御に工夫が必要であり、稚魚の養成から始まって、飼育には一定の手間暇がかかるので、成長後の魚を利用する養魚業の一種として、水田の除草効果は付随的に利用するものと割り切る必要がある。

(3) スクミリンゴガイ（ジャンボタニシ）による除草

スクミリンゴガイは食用タニシとして導入された外来生物種である。移植水稻では雑草を抑えることができるが、稚苗や直播水稻を食害する有害生物であるため、駆除対象動物になっている（写真Ⅱ-23）。

九州で調べられた水田内のスクミリンゴガイは、基本的に2年生の貝であり、産卵された翌年に繁殖して死亡する生活史をもつ（鈴木芳人2002）。日本国内では越冬可能な地域は徐々に北上して拡大している。

稲株への食害を避けるように浅水で管理し、大苗を植え被害を軽減することで、結果的に雑草だけが食害される除草効果が得られる。浅水では広く徘徊しないため集中的に食害されるということをきらい、深水にして特定のところが食害を受けないように指導している県もある。スクミリンゴガイが繁殖している有機水田では雑草がほとんど残らないほど完全な除草効果がある。スクミリンゴガイは繁殖力が強く稲作への被害も増大していることから駆除対策が推進されているが、間引き駆除を行いつつ除草効果を上げている農家は多い。韓国では鳥



写真Ⅱ-23 スクミリンゴガイ成貝と稲株の卵塊
(遊佐2002)

インフルエンザでアイガモの放し飼いが敬遠されて以降、冬が寒くスクミリンゴガイが越冬出来ない地域では、ハウスなどを利用して野菜を餌として繁殖させ、水田に放飼する方式が急速に普及している。

温暖な九州地方では越冬して急激に繁殖地を広げている。鯉やネズミによる捕食が確認されているが、ネズミとスクミリンゴガイは住血線虫の宿主となり脳脊髄膜炎を引き起こす可能性があると考え（遊佐陽一2002）、除草効果はあっても未侵入の地域への導入は許されないことである。

（4）浮き草・藻類の活用

雑草によっては水中に根を張り、初期を除き水稻との生育競合を起こさず、他の雑草を制御する効果が得られる浮き草や藻類がある。特に、水稻との競合は初期の一時的な期間に限られ、光合成も含めて窒素の固定に役立ち、収量の増加にも役立つ面がある。アオミドロやアミミドロなどの他に、ホッスモやシャジクモなどの地下部に根や茎を伸ばす藻類もあるが、これらもほとんど減収をもたらさないため許容され、水稻と競合の少ない雑草種といえる。なお、オオアカウキクサには窒素固定の効果も期待できるが、外来種の導入に当たるという問題がある。

藻類や浮き草は自然発生が基本で、長期的に地力が向上して土壌への養分蓄積量が高まれば、田面水が浄化され自然に衰退する植物とも言える。

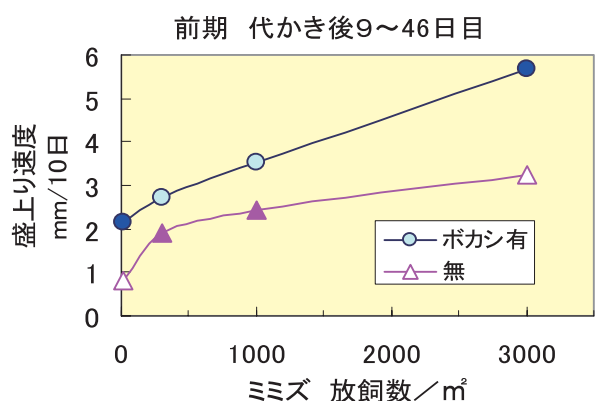
こうした藻類や浮き草が繁茂する場合、田面水の窒素あるいはリン酸含有率が高いことが懸念され、必ずしも水質が良いとは言えない。アオミドロなどが有機物の田面施用で過剰に発生する場合、除草機にひっかかって稲を巻き込む障害物ともなるので、アオミドロの抑制が必要となる。水の富栄養化を避ける目安や指標植物として、水質浄化をより積極的に行い、施肥を削減する必要がある。

（5）イトミミズ類による除草

イトミミズ類は排糞行動によって地中の土や菌類を飲み込んで地表に運搬し、雑草種子

の上いわゆるトロ土層を形成する（図Ⅱ－34、写真Ⅱ－24）。イトミミズ類の中で特に大型のエラミミズ（*Branchiura sowerbyi* BEDDARD）がトロ土層をいち早く形成し、安定した団粒構造によって、発芽可能深度の浅いコナギなどを始めとする雑草の抑制効果を高める。

エラミミズを主としたイトミミズ類による雑草抑止効果は、菊池ら（1977）によって早くから指摘されていた。地表面の盛り上りはミミズの排せつ活動と有機物分解による気相の増加により起こり、雑草の発芽深度に影響し、雑草抑制効果が得られる。代かき直後の盛り上がりはエラミミズの効果であることが認められ、 m^2 当たり1000～3000頭の密度のミミズでは特にコナギが明らかに減少した。ミミズ放飼数の増加に伴って、i) 地表面の盛り上がり、ii) 田面水の濁り、iii) アオミドロの発生が増加する傾向が見られる。また、エラミミズの雑草抑制効果を高める耕種要因として、i) 2回目の代かきで除草後、エラミミズの活動開始を早める、ii) 移植後30日間田面を露出させない水管理でコナギなどの定着を阻止することが挙げられる（原田ら2001）。



図Ⅱ－34 エラミミズのトロ土形成速度
（原田・岩石2000）



写真Ⅱ－24 冬期湛水により活動するミズムシとイトミミズ
（提供；（財）自然農法センター）

(6) 緑肥被覆除草

①技術の考え方と適用場面

マメ科緑肥の一種であるヘアリーベッチを水稻作の前に栽培し、雑草の発生を抑える方法がある。田植え前にヘアリーベッチの地上部を細断して緑肥として鋤込むか、裁断物で田面を覆い、鋤込むことなく不耕起用田植機で中苗を移植して雑草の発生を抑える方法である（写真Ⅱ－25）。

ヘアリーベッチは雑草に対するアレロパシー効果を持ち、かつ物理的に枯れた地上部が田面を被覆し抑草が可能である。また、緑肥の肥料効果や天敵などの複合的な効果で普及が進みつつある。レンゲでは、導入2年目以降にレンゲそのものの生育が抑制されることがあるが、ヘアリーベッチの場合は2年目以降の生育抑制はあまり見られない。ただ、ヘアリーベッチを田植え前に鋤き込む方法では、不耕起の場合に比べて抑草効果は劣り、雑草の発芽抑制は無処理の半分程度にとどまる。一方、不耕起の場合は専用田植機が必要であり、それぞれ長所と短所がある。



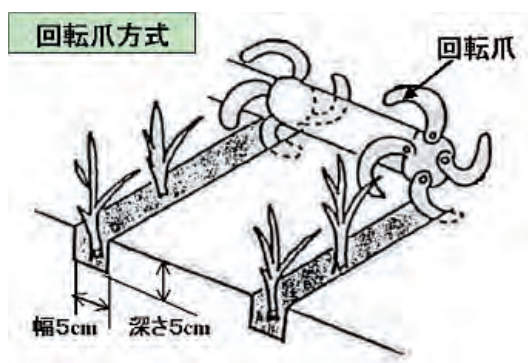
写真Ⅱ－25 ヘアリーベッチ生育の様子（提供：大下 穰氏）

②技術の内容

前年10月にヘアリーベッチ種子（品種：普通種、「まめ助」など）を4～5kg/10a播種すると、地域や地力、湿潤状態にもよるが4月から5月までに草丈が50～150cmほどに生育する。これら地上部は7～15kg-N/10aの窒素を含有する。これをハンマーロータリーやストローチョッパーなどで地上部を細断する。通常の栽培法ではここで鋤き込み、定法どおり田植えを行うが、不耕起の場合はローラーなどで鎮圧した後、市販の汎用型不耕起田植機で不耕起のままで中苗を移植する（図Ⅱ－35）。

ヘアリーベッチによる不耕起除草技術の利点は以下の通りである。

- 耕おこし・代かきをしないので、濁水は全く発生せず、移植時の田面水の懸濁も少ない。
- 秋耕、春耕、代かき作業が省略でき、移植時に枕地が荒れない。
- 移植作業、収穫作業は田面が固いので能率的に行える。



図Ⅱ－35 不耕起田植機(植付部分のみ耕す回転爪がついている)

(滋賀県農業排水対策営農技術集2004)

- 土をこねないので土壌が強還元状態にならない。

一方、課題としては、専用の田植機が必要、代かきをしないので水保ちが悪くなりやすく、用水が多く必要、代かきしないので多年生雑草が残りやすい、耕土が硬いので株張りに影響するなどが挙げられる。

③導入・利用上の留意事項

- ヘアリーベッチは排水性の悪い圃場では生育できないので、暗渠、明渠などの排水対策を行う。
- 水田での鋤込みは、田植えまでの分解や作業性を考慮し、草高は30cm程度とし、田植え1～2週間前に行うことを目安とする。
- 温暖地ではヘアリーベッチが生育過剰となることもあるので、早生種の「まめ助」（早生種）などを春播きとし、適度な生育量に抑える。
- 暖地や一般地では晩生種の秋播きとするか、早生種の早春播きとする。
- 春播きで土壌が乾燥している場合には、播種後に鎮圧するなど乾燥防止を行い、発芽を揃える。
- 寒冷地での播種は稲刈り1～2週間前に耐寒性、耐雪性に優れた品種を播種し、生育量を確保する。
- ヘアリーベッチを田植え前に鋤込む方法では、雑草の発芽抑制は不耕起の場合に劣り無処理の半分程度にとどまる。
- ヘアリーベッチを田植え前に鋤込む方法では、雑草の発芽抑制は不耕起の場合に劣り無処理の半分程度にとどまる。

6. 栽培管理技術

1) 耕耘法

有機栽培において、耕耘は有機物の分解や雑草の発生・抑制と深く関わるため、慣行栽培の場合より重視すべき作業となる。稲わらなど粗大有機物が未分解なままで、田植え前に施用され耕起・代かき段階で湛水処理されると、地温の上昇に伴い有機物の分解が一気に進み、土壌は強い還元状態となり、根圏環境の悪化で稲の生育不良や雑草繁茂の誘因になる。このことは温暖地よりも、寒冷地や暖地の山間冷涼地においてより影響が大きい。

そのため、耕起をするかしないか、耕起をする場合でもいつ、どのように行うかなどが重要な問題となる。特に、土壌の種類や排水性の良否によっても対処法が異なるので留意する。

有機栽培で重視される耕起法の内容、特徴と留意事項は以下の通りである。

(1) 耕耘方法与有機物分解

水田における耕起・耕耘方法は、大きくはプラウによる反転耕とロータリーによる攪拌耕に大別される（写真Ⅱ－26）。これら2者の有機物分布や分解特性に関しては表Ⅱ－26の通りである。

気候帯別の水田の排水性と耕耘時期・稲わら分解状況について、事例から整理すると表Ⅱ－27のようになる。

表Ⅱ－26 プラウ耕とロータリー耕の特徴と相違点（金田吉弘 1998から作表）

区 分	プラウ耕	ロータリー耕
土壌の通気性向上	土塊が非常に大きく、耕起深は18-20cm以上と深く、通気性が高い	作土全体を細かく碎土し、耕起深は13～18cm程度と深くはない。
有機物の下層への分布	下層に80-90%鋤込まれる。	下層土に25-35%鋤込まれ、多くが上層に分布する。
稲わら分解	排水が劣る場合は、ロータリー耕よりプラウ耕で下層に分布させる方が、稲の生育を抑制することは少ない。	施用1年目で60-70%が分解。排水良好田ではプラウ耕で下層に分布させるより分解促進効果は高い。



