

# 健全な水稲生育のために必要な戦略

## ～水稲の還元ストレス軽減の視点から～

山形大学 農学部 附属やまがたフィールド科学センター長 教授 藤井弘志

### 水稲に対する還元ストレスの影響と要因

#### 未熟有機物の影響

堆肥の施用量は、昭和61年の215kg/10 aから平成18年には84kg/10 aまで低下している(農林水産省・2009年)。堆肥を施用しない主な理由として①米価が低水準のため堆肥の施用コストを負担できないこと②農家の高齢化などにより労力を要する作業が困難であることがあげられる(農業環境対策課・2009年)。一方で、稲わらのすき込み量は、昭和60年の249kg/10 aから平成18年には351kg/10 aまで増加している(農林水産省・2009年)。これらの理由として①堆肥化コストを負担できないこと②コンバインによる収穫作業が普及し水田への収穫後の稲わら還元が一般的になったことがあげられる(農林水産省・2015年)。

このように、水田に残される稲わら量が増大しているにもかかわらず、米価の低迷や農業従事者の高齢化による労働力問題によって、稲わらの分解を促進する石灰窒素やケイ酸質肥料などの施用が減少しており、移植時に稲わらの腐熟が不十分な状態となることで、水稲の初期生育が抑制されることが考えられる。

水田土壌の還元程度が異なる水田で、水稲移植21日後の根の生育量、収量とケイ酸吸収量について検討した。その結果、根の生育量、収量とケイ酸吸収量は、還元程度の弱い水田で強い水田に比べて優れたことから、還元による初期生育の抑制が収量および稲体のケイ酸吸収量にも大きく影響をあたえることが示された(図1)。

水田土壌の還元発達を大きく左右する要因としては、

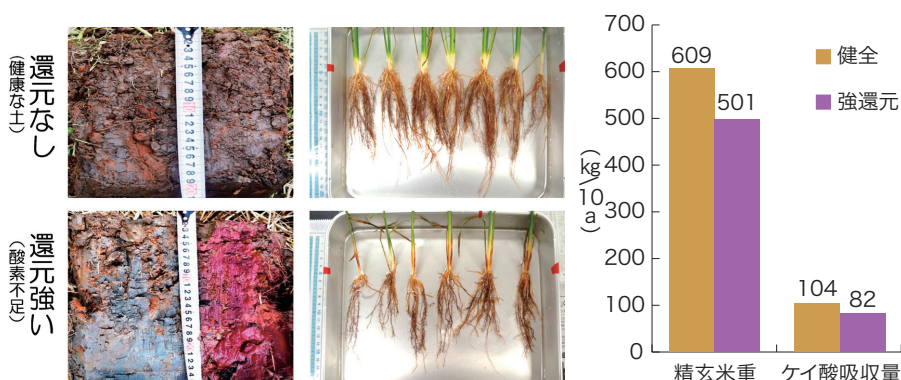


図1 水田土壌の還元程度の違いが水稲の根量、収量とケイ酸吸収量におよぼす影響

湛水条件下で嫌氣的に分解される稲わらなどの多少があげられ、水稲の初期生育の抑制と養分の吸収阻害は、すき込まれた有機物の嫌氣的分解にともなう芳香族カルボン酸の生成が大きな要因と考えられている(田中ら・2000年、田中ら・2001年)。稲わら無施用条件では芳香族カルボン酸(安息香酸、2-フェニルプロピオン酸、3-フェニルプロピオン酸)の発生量が非常に小さいのに対して、稲わら施用条件では著しく高まっていて、水田土壌でも稲わらすき込み条件による芳香族カルボン酸の蓄積が、水稲の初期生育に大きなダメージをあたえている可能性が指摘されている。水田における芳香族カルボン酸のピークは、北海道では5月中旬から約1ヵ月後頃の6月上旬～中旬、すなわち活着から茎数増加にかけての重要な時期にあたることを報告(後藤・2007年)していることから、水稲の初期生育の抑制が考えられる。

