

コンポストバーンベッドとフリーバーンベッドそしてぬか床ベッドの比較

にゅ乳牛を飼養するフリーバーンベッド管理を理解するために一助としてまとめました。

1. ベッドの種類

乳牛を飼養するルーズバーン方式(放し飼い)に、コンポストバーンベッドとフリーバーンベッド、そしてぬか床ベッド(榎谷独自の区別と命名)があります。見た目には皆同じように見えますが、そのベッドの内容は異なるものです。簡単に言えば、コンポストバーンベッドはベッド部分が堆肥の発酵過程の好氣的 2 次発酵している段階であるのに対して、フリーバーンベッドは敷料を固めてベッドにしたものと考えています。ぬか床ベッドは牛に乳酸菌を食べさせて、ベッド表面をぬか床のように乳酸発酵をさせているもので、牛の足での攪拌により糞尿と敷料を混ぜていきます。コンポストバーンベッドは好氣的 2 次発酵により、放線菌や糸状菌など増加により、乳房炎原因菌の発育抑制を行います。同様にぬか床ベッドは乳酸菌により乳房炎原因菌の発育抑制を行い、フリーバーンベッドは石灰と堆肥により乳房炎原因菌の発育抑制を行います。大きな違いは、コンポストバーンベッドは毎日ロータリー耕耘などでベッドを攪拌して好氣的 2 次発酵を促します。フリーバーンベッドは、攪拌せずに敷料と(戻し堆肥混合物)を毎日表面に追加します。ぬか床ベッドは攪拌はせずに、乳酸菌を牛に食べさせて排糞することによりベッドに乳酸菌を追加します。これらのベッドの違いを良く理解して、どのベッド方式を選択するかにより、毎日のベッド作業が異なります。これらのベッドの違いの考え方は、経験に基づいた榎谷独自の考え方です。



コンポストバーンベッド



フリーバーンベッド



ぬか床ベッド

2. 菌をもって菌を制する

乳牛が生活する環境から乳房炎の原因菌を少なくする環境対策には、西洋的発想と東洋的発想がある。これは筆者独自の考え方である。西洋的発想は、原因となる悪い菌がいるのであれば、それを消毒薬により殺菌すれば良いと考え、消毒薬による環境の清浄化を目指します。具体的には、消石灰(生石灰)によるベッドの消毒や敷料の消毒です。しかし、消毒直後は良いとしても、環境に存在する菌は消毒効果の減少と共に増殖するので、消毒効果は短期間(時間)しか持続しないので、毎回消毒することが必要となります。

一方東洋的発想は、「菌をもって菌を制する」です。乳房炎の原因菌となる病原菌は環境中に存在しても良いが、乳房炎の発生がなくなる”悪さをしない”程度の発育に他の菌種の共存により抑える方法です。色々な細菌種がフリーバーンベッドに存在する事で、大腸菌の増殖を抑制する方法です。例えば、大腸菌による下痢が発生したら抗生剤の投与で原因菌を叩

くのは西洋的発想であり、乳酸菌製剤などを投与して腸内細菌叢を整えることで下痢の治療や予防をするのが東洋的発想といえます。これには急な治療効果は期待できないが、一度良好なる細菌叢(一般的表現では腸内に善玉菌が多い状態)を確立できれば、その予防効果は継続されるが、その細菌叢維持には技術と経験を要します。人に例えれば、ヨーグルトを食べ乳酸菌を腸内に補給し、乳酸菌の住処なる繊維分(野菜など)を多く食べることです。

同じようにフリーバーンのベッド作りにコンポストバーンと呼ばれるものがあります。ベッドを毎日トラクターのロータリーで攪拌することで、ベッド部分の好気性発酵を促進して大腸菌の増殖を抑制するもので、東洋的発想といえます。このコンポストバーンは好氣的発酵促進であり、毎日の攪拌(切り返しに相当)が必要であり、発酵のための水分調整が重要な要素となります。夏場では発酵熱によるベッドの温度上昇(床暖房)が問題となります。

ぬか床ベッドは通性嫌気性発酵を目指しており、毎日のベッドの攪拌は行わない。牛の足による表面の攪拌程度です。食べた後に排泄された乳酸菌や堆肥中の放線菌類の死滅防止には水分含量 50-60%程度を必要とするので、ベッド表面は乾いていない状態を維持する。ベッドを一見すると乳房炎発生が心配となる水分状態に見えるが、乳酸菌や放線菌類が増殖した細菌叢が確立されていれば、乳房炎の発生や感染性蹄病の発生は少ない。しかし牛に毎日乳酸菌製剤(特別な商品)を食べさせる必要性があり、コストが問題となる。