(プラウ耕)



(ロータリー耕)

写真Ⅱ-26 プラウ耕とロータリー耕 (提供: 大下 穰氏(左)、三宅恭弘氏(右))

表Ⅱ-27 地域別の水田の排水性と耕耘時期、稲わら分解の関係 (金田吉弘 1998から作表)

地 域	水田の排水性:良	水田の排水性:不良
暖地の平坦地	施用量が適当であれば鋤込み時期による稲わらの分解程度に大差はなく、翌年の湛水時まで40-45%が分解する。稲の生育収量に対する影響も少ない。	
東北、北陸	岩手県が多湿黒ボク土水田の場合、稲わらの秋散布のみでは翌春の湛水直前までの分解率は約20%であったが、秋鋤込みでは30-40%と約2倍高かった。	湛水により土壌の還元化は進むが、稲わらを春に鋤込んだ場合、前年秋に鋤込んだ場合に比べ、酸化還元電位(Eh)の低下が急激に生じるため、土壌環境の変化が大きい(新潟)。
北海道	北海道中央部のような寒地においても排水性が良好な水田では稲わらを秋に散布するだけよりも鋤き込むことにより稲わらの分解は促進される。	低温地帯である北海道中央部の透水性不良水田では秋から積雪までの間が過湿状態となり、融雪後も湛水状態となりやすいため、秋鋤込み効果は低くなる。この場合、無理に秋鋤込みを実施するより秋散布だけでも分解程度は同等かやや優る傾向がある。

(2) 耕耘・耕耘方法と雑草抑制

耕耘・耕耘が雑草発生に影響を及ぼす事例がいくつかみられる。

寒冷地においては、収穫後の秋耕耘で稲わらを鋤込むことで、次作における雑草の根量と多年生雑草であるクログワイの新規塊茎重量が低下した(表Ⅱ-28)。入水40日前の春耕起や入水前の深耕(15cm)もクログワイの新規塊茎重量を減少させた(図Ⅱ-36)。秋耕耘を行い、かつ入水40日前の春耕起を行うことで雑草重量が低下し、オモダカ、イヌホタルイ、キカシグサなどの小型広葉雑草が抑制傾向となった(図Ⅱ-37)。

耕耘・耕耘が雑草発生に影響を及ぼす現象を機構別に整理すると以下ようになる。

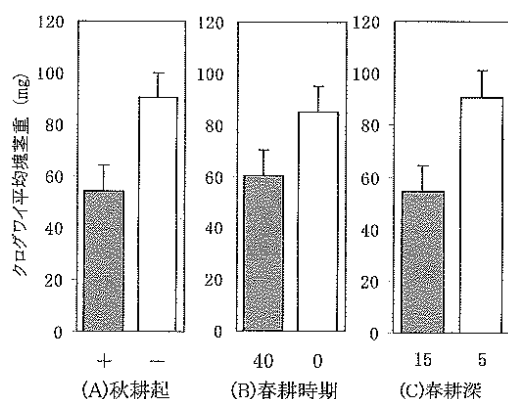
①稲わらなど粗大有機物分解促進

入水後の強還元状態を回避するには、稲わら

など粗大有機物の分解がより進むように耕耘・耕耘を行うことである。水田の代表的強害雑草であるコナギは低酸素条件で発芽することが知られ(千坂・片岡1977)、鋤込んだ稲わらが未分解の場合、入水後の分解により酸素を消費して土壌の還元化が進む。一方、稲わら分解が進んでいるほど土壌の還元化が進まず、コナギの発生も抑制される。東北以南で強湿田でない限り、秋耕耘と春耕起で稲わらを予め分解させておく。北海道のような寒地や日本海側の強湿田で秋耕耘が難しい地帯では、秋は表面を浅く耕耘する程度にとどめるか、不耕耘として稲わらを表層に留め、土壌全層に鋤込まない。

②雑草種子を休眠・死滅させ、発芽させない

耕耘・耕耘を工夫することで、土壌を乾燥させると雑草種子の乾燥も進み、休眠状態になる。コ

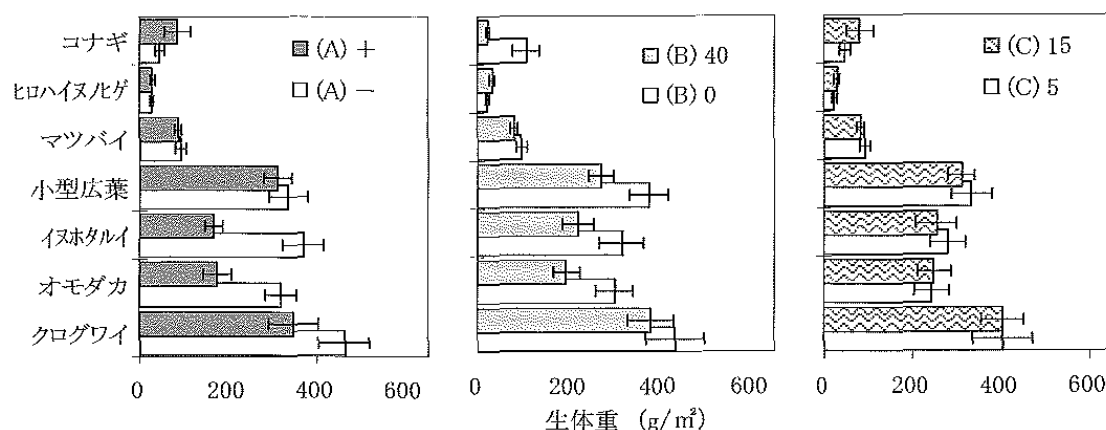


表Ⅱ-28 秋耕起と水稻・雑草の根量（岩石ら2010）

水準+：秋耕起有り、-：秋耕起無し

要因	水準	根の乾物重 (g/m ²)		
		除草部分 水稻	無除草部分 水稻	無除草部分 雑草
(A) 秋耕起	+	77.1±2.7	47.2±6.5	65.4±11.3
	-	84.4±2.8	41.5±7.8	108.5±8.6

◀図Ⅱ-36 クログワイの新規塊茎重量（岩石ら 2010）



注1：(A) 秋耕起：有り+, 無し- (B) 春耕起施肥時期：入水0日前, 40日前 (C) 春耕深：15 cm, 5 cm

注2：小型広葉は主にキカンササで、ミノハコベ、アゼナを含む。

注3：各水準 16 区の平均値とエラーバーは標準誤差を示す。

図Ⅱ-37 耕耘処理と雑草発生重量（岩石ら 2010）

ナギは冬季の低温を経て休眠から覚醒するが、湛水土中貯蔵条件より畑土中貯蔵条件の方が二次休眠の導入がされやすい（小荒井, 2004）。また、クログワイなどの多年生雑草の塊茎根は、冬季の低温と乾燥状態にさらすことによって死滅する（草薙, 1975）。また、イヌホタルイやノビエにも効果がある。表Ⅱ-26に示したように、ロータリー（攪拌）耕よりもプラウ（反転）耕の方が土壌の通気性向上に対し効果的であり、多年生雑草の防除により適している。プラウ耕の後にロータリー耕を行うと防除効果は一層高まる。多年生雑草の塊茎の形成を防ぐには、秋早めに耕起・耕耘を行う必要があるが、冬期の耕耘で乾燥に弱い塊茎や種子を殺すことができるので、非積雪地帯で11～12月、2～3月、4～5月に各1回ずつ、積雪地帯では積雪前の乾燥時に行うとよい。

＜秋耕、冬耕で効果のある草種＞

効果が高い：ウリカワ、ミズガヤツリ、セリ、
クログワイ、マツバイ

効果が期待できる：イヌホタルイ、ノビエ

③雑草種子の埋没化

作土層の表面にトロトロ層（微粒子堆積層）が形成される過程で、雑草種子をトロトロ層の下まで沈降させると発芽が困難になる。このような土壌構造は、有機物の施用と耕起、土壌の乾燥、それに伴う稲わらの分解、適度な代かき方法により形成される場合や、冬季湛水水田などあえて耕起を行わない管理技術でも観察される（稲葉 2007、写真Ⅱ-27）。

④乾土効果による水稻生育促進で雑草との競合回避

非作付期間の適度な耕起によって土壌乾燥が



写真Ⅱ-27 トロトロ層の分化（提供：大下 穰氏）

進む環境を整え、作付期間の土壌乾燥処理で乾土効果を発現されることに伴い、稲の生育が良好になる結果、雑草との競合に強くなる。有機農業では地力によって生育させることを主眼とすべきであるが、水稻では土を乾かすことで土壌有機物や微生物由来の窒素が無機化され、より生育促進につなげることができる。

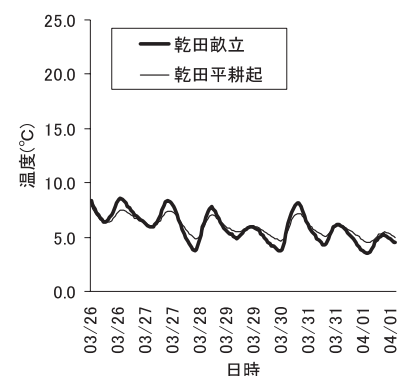
（3）畝立耕起による雑草抑制

①技術の考え方と適用場面

畝立て耕起法とは、乾土効果を発揮させるねらいから、秋から春にかけて複数回畝立て状に耕起をすることで、土壌をより乾燥させる耕起方法であるが、それらを実施した複数の農家において水生雑草が抑制されることが分かってきた（大下・田淵 2010、写真Ⅱ-28）。これらの事例を対象に、聞き取り調査や土壌構造に関する現地調査を行ったところ、次のような共通点があった。



10	11	12	1	2	3	4	5
畝立耕起 1						畝立耕起 2	畝立耕起 3
						畝立耕起 4	平代田 かき



図Ⅱ-38 優良事例農家の地理的分布と代表的な耕起歴、地温の変化（（財）微生物応用技術研究所）

- 畝立耕起は、当初は乾土効果による収量増加と稲わら等の粗大有機物の分解促進が主な目的で行われていた。
- ていねいな代かきでは土がこねられ透水性が低下し、初期生育が悪くなるため、入水量を抑えて高速で代かきをしていた。
- 畝立耕起により発生雑草量が減少することは共通していたが、抑制の経過には地域差が見られ、畝立耕起の翌年から著しい減少がみられた場合と畝立耕起の継続で徐々に減少していった場合があった。
- 収穫時期の稲株周辺の土壌断面としては、作土が約15cmで、表層1～2cmに粒子の細かいトロトロ層があり、さらにその下に大きな団粒が発達した構造（ゴロゴロ層）が形成されるという特徴的な構造が確認された。
- 畝立耕起により玄米収量が増加した。

現地水田や試験水田で比較したところ、畝立耕起区では平耕起区に比べ土壌水分含量は低く、地温は最高地温が高く、最低地温は低く、地温の振れ幅が大きかった（図Ⅱ-38）。雑草の発生数や乾物重も平耕起区に比べ畝立耕起区で少なく、湿田に比べ乾田の方が少ないなどの傾向が確認された（表Ⅱ-29）。さらに、土壌の乾燥が主な雑草種であるコナギ種子を抑制するものと考えられた。

②導入・利用上の留意事項

実施上のポイントと留意事項は以下の通りである。

- 砂質土壌より粘土質土壌で効果がある。

表Ⅱ－29 顕著な効果を上げている農家の栽培条件及び管理概要 ((財)微生物応用技術研究所)