#### 稲側の要因(苗の視点から)

米価の低迷により育苗への投資が少なくなっており、苗質の低下が懸念されている。苗質は充実度(苗100本当たり乾物重/苗丈)が主な指標として用いられ、活着および初期生育、後期生育におよぶまで影響をもたらすことが指摘されている。特に、低温などの不適環境において苗質の影響を強く受けることから、生稲わら施用による生育阻害物質(有機酸、硫化水素など)の影響も強く受けるのではないかと推察される。

さらに、移植栽培における移植の際、育苗環境と本田環境の違いや移植にともなう断根(剪根)により植え傷みが起こる。移植の際に充実した苗の場合、植え傷みは少なく、活着や分けつの発生が早く起こり、生育の遅延が少ない。特に近年、大型農業機械の走行による水田土

壌の圧密化や浅耕による物理性の悪化(透水性不良)によって土壌還元化が進行していることが指摘されている。

### 水稲の還元ストレスの軽減対策

#### 稲わらの腐熟促進

水稲の初期生育の抑制と養分の吸

収障害は、すき込まれた有機物の還元条件下における嫌氣的分解にともなう芳香族カルボン酸生成が大きな要因とされることが指摘されている(田中ら・2000年、田中ら・2001年)。このことから、還元による水稻の初期生育の抑制を軽減するには、圃場側(土壌側)の視点から土壌還元の進行を緩やかにする必要があり、すき込まれた稲わらの腐熟促進と、水田土壌の透水性改良による還元の進行の抑制があげられる。

そのなかで、稲わら腐熟促進法としては、稲わらのすき込み方法とすき込み時の窒素施用があげられる。稲わらのすき込み時に窒素を施用すると稲わらの腐熟を促進し、特に、石灰窒素は腐熟効果が高いことが指摘されている。その理由としては、ほかの窒素肥料と同様に、稲わらの炭素率(C/N比)を下げる効果に加えて、石灰窒素に含まれる石灰が微生物の活動に好適なpHを保つ効果があげられている。秋すき込み時に石灰窒素とケイ酸

表1 移植9日後の酸化還元電位と初期生育におよぼす石灰窒素の施用効果

場所	A		B		C	
	石灰N区	対照区	石灰N区	対照区	石灰N区	対照区
酸化還元電位(mV)	-125	-165	-115	-192	-186	-195
地上部乾物重(mg/株)	404	346	134	136	436	290
地下部乾物重(mg/株)	358	282	140	124	299	260

表2 水稻の収量、ケイ酸吸収量におよぼす石灰窒素の施用効果

場所	A		B		C	
	石灰N区	対照区	石灰N区	対照区	石灰N区	対照区
玄米重(g/m <sup>2</sup> )	612	514	665	637	536	519
茎葉乾物重(g/m <sup>2</sup> )	739	622	756	741	600	541
茎葉ケイ酸含有率(%)	10.5	11.3	10.2	10.0	10.5	10.6
茎葉ケイ酸吸収量(g/m <sup>2</sup> )	78	70	79	72	63	57

場所	pH(H <sub>2</sub> O)	CEC(me/100g)	可給態ケイ酸(PB法:mg/100g)	還元程度
A	5.2	22.7	13.5	強
B	5.7	24.8	14.7	中
C	5.4	20.1	9.5	中

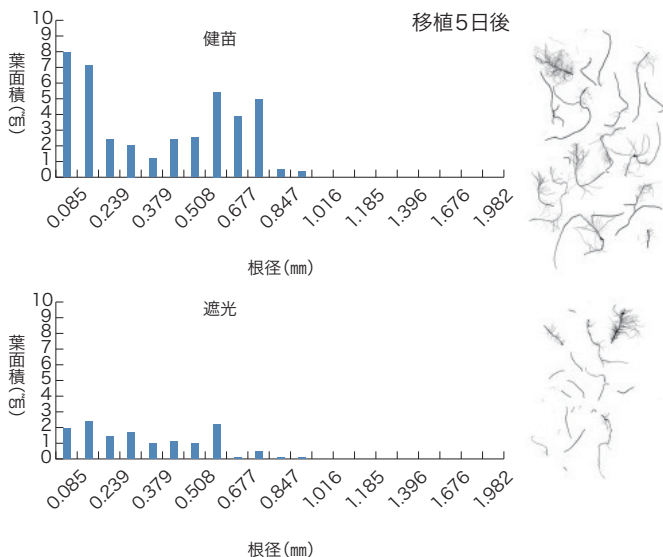


図2 苗の充実度の違いが移植5日後の根量におよぼす影響

質資材を同時に施用すれば収量、窒素吸収量が向上することが指摘されている(上野ら・1978年、千葉ら・1980年)。稲わら施用の有無が土壌の還元が大きく影響している、未熟稲わら施用では、土壌の還元が進行し水稻の初期生育に影響をおよぼすため、基本的には秋の収穫後に石灰窒素を散布することが必要である。

還元程度が異なる現地(A、B、C)の水田で石灰窒素の秋施用試験(石灰窒素現物20kg/10a)を行ったところ、移植9日後の酸化還元電位は、いずれの水田でも石灰窒素施用区が石灰窒素無施用区(対照区)よりも酸化しており、その結果、水稻の初期生育が確保された(表1)。石灰窒素施用区は、最終的な収量および稲体のケイ酸吸収量が対照区に比べて向上することが認められ、水田土壌における還元ストレスの軽減に有用であった(表2)。

すき込みの時期については、春すき込みよりは秋すき込みのほうが移植までに稲わらの腐熟が促進されること、秋すき込み時の耕深については、有機物を表層(5cm)に浅く混和することで有機物分解にともなう還元の軽減技術を提案した。土壌の表層は比較的水分が少ないために混和作業が容易であることや慣行のすき込み(12cm)と比べて稲わらが表層に存在するため、分解に必要な温度や酸素を得られるなどの利点が指摘されている。

しかし、秋耕(浅耕)については、圃場の排水性が不良とされるグライ土壌が多い地帯では導入が難しい状況にある。こうした排水性や透水性が不良な水田では、サブソイラーによる心土破碎や暗渠排水の補修などによる透水性の確保によって土壌を酸化的に維持することも重要である。

### 稲側の戦略

稲側の視点から土壌還元と水稻の初期生育について検討した事例は少ない。苗質については「苗半作」の言葉があるように、水稻の生育・収量に大きな影響をおよぼすことが知られている。しかし、米価の低迷などにより育苗への投資が少なくなっており、苗質の低下が懸念されている。苗質を示す充実度の高い苗(健苗)は、軟弱徒長苗(遮光条件)に比べて、稲わら施用による還元条件下でも総根長、総根表面積および根の乾物重が優り、結果的に地上部の生育も向上する傾向であった。特に、根径の細い根の割合が高くなり、移植後の養水分の吸収が促進されることが考えられる(図2)。健苗である苗が持つ酸化力の向上によると考えられ、苗の酸化力の向上に係わるケイ酸含有率の増加に寄与するシリカゲル施用(藤井ら・1999年)、ロックウールマット育苗(森ら・2006年)

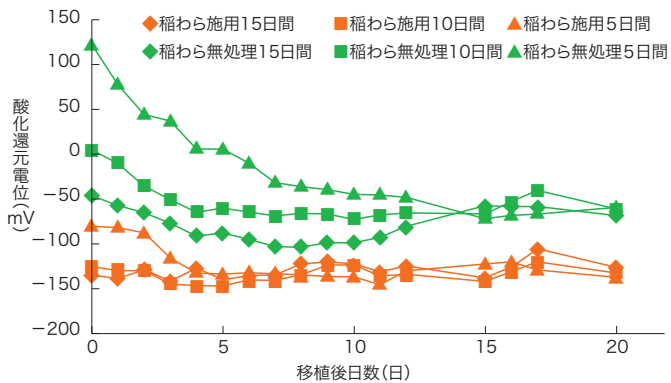


図3 移植前の湛水期間と稲わら施用有無による酸化還元電位の推移

は、還元条件下での初期生育の促進に寄与することが示唆される。植付深が浅いほど、最長根数、総根長、総根表面積および根の乾物重で示される根の生育が促進されていることを示す結果となり、その要因として浅植えにより茎数が増加し、分けつの発生にともない冠根が発生して根量が増加すること(水野ら・2013年)、浅植えほど土による抵抗が少なく、根の発生に有利であることが考えられる。