	No.1 青森県中泊町	No.2 青森県南部町	No.3 岡山県岡山市	No.4 鳥取県鳥取市
気候条件	冷涼・多積雪	冷涼・無積雪	温暖・無積雪	温暖・多積雪
土壌条件	グライ土(砂・粘) 排水不良	黒ボク土 排水良好	グライ土(干拓地) 排水不良	灰色低地土 排水不良
主な雑草種	コナギ	コナギ	コナギ	コナギ
雑草管理	中耕1～2回	中耕2回	中耕2回	手取り(一部)
秋耕起	プラウ耕 (特に排水不良田は ディスクプラウ使用) サブソイラ	ロータリー耕起 (平耕＋畝立耕)	ロータリー耕 (平耕＋畝立耕) サブソイラ＋弾丸 暗渠	ロータリー耕 (ロータリー爪組替 えによる畝立耕)
春耕起	畝立耕3回 4回目に整地 (培土板使用)	畝立耕3回 4回目に整地 (培土板使用)	畝立耕4回 5回目に整地 (培土板使用)	畝立耕3回 整地なし (ロータリー爪組替)
代かき	水が見えない程度 に入水して代掻き。 1回1通り。	水が見えない程度 に入水して代掻き。 1回2通り。	水が見えない程度 に入水して代掻き。 1回1通り。	畝の8割まで入水 し、高速代かき。1回 1通り。
その他投入有 機物	籾殻堆肥 (自家製造)	魚粕 (圃場による)	籾殻(30cm下) 米糠、菜種油粕	牛糞堆肥 米糠、菜種油粕



(青森県南部町)



(岡山県岡山市)



(鳥取県鳥取市)

写真Ⅱ－28 畝立耕起の実施状況 (提供：大下 穰氏)

- ・日本海側など冬期に乾きにくい水田では適応が難しい。
- ・気温の高い西南暖地では畝立耕起を何度も行うことで有機物分解が進みすぎ、地力消耗にならないよう注意する。

(4) 不耕起

有機栽培においては敢えて耕起を行わない場合がある。冬期湛水栽培、緑肥による被覆栽培、寒冷地における排水不良田栽培など幾つかのケースで行われるが、本節では不耕起と有機物分解や雑草発生、水田の透・排水性における特性

を中心に解説する。

①不耕起水田での有機物分解特性

寒冷地における排水不良田では、耕起・代かきをする場合、9月までの分解率は65%であったのに比べ、不耕起水田では78%とより分解が進んだ事例がある。これは稲わらが存在する位置の地温が地中よりも地表でより高いこと、湛水後の土壌が代かき水田よりもより酸化的であったことが指摘されている(金田 1998)。

②不耕起水田としての冬期湛水栽培における雑草抑制特性

収穫が終了してから田に水を張って管理する冬

期湛水栽培は、不耕起水田のあり方のひとつであるが、水鳥の糞などによる施肥効果とともに雑草抑制効果がある。特に通常の不耕起栽培で問題となりやすいスズメノカタビラ、スズメノテッポウなどの畑雑草が抑制されることや、水面採餌型の水鳥が多年草雑草の越冬雑草を食べてくれることがその要因とされている。その技術や実施上のポイントは「冬期湛水」の項を参照されたい。

③緑肥被覆による不耕起栽培

裏作時にマメ科緑肥を栽培し、田植前に細断して田面を覆い、そのまま入水して田植えを行う緑肥被覆栽培では、鋤込み耕起は行わない。マメ科緑肥としてヘアリーベッチを使用した場合は、アレロパシー効果や枯れた地上部の被覆効果で雑草抑制ができ、養分効果もある。ヘアリーベッチは排水性の悪い圃場では生育できず、逆に漏水田では代かきを行わないので水もちが悪く越冬率が高まって、多年生雑草が残りやすいなどの欠点もある。詳細は「緑肥被覆除草」の項を参照されたい。

2) 代かき技術

(1) 代かきの考え方と方法

①代かきの考え方

代かきには、i) 水深が一定となる平らな田面をつくる、ii) 適度な水持ちと水はけ（日減水深）を調整する、iii) 田植機に適した土の粘りと柔らかさをつくる、という3つの作業目標がある。

有機栽培の代かきは、浅い仕上げの代かきをすることで雑草の埋土種子を持ち上げないようにして、除草効果を高める。このため、耕耘深度を浅くする浅代かきを行う。ただし、浅代かきでは減水深が大きくなることもあるので留意する。

均平化は水面を水平の目印にして、荒代かきの時に大まかな均平を行い、植代時は不陸部分の調整にとどめる。代かき以前に土を偏らせない耕耘を行うことは言うまでもない。日減水深が40mmより大きいと漏水田となり、用水が損失となる上、低地温で生物活性も低く有機物分解が進まず、水稻の生育が停滞する。

日減水深が5mm以下では、有機物の分解に伴う還元障害が強く表れ、塊茎繁殖型の雑草の繁殖力が高まり、水稻の根の伸張が抑えられる。不耕起栽培や無代かき田植えは、減水深によって適用できる圃場が限られる（10mm以下の水田は推奨、40mm以上の水田は不適）。

湿田など地下水位が高い圃場では、田面の均平を犠牲にして耕耘・代かきを省略する方が良い場合がある。漏水と判断されれば再度代かきをするが、機械除草作業で水持ちも良くなるので、堆肥散布などの作業機による踏圧や栽培中の管理作業を見越して減水深を調整する。

②代かきの方法

i. 稲わらを浮き上がらせない荒代かき

稲わらなどの粗大有機物は雑草種子と比重が近く、雑草の発生源となるので、耕耘深度は収穫後の早い段階では深く、田植えが近づくにつれ浅く設定し、最終の代かき（植え代かき、仕上げ代かき）はごく浅くする。荒代かき時の水深は、原則として稲わらなど未分解有機物を埋め込むために、田面が半分以上見える程度の浅水とする（写真Ⅱ-29）。特に耕耘によって土塊が小さくなった状態では、ごく浅水で粗大有機物が浮き上がらないようにやや粗く深めに埋め込む代かきを行う。そして地表部5cm内の稲わらなどの粗大有機物を減らす。また、鋤床の深さを一定に仕上げ、同時に水持ちを改善して畦畔からの漏水も防ぐ。

ii. 仕上げ代かき（植代かき）の方法

植代かき時の水深は深く、水面に合わせて表面を浅く代かきして平らにする（写真Ⅱ-30、31）。畦畔からの漏水の無い条件での適正な日減水深をおよそ10～20mm（寒地～寒冷地）、20～30mm（中間地～暖地）とし、1～2回の代かきを組合せた効果によって水持ちを適正に整えるよう、水稻生育や圃場条件、気候等を勘案して、代かき強度を加減する。

最初の代かきでは、入水後一定の時間を経過させることで、圃場内での水かかりムラをなくし、均平化と同時に下層土を練り固めずに、鋤床の深さと地表面の深さを均一にする。地表面は細かく



写真Ⅱ-29 田面を露出する通常の植代かき
(提供：(財)自然農法センター)



写真Ⅱ-30 ハローの深さをミラーで確認、深水植代 (提供：(財)自然農法センター)



写真Ⅱ-31 深水で浅く地表面を掻く「深水浅代かき」。ロータリーの位置を水面に合わせる(右)
(提供：原田健一氏)

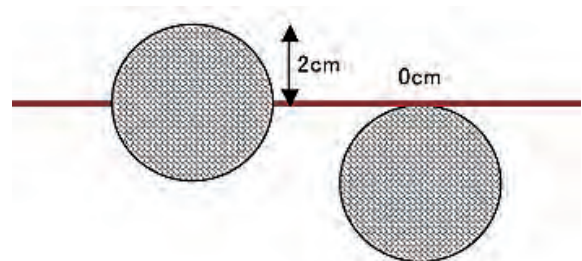


下層土は粗くかき混ぜるため、走行速度を遅くし高速回転の設定で、ドライブハローなど広範囲を一度に代かきできる幅広のロータリーを使い、地表を浅く細かく攪拌して、田植えがしやすい硬さに仕上げる。特に、仕上げ代かきまでの期間を長くとり時には、土が落ち着き土壌の間隙にあった水が減り、土が硬くなるので、タイヤ跡を増やさないように、できるだけあっさり、代かきの重複を避けて仕上げる。

iii. 田植えに適した代かきの方法

平箱苗の田植機で、正確に苗を植え付けやすい土の硬さは、ヨウカン程度と言われる。その硬さになる代かき後の日数は土壌のタイプにより変わる。有機稲作田では高速の表面代かきや、有機質肥料の施用でより柔らかくなるため、代かきから田植えまでの間隔を土性によって適正に空ける必要がある。雑草との競合を考えると代かき後早期

の田植えが効果的なので、仕上げ代かきはできるだけ軽くし、田植機に付属する枕地ローターで軽く仕上げながら田植えを行うなど、通常の代かきを省略することで田面の硬さを整える。田面の硬さが一定まで落ち着いてから田植えを行うが、田植機に適した硬さは、ゴルフボールを1mの高さから落として全体が埋まる程度（田面から-2～0cm）



図Ⅱ-39 移植に適した田面の硬さ
(岩手県農業研究センター HP)

注：移植に適する土の硬さは慣行移植と同じ程度で、土の硬さは落下貫入深でおよそ-2cm～0cmとする。

を目安にするとよい（図Ⅱ－39）。

（2）代かきの留意事項

①深水浅代かきの植代かきによる除草

事前に稲わらを分解させておき、荒代かきでは浅水で稲わらを沈めておく。荒代かきから植え代かきまでの期間を空けると、植え代かき時の水深は荒代かき時よりも多めにしないと代かきはできない（図Ⅱ－40）。

さらに深水で浅い代かきによって田植え時には均質で均平な田面とし、地表に近いほど土壌粒子を細かくなめらかな微少団粒による地表の構造をつくる。種子雑草の抑草に必要な目安は、荒代かきから植え代かきまで10℃以上の有効積算温度が100～150日℃を経過した時点で行う2回代かきである。

②減水深の調整

減水深は耕耘の深さと代かき作業の回数により調整する。水稻の根を深く張らせるためにも水が縦に移動する必要があるため、まず畦畔からの漏水を無くした上で、代かきにより地表の土壌のみを細かく、耕耘によって下層土を粗くして、日減水深を10mm～30mmに（寒地で少なく暖地では大きく）調節する。

湿田では機械による圧密を避けできるだけ粗く深く起こし、乾田では一定の水分を含んだ下層土を締め固めて水持ちを良くする。土壌水分によって作業機で踏圧される深さや程度が変わるので、

入排水管理によって適期作業を行う。

③土の軟らかさと無落水での田植え

有機質資材の施用で土は膨軟になることが多く、仕上げ代かきから田植えまでの期間は慣行栽培の場合より長めに想定しておく。当然、土性や減水深によって、土が硬くなるまでの間隔は異なる。環境保全の面から濁水を用排水路へ排出しないためにも、自然落水で田植え日を迎えるようにする。また、雑草が出芽を始める植え代かき後は、できるだけ早く田植えを行う。

④2回代かき除草と適応可能土壌

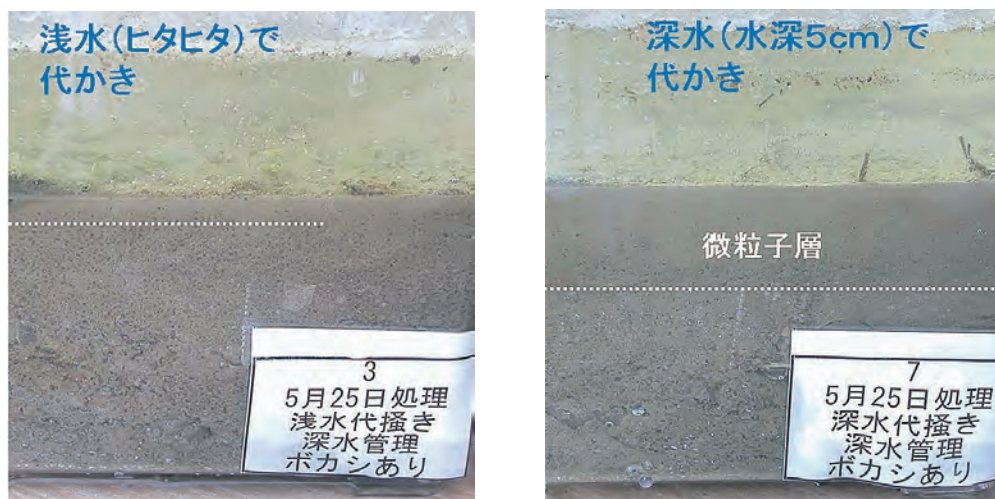
重粘土壌では、2回代かきによる長期間湛水後に仕上げ代かきを行う際には注意を要する。荒代かきをした下層土がタイヤに着いて持ち上げられ、再び荒代かきが必要になる場合がある。また、砂質で固まりやすい土壌では、こまかな仕上げ代かきが出来ず、同様に代かき回数を増やす必要が出てくる。そうした圃場では、代かきが深く過剰になるので、短期間で2回目の代かきを終える必要があり、2回代かきによる除草効果があり期待できない。

3）田植え技術

（1）田植え適期の決め方

①田植え適期の考え方

田植え時期の選択は重要である。近年、兼業化に伴い休日田植えが多く行われ、連休中に田植えが集中する傾向があり、実際には適さない田



図Ⅱ－40 雑草が生えにくい代かきで異なる土壌構造（提供：林広計氏）

植え時期になっている場合も多い。慣行栽培においても、最近では近年の早植えに起因する白未熟粒の増加が指摘され、遅植えが奨励されている。

有機栽培の場合には、中・成苗の移植が推奨されることや地力窒素が発現する温度条件を勘案すると、周囲の田植え時期に比べて、かなり遅い時期にする必要があるが、一定の収量を確保するために、最適な田植え時期を決める必要がある。ただし、水利慣行によって入水開始から中干しや落水が厳しく制限されている場合があり、水利用者全体の理解を得る必要がある。苗質や品種の早晩生によっても大きく異なるが、活着が良く、生育量が適当で収量が安定する田植え適期になるように、また、育苗期間も含めて出穂期と成熟期が適切になるように配慮して計画をたてる。土づくりの観点から、鋤込んだ有機物の分解と熟成が進んだ段階で田植えをすることが重要である。その上で、水が温まり生物活性が高くなる時期を選ぶ。また、田植え前までに水田土壌が熟成していること、及び田植え後に水稻の生育が旺盛になることを両立させる時期を選ぶ（図Ⅱ－41）。水稻と競合する雑草に対しては、田植え時期を遅らせるだけで相当な除草効果が得られる。逆に発生時期の遅い雑草種が増えれば、早植えに転換して雑草を抑制することも効果的な対策となる。

②田植え時期決定の目安

田植え後2週間までの間に、10℃以上の有効積算温度が200日℃に達する時期に田植えを行う。コシヒカリでは、田植えから出穂期までが1400日℃、出穂から収穫までの登熟期間が1100日℃が目安となる。田植え後の活着を良くし、初期生



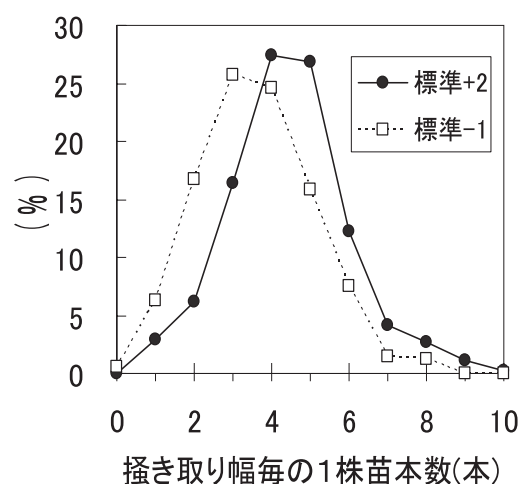
図Ⅱ－41 田植え前後の関係（イメージ）

育量を増やすためには、健康な大苗（成苗、中苗）育苗が有利である。生育に必要な温度を確保するために、田植えの適期に合わせながら、苗の大きさを選ぶ。栽植密度は地力により適性が変わるので、最高茎数や穂数の目標を㎡当たり300～400本となるように、圃場条件に合わせて設定する。疎植（少ない株数）、薄植え（少ない本数）が稲体の健全度を高め、また、水稻群落としても一定の面積に一定の葉面積を持つことが収量を保持しながら健全度を高めることになるので、適正な栽植密度に設定する。

（2）栽植密度設定の留意事項

有機稲作では、地力窒素の発現が遅れることなどから、疎植にして健康に育て、水稻の個体が育ちうる最大の生育量を得ることを目指す。しかし、実際には、病虫害や植付け精度などの問題から、1株の苗数にはかなりのばらつきが出るため、分けつ数や葉面積が不足することもある。また、生育量の不足は病虫害や雑草害のリスクを高める。そこで、水稻群落全体としての最適な分けつ数や葉面積の確保を図るため、必ずしも疎植に限らず、圃場毎や育苗技術毎に適正な栽植密度を設定する必要がある。

図Ⅱ－42は中苗用の100g播き苗を1段20回掻き取りで、田植機（K社製）で植えた時の1株当たり苗本数の変動を示したものである。条播きの



図Ⅱ－42 掻き取り幅と1株苗数の分布
（（財）自然農法センター調査元データから作図）



写真Ⅱ－32 部分的に雑草で生育が抑えられた圃場
(提供：(財)自然農法センター)

精密播種機で育苗し、掻き取り幅を標準設定の＋2から－1まで3段階違えると、掻き取りが少ない(標準－1)と2本植え以下が1/4程度になり、掻き取りが多い(標準＋2)と4、5本植えが半分以上で7本以上が1割近くになってしまうことが判る。

田植機の密度設定(通常坪当たり株数)で、株数を設定するだけでなく、1株当たり本数は、育苗段階の播種量でおよそ決まり、掻き取り幅の変更で植込み本数は変動する。この場合、中苗の坪70株植えでは、掻き取りを3段階増やし、平

均して株当たり1本多く植え込むと田植えに必要な箱数が3割増える。

養分の不足だけでなく、病虫害による生育抑制や雑草との競合でも生育は極端に抑えられる(写真Ⅱ－32)。そのため、前述した有機栽培転換期などの問題により生育が抑えられることを想定して、水田毎の生育量を予測して、実際の圃場毎に植付け箱数の目標を立てて栽植密度を調節する。

7. 病虫害防除技術

1) 主な虫害の発生生態と対策

(1) イネミズゾウムシ

①被害の状況

主に寒冷地や中間地稲作で問題になる。成虫は葉を、幼虫は根を食害する。排水不良の湿田、還元条件が強く根の発育が不良な水田、未分解な有機物が施用されると被害が出やすい。成虫による稲の葉被害は、葉脈に沿って幅1mm程度、長さ0.5～5cm程度と細長い線状で、表皮を残して葉身をカスリ状に食害する。被害初期は水田周辺の畦畔沿いに多く、ひどい場合は水田全体に及ぶ。田植え後2週間頃から幼虫が根を食害し、



写真Ⅱ－33 イネミズゾウムシと食害の状況
(提供：埼玉の農産物病虫害写真集HP)

被害が激しい場合は分けつが極端に抑えられ、株は容易に引き抜ける状況になる。放置すると生育が遅延し、有効茎数、穂数の減少で収量が落ちる。

②生態

越冬は成虫態で、乾燥した雑木林、屋敷林、竹林などの落葉の下で行われる。越冬した成虫は当初はその場周辺でイネ科雑草の新葉を食べているが、田植後水田に移動し稲を食べる。日本の生息種は単為生殖性で雌のみとされる。水田侵入後水面下の葉鞘部に産卵し、1週間から10日後に幼虫が孵化する。幼虫は水中へ落下し根に達し根を食害する。7月上旬頃から根に付着したまま土繭をつくり、内部で蛹化する。10日程度で繭が新成虫として羽化し地上へ這い出てくる。出穂期ごろ稲や畦畔上のイネ科雑草を摂食した後、越冬場所に移動する。

③対策

- 水田への成虫移動がピークを迎える時期に田植えを行うと被害が甚大になるため、中間地の平野部などでは移動が終わる時期を予測し田植えを行うか、寒冷地では侵入盛期は葉耳が冠水しない程度の浅水で管理する。
- 浅水管理は、早朝または夕方にこまめに入水し日中は控え、落水して産卵ピークを過ごす。また、浅水では雑草の生育量が増えるので、落水時には除草する必要がある。
- 田植え前後に、畦畔際に障壁を設置し成虫の水田への侵入を防ぐ。障壁には畦畔シートなど成虫がよじ登れない素材のシートや板を使用する。
- 稲わらや稲株など前年の残渣が分解不足であったり、外部から未熟な有機物が施用されると、稲の生育時に分解が進み、稲の生育遅延がイネミズゾウムシ寄生の誘因となり、被害が大きくなる。これを防ぐため、稲刈り後出来るだけ早く耕起を行うなどの対策をとる。特に、排水不良の湿田は未熟な有機物の分解時に還元条件が強くなりやすいため、秋や春に畝立耕起や溝きりを行い、土壌の乾燥化を進める。

- 越冬成虫の密度や本田への侵入時期は地域や気象条件によって異なるため、田植え前に、越冬地である竹林や雑木林の周辺、畦畔のイネ科雑草への食害や成虫をよく観察し、発生量や発生時期を把握する。成虫は夕方から夜にかけて飛ぶが、光に集まるのでこれを利用して移動時期や発生量を知る。
- 多肥栽培では成虫の飛来数や成虫1個当たり産卵数が増加するため、少肥に努める。
- 産卵最盛期に浅水～早期中干しで産卵を減らす。中干しは強く行くと発生数を抑制する。
- 越冬成虫が水田に移動する時期に、畦畔雑草を除去すると水田への侵入を早める。土手や畦畔雑草の管理により繁殖場所を増やさないことが必要であるが、草刈時期を間違えるとイネミズゾウムシだけでなく、カメムシの被害も受けるので注意する。
- 稚苗移植が最も被害に遭いやすいので、稚苗を避けより大きい健全な中～成苗の移植に努める。
- 畦畔雑草をミントやマメ科雑草など非イネ科雑草で被覆する。
- 畦畔シートなどで田んぼ周辺を囲み、成虫の侵入を防ぐ。

(2) カメムシ類

①被害の状況

カメムシ類による被害は、成虫と幼虫が稲の出穂後（乳熟期～黄熟期）に穂を吸汁することで、吸汁痕が褐変して斑紋（斑点米）となり、商品価値を著しく低下させる。このような被害が問題となったのは1970年頃からで、斑点米の発生量は増加傾向にある。斑点米を産出するカメムシ類は9科65種が挙げられるが（安永1993）、そのうち生産現場で重要なのは10種あまりで、地域により発生する種は異なる（表Ⅱ－30）。