さらに、図3に示すように、移植時の酸化還元電位は湛水期間が長いほど低下し、稲わら施用によってさらに低下したことから、移植前に湛水期間を長くしすぎないことも、稲わらの腐熟促進とともに移植時の酸化還元電位を高くし、苗にとって活着しやすい環境になることに結びつくと考えられる。

## 今後の課題

これらのことから、近年の土壤還元による水稻の初期生育抑制は①石灰窒素やケイ酸質資材の施用量の減少による稲わらの腐熟が不十分なこと②水田土壤の透水性の悪化による還元の進行という土壤側の要因と水稻の基本技術である苗質が低下したこと③深植えによる稲側の要因が重なり合っていることが考えられる。還元

による初期生育抑制を軽減する技術(土壌側と稲側)のすべてを導入するのは困難なので、圃場や農家ごとに導入する技術を的確に選択することが重要である。

さらに、圃場内に一律に均一に散布した稲わら腐熟促進のための石灰窒素の施用について、圃場内で最も還元が進行している場所を特定し、その場所だけを選択・集中して対応することも、米価低迷や労働力の課題がある状況では重要である。

今後の課題としては、圃場間における還元の程度を把握する方法の開発も必要となる。この点については、未分解の有機物由来の芳香族カルボン酸の生成・蓄積には土壌間で差異が認められ、易分解性有機物量や分解菌(嫌気性菌)の存在状態、さらに土壌の酸化容量の大小が影響していることも指摘されている(後藤・2007年)ことも参考になると考えられる。

鉄資材の施用、可給態ケイ酸や鉄の多い客土など、土壌中の遊離酸化鉄の増加は土壤還元を抑制する効果があり、水稻の初期生育、特に根の伸長を促進することが認められた。また、遊離酸化鉄を補給(酸化容量の拡大)した場合、芳香族カルボン酸のピークは、無施用に対して低く、かつ発生期間が短期間に抑えられていたとの報告もあり、有用と考えられる。

土壌の化学性、物理性、生物性の総合である水田地力は、土づくりを中止しても急激には低下しないことから、最近では土づくりを続けている生産現場は少ない状況である。しかし、一度失われた地力は単発的な土づくりで容易に回復することはできない。今後、厳しくなると予想される気象変動条件下において、わが国の食料安定供給を持続的なものとするには、水田地力の増強が最優先されるべきである。日本農業の生命線である水田農業を守るために、生産性の高い水田をつくり、将来の世代に引き継ぐ必要がある。

藤井弘志・早坂剛・横山克至・安藤豊(1999). シリカゲルの苗箱施用が水稻苗の活着および初期生育に及ぼす影響. 日本土壤肥科学雑誌, 70(6), 785-790.

後藤英次(2007)北海道における高品質米生産に関する土壌化学性と合理的施肥法の研究. 北海道道立農業試験場報告(116)1-88.

水野貴文・森静香・藤井弘志(2013). 低地力条件下における水稻の植付け深が窒素およびケイ酸吸収量に及ぼす影響. 日本土壤肥科学雑誌(84)267-274.

森静香・藤井弘志・安藤豊(2006). ロックウールマット育苗による水稻苗のケイ酸含有率向上効果. 日本土壤肥科学雑誌(77)185-189

農文協編集部(1990)稲作大百科Ⅲ 基本技術/生育診断204. 東京.

農林水産省(2009). 稲作における施肥の現状と課題.

農林水産省(2009). 米及び小麦の生産費.

農林水産省(2015). 米生産コストをめぐる現状と対応方向.

田中福代・小野信一.(2000). 有機物資材を施用した水田土壌における芳香族カルボン酸の集積と起源および水稻の生育阻害. 日本土壤肥科学雑誌, 71(3), 350-355.

田中福代(2001). 水田における施用有機物の分解と水稻生育. 日本土壤肥科学会誌, 72(4), 582-587.

千葉満男・島津了司・武藤和夫・内田修吉(1980). 水田における稲わら施用と稲作の安定化. 岩手県立農業試験場報告(22)81-117.

上野正夫・斉藤昭四郎・小南力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木正(1978). 水稻に対する有機物および土壌改良資材の施用効果. 山形県立農業試験場研究報告(12)57-86.