斑点米の増加している背景には休耕田の増加と雑草管理の不徹底があり、雑食性で本来稲に対する依存度の低い種々のカメムシの発生が多くなり、これらカメムシが出穂後の水田に侵入して穂を

表Ⅱ－30 斑点米の原因になるカメムシの種類と地域分布
(江村一雄 2004から作表)

カメムシの種類	発生地帯
・アカスジカスミカメ ・クモヘリカメムシ、ミナミアオカメムシ ・ホソハリカメムシ、トゲシラホシカメムシ ・シラホシカメムシ ・オオトゲシラホシカメムシ ・アカヒゲホソミドリカスミカメ ・コバネヒョウタンナガカメムシ	東北以南 関東以南の西日本 関東、北陸以南 関東、北陸 新潟以北の東北 北海道、東北、北陸 全国

吸汁加害している。その中には年間3～4世代を経過する種や飛翔能力に優れる種の存在もあり増加の一因とされる。

②生態

古くから稲専門に加害してきたイネクロカメムシやイネカメムシと違い、斑点米の被害を発生させるカメムシ類は稲以外にもいろいろな雑草を食草としている。水田周辺の雑草地で越冬、繁殖したカメムシは、稲の出穂期から乳熟期に水田に侵入する。通常は稲の上で産卵、増殖することは少なく、山間地や多様な作物が混在している地域で発生が多い。稲の品種では早生種に多く発生し、出穂の遅い品種では被害が軽減されることが多い。

出穂後が高温で、カメムシ類の加害行動が活発な時は、稲が倒伏した場合に被害が高い。またカメムシ類の1日の行動は、日中、株の下根に近い茎と茎の間に潜り込んでおり、日没頃から現われ、夜間に活動するのが特徴である（表Ⅱ

－31）。

③対策

圃場または地域で発生しているカメムシの種類を写真や防除所などで確認し、歩行型か飛翔型かを確認し、以下のような対策をとることが必要である。

i. 雑草の除去

歩行型のカメムシ類が発生する地域では、出穂15日前ごろに水田周辺の雑草を刈り取るか、多発地帯ではバーナーで焼く。

刈り取った雑草はその場に置かず、集めて処分する。飛翔型は、主に牧草地または休耕田から飛来するので、出穂前に周辺の雑草を刈取ることです予防効果は高くなる。アカヒゲホソミドリカスミカメは夏季の高温を嫌い、北海道で発生するが、水田と牧草地及び小麦と混在する地域は特に注意が必要である。

ii. 2回の草刈

滋賀県では、稲の出穂2～3週間前と出穂期の2回、畦畔雑草を草刈りすることにより斑点米カメムシの発生と斑点米発生率を低く抑える技術を開発した（図Ⅱ－43、図Ⅱ－44）。2回の草刈によって斑点米カメムシ類の水田への中継点除去効果を4～6週間に長期化でき、1回目と2回目の草刈の間隔を2～3週間以上にすると斑点米の軽減効果は低くなる。

従来、出穂期に畦畔の草刈を行うとカメムシを水田に追い込むため不可とされてきたが、出穂2

表Ⅱ－31 飛翔型と歩行型のカメムシの発生しやすい条件(江村一雄 2004から作表)

種別	飛 翔 型	歩 行 型
特性	・水田に隣接した雑草地及び牧草地より飛来する。 ・アカヒゲホソミドリカスミカメなどのカスミカメの仲間はイタリアンライグラスなどの草地で多く増殖する。 ・クモヘリカメムシはスギ、マツの林で、ホソハリカメムシは枯れ草などの中で越冬し、4月頃にイネ科雑草地や牧草地で増殖する。	・水田周辺の雑草地から歩行して侵入する。この種は適度な湿りを好み水田と畦の際に生息し、草種に対して高い選好性がある。 ・トゲシラホシカメムシは、オオバコ、シロクローバー、アカクローバーに多い。
カメムシの種類	・アカヒゲホソミドリカスミカメ ・ホソヘリカメムシ ・クモヘリカメムシ	・ミナミアオカメムシ ・コバネヒョウタンナガカメムシ ・シラホシカメムシ ・トゲシラホシカメムシ ・オオトゲシラホシカメムシ



(アカスジカスミカメ)



(クモヘリカメムシ)



(ホソハリカメムシ)



(トゲシラホシカメムシ)

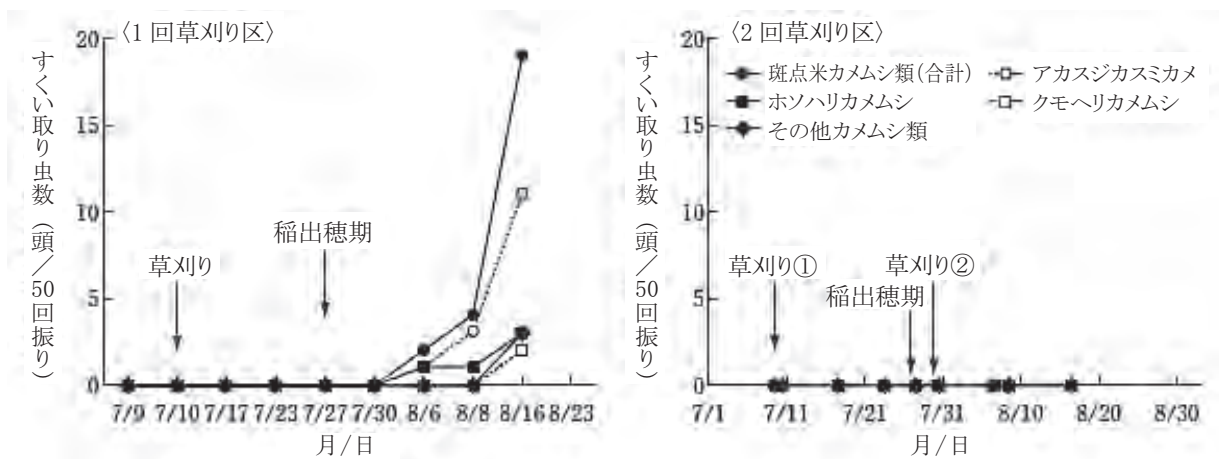


(シラホシカメムシ)

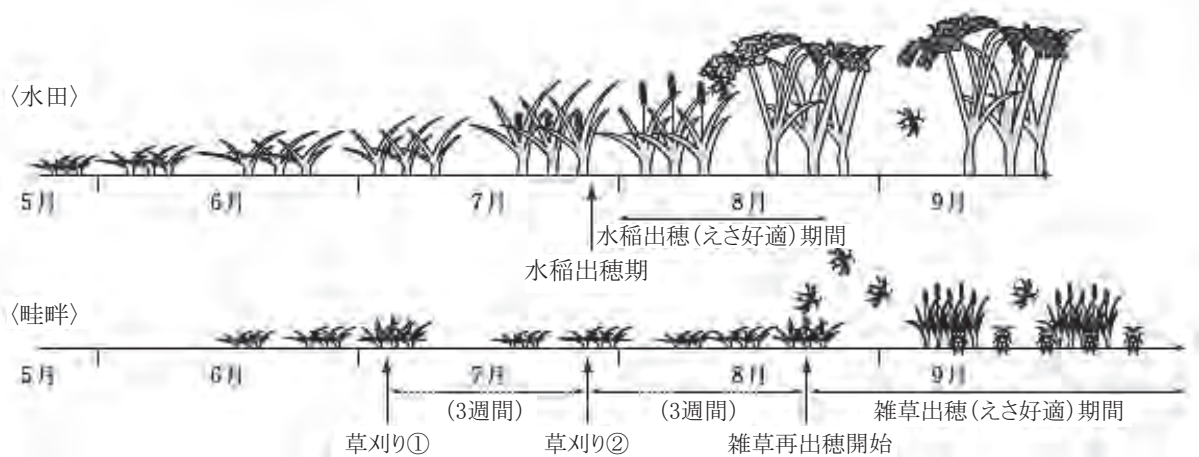


(アカヒゲホソミドリカスミカメ)

写真Ⅱ-34 主要なカメムシ類の種類 (提供:埼玉の農産物病害虫写真集HP)



図Ⅱ-43 水田畦畔の草刈回数と水田内の斑点米カメムシ類発生頭数 (寺本 2010)



図Ⅱ-44 畦畔2回草刈(7月上旬、7月下旬)とカメムシの発生 (寺本 2010)

表Ⅱ－32 畦畔被覆植物の違いによる斑点米カメムシの被害粒数
(島根県中山間地域研究センター 2008)

畦畔被覆植物	鑑定皿中の斑点米被害粒数(粒)
イネ科植物	37.4
ヒメイワダレソウ	8.9
ペパーミント&ペニーロイヤルミント	3.8

～3週間前に予め草刈を行っておけば出穂期の草刈でもよく、むしろ2回目の草刈を行わないと斑点米発生が多発する事例もある。

iii. 畦畔管理・近隣の休耕田管理

カメムシ類は、植物の種子が形成される時に発生する匂いに誘引されるとされていることから、このような生態を利用して、畦畔にミント類などのハーブで植えて防除する方法がある。斑点米を引き起すアカヒゲホソミドリカスミカメの仲間（斑点米カメムシという）は、イネ科植物を好み、ミントにはあまりカメムシを観察できず、それらの被害抑制効果の

可能性がある（表Ⅱ－32、写真Ⅱ－35）。畦畔に大豆とミントを交互に植えて防ぐ方法もある。また、ミント以外でもカモミールやアジュガ等を畦畔に植え軽減している報告もあり、畦畔にグランドカバープランツを利用して、害虫の住みにくい環境を作ることが対策として有効となる。畦畔以外に、隣接する休耕田がイネ科の雑草で覆われないよう、レンゲやヘアリーベッチ、アルファルファ等で管理し、カメムシの住みにくい環境を整え生息地を近くに作らないことも有効である。

【参考：ハーブ畦畔作りの実際 北海道など寒地での場合】

- 品種は導入初期は安定度の高いアップルミント、スペアミントを主体とする。
- 栽植密度は1畦畔1列、株間1mを基本とし、畦畔が普通より広い粘土質土壌の場合などは列数を増やしたり、株間70cm程に狭めると、早く効果が現われる。
- 苗の必要数は水田の大きさや畦畔の形状によって異なるが、30aで260本くらい。
- 3～5年で自然繁殖し畦畔のイネ科雑草を駆逐する。
- 育苗は7.5cmポットを使用する。紙筒ポット苗やプラグ苗でも良いが生育スピードはやや劣る。
- 定植時期は4月下旬から5月上旬。4月下旬頃だと定植後の生育がより早まる。晩秋も可能。植え穴はスコップなどで30cmほど掘り起こすと、その後の生育が良くなり、雑草対策にもなる。
- 畦畔の肩に定植する場合、どちらか一方に植えることで被覆するまでの期間の雑草管理で自走式草刈機を使うことが出来る。
- 定植1年目の管理では、はじめの2ヵ月間程が重要である。ミントの草丈がまだ小さいので予め手鎌で周囲を刈っておき、雑草の草刈で誤って刈り取ることのないように注意する。
- 2年目以降の管理は通常の草刈と同様全面刈取りでよく、しばらくすると一斉にミントの芽が伸びてくる。花を咲かせると寿命が短くなるため、お盆後に刈り取り、花を咲かせないか、咲き終わると直ちに刈り取る。



写真Ⅱ－35 ミントが育つ水田畦畔
(提供：畑 憲一氏)

iv. ケイ酸吸収の促進

水田土壌中の可給態ケイ酸含量は斑点米の発生に関係している。土壌中の可給態ケイ酸含量が低い水田では籾殻中のケイ酸含量も低くなり、割れ籾が多発生して、斑点米被害が増加する。籾殻焼却灰をケイ酸質資材として施用することにより、割れ籾率が低下し、結果として斑点米率を低下させることが出来る。

v. 肥培管理

カメムシは多肥栽培で葉色が濃すぎたり、根腐れを起しているなど、稲の生育の悪い水田に好んで飛来する。そのため、高栄養や生育不良にならないように肥培管理に注意する。

vi. 収穫方法

歩行型のカメムシ類が優占種となる場合は、収穫時に水田の周縁部の稲を刈り分け処理することで斑点米の混入が軽減できる。

(3) トビイロウンカ

①被害の状況

出穂期から登熟期にかけて水田内に数十から数百株がまとまって倒伏する坪枯れが、明らかな被害の特徴である。多発生の場合は田面全体の株が倒伏し、波打ったように見える。倒伏した稲の茎は灰白色になり、かさかさに乾き、地面に近い部分はすすが発生し真っ黒になる。出穂後1カ月以内に枯れた場合は、収穫は見込めず、1カ月半くらい後では60～70%の減収、収穫期の枯れ込みでも20～30%の減収となり品質も低下する。海外から飛来する長翅型成虫が増殖源であるが、飛来・定着地帯はほぼ決まっている。例年の発生時期が近づいてきたら、株を分けて下方部を注意して探して発生を予察する。外観は全体が脂ぎった褐色で、前翅の合わせ目の中央に黒褐色の小斑紋がある。体長は4～5mm程度である。

②生態

水田内でみられるウンカの中では一番大きく、幼虫や成虫の密度も一番高くなる。日本では稲のみを食害する。発生しやすい地域、場所は決まっており、「つぼ」と呼ばれる。これは最初の飛

来が起きやすく、飛来後の増殖条件が揃っているためである。早生種より晩生種、ウルチよりモチ、痩せ地より肥沃地、乾田より湿田の方が、飛来虫の定着や増殖に好都合で発生しやすく、被害も大きくなりやすい。発生の推移は、苗代末期から本田初期に現われる長翅型が始まりで、密度は数株から数百株に1頭程度と低い。この時の長翅型は梅雨前線上を北東進する低気圧に向かって吹き込む温湿な南西風により海外から運ばれてきたものであり、これが増殖源となり次々と増えていく。

飛来は普通6月末から7月初めが多いが、7月中下旬の梅雨末期にみられることもある。九州南部では5月から飛来する年もある。飛来から約1カ月後の7月末から8月上旬にかけて次世代が出現する。この時は雌のほとんどが短翅型ばかりで、ある程度集中しておりその場所が後に坪枯れとなる。9月中下旬から幼虫が増え、稲を吸汁加害しつつ生育が進むにつれ被害が出始める。普通9月下旬から10月にかけて坪枯れする。

③対策

- いわゆる「ウンカ年」には西日本全体にわたって大発生するため、例年飛来数の多い九州地方の動向に注意し、多発生年には予察灯やネットによるすくい取り調査を行い、発生予察情報を得る。
- 晩生種でなく早生種とすることで被害を抑えられやすい。
- 窒素過多でウンカの飛来が多くなるので多肥を避け、低投入に努める。特に、畑地からの転換田は窒素が発現しやすいため、施肥に注意し窒素過多にしない。
- 密植は避け、過繁茂とせず、風通しを良好にする。
- 湿田では排水対策を行い、稲の健全な生育に努める。
- 間断灌漑をすると、かけ流しよりも増殖率が低くなる傾向にある。
- 紙マルチなどの田面被覆資材は海外飛来性ウンカ類の初期定着数を減少できる。
- 有機JASで許容される農薬としては、除虫菊乳

【ウンカが発生しない有機稲作田の事例】

岡山市内で20年間農薬を一切使用しないのに、ウンカ類の被害を受けたことがない有機稲作田がある。水稻の品種は「アケボノ」で、1994年から3年間調査したところ、有機水田ではトビイロウンカの発生は3カ年とも慣行田のおよそ1/100であった。慣行田で化学肥料から鶏糞に変えた処理区は毎年ウンカの密度が高く、有機肥料に代えただけでは有機栽培が成立しなかった。慣行田で殺虫剤を撒かないと全面坪枯れとなり著しい減収となった。有機栽培区では移植間隔を広くしたこと、初期の分けつが抑えられることが要因と考えられた。稲のアミノ酸総量は化学肥料区に比べ15～30%低く、ウンカ類の摂食刺激効果をもつアスパラギン濃度が1/4～1/5と低かった。そこで、生育初期に窒素の効果を控え目にしてゆっくり肥効を発現させ、風通しの良い環境を整えることで被害の抑制が可能であると考えられた（桐谷圭治2007から要約）。

剤がある。本剤は速効性があるが残効性は少ない。

- クモなどの天敵が生息しやすい、あるいは多様な生物が生息しやすい環境づくりを行う。ウンカ類の移住天敵として、捕食者ではカタグロミトリカスミガメ、寄生者としてトビロカマバチ、キアシカマバチ、エダヒゲネジレバネなどがある。土着天敵には、捕食者としてキクズキコモリグモ、キバラコモリグモ、ドヨウオニグモ、セスジアカムネグモ、ニセアカムネグモ、ヤサガタアシナガグモ、ヒメアメンボ、ケシカタビロアメンボ、アジアイトトンボ、アマガエル、寄生者としてウンカシベンチュウ、ホソバネヤドリコバチなどがある。
- アイガモ除草を行うと水田雑草以外に虫を盛んに食べ、海外飛来性ウンカ類では次世代以降の増殖率を低下させ、被害をもたらす発生密度以下に抑制できる。しかし、成虫にはあまり効果がないため葉色が濃く経過した稲ではアイガモを引き上げる出穂期以降にトビイロウンカが多発することもあるので注意する。

(4) コブノメイガ（別名：ハマキムシ）

①被害の状況

止葉もしくはその下の葉身の先半分くらいが真っ白になって表皮だけのように見える。葉を1枚ずつ縦にたたんで筒状にするか、まれに2～3枚を合わせて“ツト”のようにする。幼虫はその中に入っている。幼虫が小さいうちは葉の一部だけを

巻く。穂ばらみ期から出穂期に多発すると遠方からでも田面全体が白く見え、白葉枯病と混同されることがある。幼虫は赤みがかった黄色で、胸部の背中側に6個の黒点があり、タテハマキと区別される。成虫は体長9mm、翅を開いた長さは17～18mm。発生量は年によってバラツキがあり、数年間隔で発生する傾向がある。発生年には7月末から8月初めにかけ短期間で急に被害が現われる。コブノメイガの食害は見た目ほど収量に影響せず、出穂期の被害率が20%の時に約5%の収量減となる。

②生態

九州から北海道まで広範囲にわたって発生しているが、多発生例は西南暖地に多く、年間の発生回数も南方諸地域に多いなどから、もともと東南アジアから華南の暖地性害虫とみられる。ウンカと同じように海をわたって移動してくると考えられる。成虫は日中は葉裏にいて産卵し、夜間は灯火によく飛来する。成虫の寿命は1週間程度である。幼虫期間は20日程で17～18mmの大きさになり、稲の下方の葉鞘内に入ってうすいマユをつくり、蛹になる。多雨で軟弱になった田や肥料が遅くまで効いた田に発生し、被害が大きい。稲のほかヒエ、トウモロコシ、チガヤ、エノコログサなどイネ科植物にも寄生する。九州で年4回、北陸では年3回、北海道では年2回発生する。

③対策

- 晩植えの稲に加害が集中する傾向があるため、



(コブノメイガ幼虫により縦に縦につづり合わされた稲葉)



(コブノメイガ老齢幼虫(体長14mm))



(コブノメイガ蛹(体長9mm))



(コブノメイガ成虫(体長9mm))



(コブノメイガ幼虫によるつづり葉)



(コブノメイガ幼虫被害多発生稲)

写真Ⅱ-36 コブノメイガと被害の状況 (提供:埼玉の農産物病虫害写真集HP)

早生の方がよい。

- 窒素過多や遅効きで飛来が多くなるので、多肥を避け、低投入に努める。
- 水が抜けにくくガスがよく発生するところで多発するとされるので、秋から春にかけ稲わらをよく分解させておく。
- 風通しの良くない所で発生しやすいので、栽植密度を上げず、生育初期の過繁茂に注意する。
- クモなどの天敵が生息しやすい、あるいは多様な生物が生息しやすい環境づくりを行う。コブノメイガの土着天敵には、捕食者としてノシメトンボ、アオメムシヒキ、セスジアカムネグモ、ニセアカムネグモ、寄生者としてアオムシヒラタヒメバチ、ズイムシアカタマゴバチ、コブノメイガ顆粒病ウイルスなどがある。

(5) フタオビコヤガ

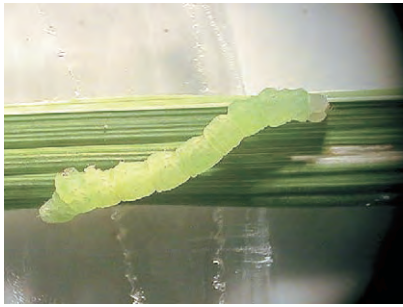
①被害の状況

加害は幼虫のみである。1～2齢ごろの若い幼虫は稲の葉の表面を片側からかじる。幼虫が3齢以上になると、葉の縁から蚕のように食害する。加害初期の被害は葉身に白いカスリ模様の食痕

ができ、中期以降の被害は階段状の食痕になる。多発生した水田では葉身が食い尽くされるほどの被害を呈することがある。北陸地方では1年で最も多発生する時期が出穂前後にあたるが多く、葉の中肋と若い穂だけが直立している状態になることがある。被害は幼虫の発育が早いので急速に進展する。多発しやすいのは山間・山沿い地域、集落周辺、堤防沿いなど風通しの悪い水田である。草型の大きい品種の水田で発生しやすい。孵化から幼虫発生初期に曇天や雨の日が多い年に発生しやすい。収量への影響は、出穂前後に加害された場合に最も大きくなりやすい。幼虫は淡緑色でシャクトリ状に歩行し、成熟した幼虫の体長は20～22mm。老熟した幼虫は稲の葉でちまき状のツト(蛹室)を作りその中で蛹になる。近年の発生は少ないが、局地的には小面積で多発生状態がみられる。

②生態

越冬は蛹で、北陸から関東では4月下旬から5月上旬にかけて越冬世代成虫が羽化する。多化性の害虫で1年間の発生回数は地域変動が大きく、2～6回までの変化がある。北陸では3～4回、



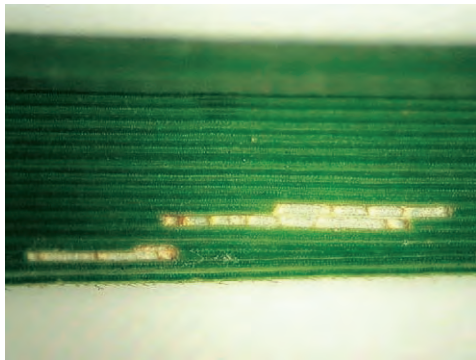
(中齢幼虫(体長15mm))



(老齢幼虫(体長20mm))



(雄成虫(体長8mm))



(コブノメイガ成虫(体長9mm))



(コブノメイガ幼虫によるつづり葉)

写真Ⅱ-37 フタオビコヤガと被害の状況 (提供:埼玉の農産物病害虫写真集HP)

西日本では5～6回発生する。幼虫は高温を好むが乾燥には弱い。特に若齢幼虫の発生期に乾燥した晴天が続くと幼虫の発育が極度に阻害され、発生量は減少する。

③対策

- ・繁茂度が高く、遅くまで葉色が濃く、株間の湿度が高い稲で多発しやすいため、過繁茂を避け、窒素過多とせず、疎植とするなど風通しの良い栽培に努める。
- ・遅植えて生育が遅れた稲で発生しやすく、適期植えて稲の肥培管理に注意して健全に生育させる。

2) 主な病害の発生生態と対策

(1) いもち病

①病徴

若い葉が感染した場合、円形または楕円形で中央が灰白色、周縁が紫黒色の伸展型病斑を生じる(写真Ⅱ-38)。病斑部には洋ナシ型の分生子が形成されるが、紫黒色部が褐色に変わる時期の中型病斑で1病斑当たり孢子形成量が最も多くなる。やがて病斑は紡錘形となり、中央は灰白

色に崩壊した組織で周縁が褐色、その外側が黄色の停滞型病斑となる。施用窒素量が多い場合、白斑型の病斑ができる場合がある。老葉では褐色の褐点型病斑ができる。分けつ期に多発すると、株全体の生育が抑制されたずりこみ症状となる(写真Ⅱ-39左図)。出穂直後に穂首節に感染した場合、穂全体が枯死して白穂になり、籾に感染すると内外穎の先端や側面から白化する(写真Ⅱ-39右図)。

②病原菌

本病の病原菌は不完全菌類に属する *Pyricularia oryzae* (完全世代: *Magnaporthe oryzae*) である。本菌は菌糸や分生子の状態で稲ワラや籾の罹病組織で越冬する。越冬中の生存は水分状態の影響を受け、風雨にさらされた状態では死滅するが、乾燥状態にあると翌春まで生き延びてこれが第一次伝染源となる。春に水分を得ると、罹病組織上に分生子を形成してこれが空気伝染する。育苗箱中では、罹病籾の表面に分生子が形成され、空気伝染や接触伝染により周囲に拡がる。病原菌は稲苗に感染するが、すぐには病徴が現れずに潜伏し、本田で発病して伝染源になる場合がある。



写真Ⅱ-38 置き苗に発生したいもち病と葉いもち（進展型病斑）

（提供：河原崎秀志氏及びHP埼玉の農産物病害虫写真集）



写真Ⅱ-39 ずりこみ症状と穂いもち

（提供：河原崎秀志氏及び埼玉の農産物病害虫写真集HP）

補植用の苗を本田内に放置しておく、密植状態のため病原菌の増殖に好適な環境を与え、本病が激しく発生してこれが第二次伝染源になる（写真Ⅱ-38）。この時の伝染源は種子に由来する場合と外部から飛散してきた分生子に由来する場合がある。稲体上に水滴があると分生子は発芽して発芽管を伸ばし、先端部に付着器を形成して表皮に密着する。そこから侵入糸を陥入させて稲の組織内に侵入し、栄養菌糸が生長する。感染適温は24℃で、稲体が濡れている時間が長い程感染する率が高くなる。連続的な降雨や霧、曇りや日陰などの条件によって濡れ時間が長くなると発病が多くなる。病原菌の分生子は夜間に多く飛散するが、降雨があると昼間でも飛散する。

③対策

罹病籾からの種子伝染は育苗時の苗いもち、その後の本田における葉いもちや穂いもちの発生につながるため、できるだけ優良な種子を用い、塩水選と温湯種子消毒を行う。また、周囲からの

空気伝染を防ぐため、育苗施設や本田周辺には罹病した稲ワラや籾ガラを放置しないようにする。土壤中に窒素が過剰に存在すると本病に罹りやすくなるため、窒素成分の多い有機質資材を用いる場合は、地力を考慮して施用量を加減する。土壌や灌漑水中にケイ酸分が少ない地域では、ケイ酸カルシウム（有機JAS許容資材）を元肥として施用すると稲のケイ質化が促進されて病原菌の侵入を抑制できる。田植え後に補植用の苗をそのまま放置しておくといもち病菌が繁殖し、そこから周囲に拡がるが多いため、できるだけ早期に撤去する。灌漑水の水温が低いと本病に罹りやすくなるため、流入する水温を上昇させる迂回水路の設置や夜間に灌漑を行う。有機JAS許容農薬として銅粉剤の一部やタラロマイセス・フラバス水和剤、トリコデルマ・アトロビリデ水和剤があり、生物農薬の後者2つは催芽時の種子浸漬や湿粉衣処理が可能である。

本菌には稲の品種に対する病原性が分化した

レースが存在し、地域によって分布するレースが異なる。品種は当該地域の病原菌レースを考慮した真性抵抗性品種を用いるか、レースが変化しても安定している圃場抵抗性品種を導入する。また、いもち病に対する抵抗性が異なる同質遺伝子系統の複数混合栽培（マルチライン）の利用がある。

（2）苗立枯病

①病原菌と病徴

本病を引き起こす病原菌は複数種があり、不完全菌類に属するフザリウム属菌、トリコデルマ属菌、リゾクトニア属菌、コルテシウム属菌、ホーマ属菌、卵菌類に属するピシウム属菌、接合菌類に属するリゾプス属菌、ムコール属菌等の糸状菌が知られている。フザリウム属菌では育苗中の苗の地際部や根が褐変し、葉は黄化しやがて枯死する。病斑部には白色または淡紅色の菌叢がみられる。本菌は分生子の他に硬膜胞子を形成してこれが土壌中で長期間生存する。植物残渣中に腐生的に生存する。トリコデルマ属菌の場合はフザリウム属菌と同様の症状を示すが、出芽前立枯れや出芽中の枯死を引き起こす。本属菌は床土表面やもみ上の白色の菌叢上に緑色の孢子塊を形成する。リゾクトニア属菌の場合は葉身や葉鞘の病斑部が灰緑色水浸状を呈する。本菌は菌核を形成して土壌伝染する（写真Ⅱ－40）。コルテシウム属菌の場合は地際に絹糸状の白色菌叢が現れ、やがて淡褐色粟粒状の菌核が形成され



写真Ⅱ－40 稲苗立枯病（リゾクトニア属菌による）
（提供：埼玉の農産物病害虫写真集HP）

る。葉は黄化し萎凋する。本菌は各種作物に寄生して白絹病を引き起こす多犯性の病原菌であり、菌核が土壌中に残存して伝染源となる。ホーマ属菌の場合は第一葉の葉先が暗褐色に枯れる。ピシウム属菌では水浸状の病斑が現れ、急激に萎凋枯死する。本菌は遊走子を形成して水媒伝染し、耐久性のある卵胞子を形成して土壌伝染する。リゾプス属菌では白色の菌糸が床土表面を覆い、葉は黄化し、根は先端部が肥大して褐変、腐敗する。苗の生育は衰えてばらつき枯死する場合もある。本菌は菌糸の生長がきわめて早く、ほふく枝で広がるが、孢子のう柄を伸ばして先端部に孢子のうを形成し、この中の分生子が空気伝染する。また、気中菌糸が接合して接合胞子を形成する。稲の組織内には侵入しないが、毒素を産生することにより稲苗の生育を阻害する。ムコール属菌ではリゾプス属菌と同様に白色の菌糸によって床土表面が覆われ、苗は淡褐色で生育不良となり、根は褐変して短くなり根数は少なくなる。本菌は分生子を形成してこれが空気伝染する。稲に寄生しないが、育苗箱内で腐生的に増殖して稲苗の生育を阻害する。

②対策

これらの菌類は土壌中の植物残渣で腐生的に生存できるものが多く、また、稲だけでなく、各種の野菜類にも寄生する多犯性の病原菌もある。汚染された土壌や器具類が伝染源になるため、本病の発生した土や、病原菌の残存が危惧される野菜畑土壌を床土に用いることを避け、育苗箱等の器具類の洗浄は十分に行う。米ヌカ等の生の有機物は病原菌密度を著しく高めて本病多発の原因となる場合があるため、発酵を十分に行った有機質資材を養分供給に用いる。汚染種子からの伝染を防ぐため、温湯種子消毒を励行する。播種密度が高いと発病が助長されるため、厚播きを避ける。池の水や河川水中にはピシウム属菌などの病原菌が生残する場合があるため、これらの水を灌水に用いない。床土のpHが高いと発病が助長されるため、pHは5.0程度に調整する。稲の生育に不適当な極端な高温や低温あるいは乾燥や

加湿は、病原菌に対する抵抗性を弱めると同時に病原菌の活動しやすい環境条件を与えるため、温度管理及び水管理は適正に行う。有機JAS許容農薬としてタラロマイセス・フラバス水和剤があり、フザリウム属菌、リゾプス属菌、トリコデルマ属菌に対しては催芽時の種子浸漬、湿粉衣処理、リゾプス属菌に対しては土壌灌注処理がある。

なお、もみ枯細菌病菌 (*Burkholderia glumae*)、苗立枯細菌病菌 (*Burkholderia plantarii*) や褐条病菌 (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*) などの病原細菌も稲に苗立枯れを引き起こすが、これらの病害は種子伝染性であり、防除方法として種籾の温湯処理 (60℃、10分または58℃ 15分) があるが、褐条病に対しては効果が不安定なため、催芽時の食酢 (酸度4.2%) 50倍希釈液浸漬による消毒を組み合わせで行う。有機JAS許容農薬として微生物農薬タフブロック (タラロマイセス・フラバス水和剤)、エコホープ (トリコデルマ・アトロビリデ水和剤)、モミゲンキ水和剤 (シュードモナス CAB-02 菌)、バチルス・シンプレクス水和剤があり、種子浸漬、粉衣処理や覆土混和を行う。

(3) 紋枯病

①病原菌と病徴

初め水際に近い葉鞘に橙色不鮮明な病斑が現れ、病勢が進むと楕円形で中央が灰白色、周縁が褐色の大型病斑が形成される (写真Ⅱ-41)。



写真Ⅱ-41 稲紋枯病 (楕円形病斑)
(提供:三宅恭弘氏)

やがて上部の葉鞘に進展していき、激しい場合は止葉にまで達し、病斑は融合して枯れ上がり、打ちワラ状になって倒伏しやすくなる (写真Ⅱ-42)。穂軸にも病斑が形成され穂が枯死する。本病を引き起こす病原菌は糸状菌の担子菌類に属する *Thanatephorus cucumeris* (不完全世代: *Rhizoctonia solani*) である。本菌は宿主範囲が広い多犯性の病原菌であり、コムギ、オオムギ、エンバク、アワ、トウモロコシ、キビ、ヒエ、サトウキビなどのイネ科作物の他に、ダイズやエノコログサ、ノビエ、キョウギシバ、ヨシ、メヒシバ、コブナグサ、スズメノヒエ、カヤツリグサなどの雑草にも寄生することが知られている。白色の菌糸体が罹病茎から隣接する株へと伸び、クモの巣状に認められる。古い病斑上では白色の菌糸が塊を作り、やがて淡褐色から褐色、半球形または類球形で大きさが1~3mmの菌核が形成される。また、葉鞘上には白色粉状の子実層が形成される。稲や畦畔雑草などの罹病植物体上に形成された菌核は土壌中で越冬し、翌年の第一次伝染源となる。菌核は代かき時に水面に浮上し、灌漑水の流れや風によって運ばれて稲株の水際に漂着するが、菌核が稲株に安定して付着するのは株当たりの茎数が10本以上になった時期である。菌核の発芽は16~38℃ (適温28~32℃)、湿度96%以上で起こるが、宿主への侵入温度は22~35℃ (適温28~32℃) である。菌核から伸長した菌糸は葉鞘の合わせ目



写真Ⅱ-42 止め葉まで進展した稲紋枯病
(提供:三宅恭弘氏)

から裏側へ侵入し、侵入菌糸塊を形成する。そこから多数の侵入糸を出し、気孔や角皮から侵入して感染し病斑を形成する。葉身では気孔侵入や機動細胞からの角皮侵入により感染する。湿度が高いと病斑から伸長した気中菌糸が隣接する茎や株に達して第二次伝染する。また、病斑が隣接の茎や株に接触しても伝染が起こる。下位葉鞘上の病斑から伸長した菌糸は葉鞘を伝わり上方に伸び、上位葉鞘へと進展する。出穂期から登熟期にかけて気温が高い場合は上位への進展で罹病し被害が発生しやすい。

②対策

密植や分けつが多いと多発しやすい。暖地の早期、早植栽培は発病時期が早まり、また、出穂から登熟期が夏の高温期にあたるため上位進展が激しく被害を受けやすくなる。病斑が下位葉鞘に止まり、横への進展のみでは被害は問題とならないが、上位進展して止葉の葉鞘や穂にまで達した場合は収量、品質の低下をもたらす。高温、多湿、窒素過多は本病を助長する。本病防除にあたっては、冬期に畦畔雑草を焼却し、代かき時に菌核が水面上に浮き上がるので浮遊物とともにこれを除去して第一次伝染源を減らす。密植を避け、地力を考慮して施肥量を加減し、無効分けつを少なくする。早期、早植栽培や早生、短桿、分けつの多い品種を避ける。紙マルチ栽培では、菌核が紙マルチに吸着されるため、水稻への侵入が抑制されるため被害が低減する。

引用文献

- Asagi, N. and Ueno, H. (2009) : Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various ¹⁵N-labelled green manures. *Plant and Soil*. 322: 251-262
- 阿部大介ら「簡易育苗法によるばか苗病の発生要因の探索」『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、2009年、43-45
- 阿部大介ら「移植時期によって除草機 (ISEKI - HSJ6) の除草回数を低減できる」『有機農業学会 11 回大会資料』日本有機農業学会、2010年、62-64
- 荒井治喜「ケイ酸資材の育苗箱施用」『IPM マニュアル、総合農業研究叢書 55』中央農業総合研究センター、2005年、232-233
- 安西ら土壌肥料学会発表資料 1983
- 安藤杉尋・高橋英樹「有機栽培イネ細胞間隙に由来する微生物の解析と病害虫防除」『土と微生物 65 (2)』2011年、100-103
- 井上博喜「稲の種子消毒」『IPM マニュアル、総合農業研究叢書 55』中央農業総合研究センター、2005年、230-231
- 茨城県農業研究センター 2008
- 岩石真嗣「健康な稲づくりー秋から始めるかんたん育苗ー」『自然農法 47』(財)自然農法国際研究開発センター、2003年、24-29
- 岩石真嗣「水稻育苗用土試験～自然農法水稻育苗用土の実際～」『EM 活用技術事例集 2003』EM 研究所、2003年、56-67
- 岩石真嗣「自然農法移行水田の現状と課題」『2010 年度試験成績書』(財)自然農法国際研究開発センター、2010年、31-35
- 岩石真嗣・三木孝昭・阿部大介「有機施肥による機械除草の課題と安定した陽動式攪拌除草機の紹介」『水稻の有機栽培における機械除草研究会資料』、(独)中央農業総合研センター、2011年、22-25
- 岩手県農業研究センター http://www.pref.iwate.jp/~hp2088/toraiaang/0603/topic_5.html
- MOA 自然農法文化事業団「自然を規範に 圃場観察 土と風土に根ざす栽培技術 埼玉県上里町 MOA 自然農法上里普及会 須賀一男・利治」、MOA 自然農法栽培事例集 2005、18-32
- 江村一雄「カメムシ類 (斑点米)」『農業総覧 病害虫・資材防除編』2004. 農文協
- 奥村健治「レンゲ (基礎編ー飼料作物の栽培利用便覧ー寒地型マメ科牧草)」(2005a) 農業技術体系 畜産編 第7巻 飼料作物 基 649

- 17) 奥村健治「シロクロバ（基礎編－飼料作物の栽培利用便覧－寒地型マメ科牧草）」（2005b）農業技術体系 畜産編 第7巻 飼料作物 基642～643
- 18) 加藤茂「EMボカシがもつ養分的特徴」『EM活用技術事例集2003』EM研究所、2003年、28-33
- 19) 加藤茂・犬伏和之「光合成細菌を使った湛水土壤からのメタン生成抑制効果」『自然農法技術の研究と開発に向けた取り組み』（財）自然農法国際研究開発センター農業試験場、2011年、108-114
- 20) 金田：原本特定中
- 21) 川瀬昭「レンゲ跡イネの施肥 作物別施肥技術（イネの施肥技術－肥効を左右する諸要因）」（1994）農業技術体系 土壌施肥編 第6-1巻 技術 20-2～5
- 22) 菊池永祐・古坂澄石・栗原康「湛水土壌系におけるイトミミズ類（BRANCHIURA SOWERBYI および LIMNODRILUS SOCIALIS）の作用」『日本生態学会誌 27（3）』、日本生態学会、1977年、163-170
- 23) 京都試験農場「代かき方法の違いによる雑草発生状況比較（ポット試験）」、『自然農法センター平成16年度試験成績書』、2004年、206-207
- 24) クミアイ化学工業株式会社「エコホープ剤はなぜイネばか苗病に効くのか」http://www.eco-series.com/eco_know05.html
- 25) （財）畜産環境整備機構「堆肥の品質実態調査報告書」2005
- 26) （財）日本農業研究所・（財）日本土壌協会「有機農業技術の現状と適用条件に関する調査結果」2009
- 27) （財）日本土壌協会「有機農業技術の現状と適用条件に関する調査結果」2008a
- 28) （財）日本土壌協会「堆肥連用による土壌環境の変化と作物生育」2008b
- 29) （財）日本土壌協会「有機農業技術の現状と適用条件に関する調査結果」2009
- 30) （財）日本土壌協会「有機農業標準栽培技術指導書作成事業圃場実証調査」2011
- 31) 三枝正彦・花木真由美・伊藤豊彰「各種水稻苗における籾由来窒素の利用」『日本作物学会紀事68(1)』日本作物学会、1999年、95-98
- 32) 佐藤 孝「優良ヘアリーベッチ根粒菌の分離と接種効果」（2008）農業技術体系 土壌施肥編 第1巻 土壌の働きと根圏環境（IV 根と根圏微生物－有用微生物の有効利用技術－2.養分吸収向上等の利用）土壌と根圏IV 166-2～7
- 33) 佐藤 徹・南雲芳文・市川岳史・東聡志「新潟県における緑肥作物「ヘアリーベッチ」鋤込みが水稻の生育と収量に及ぼす影響」（2010）北陸作物学会報45:46-49
- 34) 滋賀県「農業濁水防止のための時期別管理作業法の改善」『農業排水対策営農技術集』2004
- 35) （社）中央畜産会「新・畜産環境保全指導マニュアル」（H23年）2011
- 36) 鈴木芳人「水田における個体群動態」『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、18-25
- 37) 関原（梅沢）順子、向島博行「水稻育苗期の細菌性病害の発生生態と防除法」2005年
- 38) 大日精化工業（株）「http://www.greenjapan.co.jp/sizai_mulch_ekitai.htm」
- 39) 千葉県農業試験場HP
- 40) 辻 剛宏「水田裏作に適する秋播き緑肥・景観作物と栽培上の注意点」『牧草と園芸』（2002）第50巻 第9号 5-8
- 41) 津野幸人「布マルチ水稻直播栽培」『農業技術大系作物編追録第26号』2004 農文協
- 42) 中井 譲、鳥塚 智「米糠土壌表面処理による水田雑草の抑草効果」『雑草研究54（4）』2009 233-238
- 43) 長野県「Ⅱ水田編、水稻」『土づくりガイドブック』1983、55

- 44) 中山幸則「米糠の水田雑草防除への利用について」農業および園芸 (2010) 85(2) 252-257
- 45) 農業環境ネットワーク協議会「作物別養分特性と施肥管理 (指導者研修会テキスト)」2011
- 46) 堆肥の品質と効果的施用 (指導者研修会テキスト) (農業環境ネットワーク協議会) (H23年) 2011
- 47) 農林水産省生産局「平成15年 奨励品種決定特性表」『水陸稲・麦類・大豆奨励品種特性表』2003年 319
- 48) Nozoe T., M. Tachibana, A. Uchino and N. Yokogami「Effects of ferrous iron (Fe) on the germination and root elongation of paddy rice and weeds.」2009. Weed Biol. Manage. 9, 20-26
- 49) 原田和生・平田収正「微生物共生系を利用した廃バイオマスの再資源化」生物工学 第89巻、2011年、124-127
- 50) 原田健一・岩石真嗣「耕種的雑草抑止水田の特性とその応用(4): エラミズ放飼数が雑草発生に及ぼす影響」『雑草研究, 講演会講演要旨 (39)』、2000年日本雑草学会、218-219
- 51) 原田健一ら「耕種的雑草抑止水田の特性とその応用(6) —エラミズの雑草抑制効果と有機物・微生物資材の影響—」雑草研究 (別) 講演会講演要旨 (40) 日本雑草学会 2001年、90-91
- 52) 平野清・杉山智子・小杉明子・仁王以智夫・浅井辰夫・中井弘和「自然農法におけるイネ品種の生長と根面および根内の窒素固定菌の動態」『育種学研究3(1)』日本育種学会、2001年、3-12
- 53) 福士武造ら「特開2006-238809」(財) 自然農法国際研究開発センター 2006年
- 54) 藤井義晴「草種とアレロパシー」(2005) 農業技術体系 果樹編 第8巻 共通技術 (草生管理—草生栽培をめぐる新研究) 草生管理 6-2~9
- 55) 古川勇一郎「チェーン除草」『農業総覧 病虫害防除資材編追録17号』農山漁村文化協会 2012年
- 56) 古野隆雄「合鴨による水田除草」『土と健康 207』日本有機農業研究会、1990年、12-14
- 57) 古野隆雄「合鴨水稲同時作 その効用について」『土と健康 220』日本有機農業研究会、1990年、25-26
- 58) 北海道立上川農業試験場
- 59) 本田 (財) 畜産環境整備機構「畜産環境保全指導マニュアル」
- 60) 松尾孝嶺「明峰1931」『水稲栽培の理論と実際』農業技術協会、東京 1956年、247
- 61) 三木孝昭ら「冬季湛水水田における水稲生産展示」『平成17年度試験成績書』(財) 自然農法国際研究開発センター、2005年、28-30
- 62) 三木孝昭「水稲栽培における歩行型揺動除草機の開発」『自然農法59』(財) 自然農法国際研究開発センター、2007年、11-15
- 63) 三木孝昭・岩石真嗣「有機水田の稲ワラ等有機物分解の実態と栽培の課題」『自然農法62』(財) 自然農法国際研究開発センター、2009年、16-21
- 64) 水口雅彦「考案者が考えた竹ぼうき除草機のキモ」『竹ぼうき除草読本』NPOメダカのがっこう、2011年度
- 65) 宮崎茂「畜産とエンドファイト」『土づくりとエコ農業505』日本土壌協会、2011年、8
- 66) 遊佐陽一「在来天敵の有効性の解明」『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、107-138
- 67) 楊知建・佐々木修・下田代智英「水稲苗代期の低温障害に関する研究—低温下における苗の生長に及ぼす土壌水分の影響—」『日本作物学会紀事71(1)』日本作物学会、2002年、96-101