3. 堆肥の発酵過程(日環エンジニアリング(株)堆肥資料より)

- ① 1次発酵段階：好気性発酵で、発酵温度 60℃～70℃で5日程度持続する。腐りやすい物質を栄養として細菌、糸状菌、糖分解菌による発酵段階である。この時の温度で大腸菌類は死滅する。

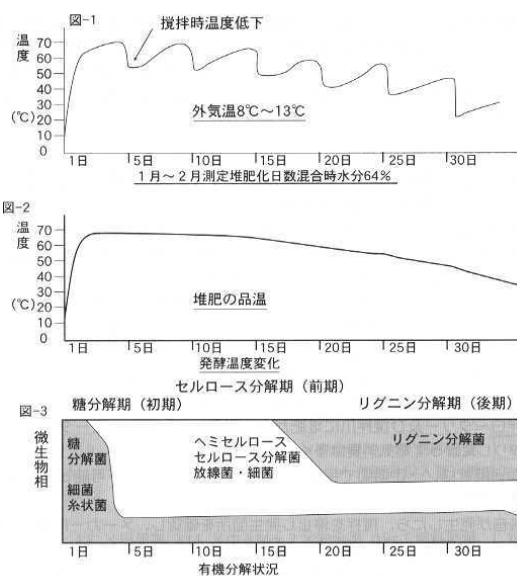
1次発酵段階の糖分解期は、家畜糞中の有機物に含まれるタンパク質・アミノ酸・糖質などの易分解性物質が分解される時期で、堆積物の温度は上昇する。温度が高まるとセルロース分解期となり、この段階が堆肥化の主要な時期である。セルロースは、リグニンやヘミセルロースで保護されるような形態を持っているため、これを除去する必要がある。中でもヘミセルロースは、セルロースとリグニンの結合組織的役割を持っているため、効率良く分解する必要がある。この時期は、堆肥の温度が 60～80℃にもなり、一般の微生物は活動できず、限られた種類の高温菌(バチルス菌)が働く。高温性、好気性の放線菌によってヘミセルロースを分解し、セルロースを剥き出しにする。この時酸素を盛んに消費するため周囲が酸素不足となり、そこに嫌気性のセルロース分解菌(クロストリジウム菌など)が働く。この段階では大腸菌は高温で死滅しているが、ベッドでの菌を持って菌を制することはできない。

- ② 2次発酵段階：好気性発酵であり、発酵温度 40℃～50℃で30日程度持続する。好気性発酵であるので、切り返し作業を必要とする。繊維分、リグニン(おがくずやわら、粃殻など牛が消化できない成分)を栄養とする放線菌、セルロース分解菌、リグニン分解菌による発酵段階である。

堆肥の温度がゆっくりと下がってくると、リグニンの分解が始まる。リグニン分解は主としてキノコ(担子菌)であるが、この時期はセルロースなどの中間分解物質に富み、堆肥の品温も低下して他の微生物が生育しやすい環境となり、多種類の微生物が活動する。微生物が多く現れると、それを食べる小動物(小バエ?)が現れる。このようにしてこの時期には多くの微生物が現れては死滅する。こうして微生物の遺体が蓄積し、農耕地に施用した時に肥料効果をもつ資材へと変化していく。

「菌をもって菌を制する」には、2次発酵段階の過程が極めて重要であり、繊維分やリグニンを分解する放線菌、糸状菌、担子菌が増殖することが「菌を制する作用」を作り出す。そのためには、それらの菌の栄養源である繊維分やリグニン分を堆肥に入れること（通称副資材という）と、発酵のための水分と温度を確保することが重要となる。

牛糞中にリグニン分は消化できずに排泄されるが、繊維分は牛により消化された後である。1次発酵段階の温度で大腸菌は死滅するので、夏場など堆肥が乾燥した状態であれば敷料として使用できそうであるが、この状態では放線菌、糸状菌、担子菌が十分に増殖していないので乳房炎が発生する。2次発酵段階を経ないと「菌を制する作用」は得られない。一般的に堆肥を寝かせる段階のことであり、時間を必要（最低30日）とする。堆肥として積んだ中心部にも好氣的発酵を促すために、切り返しによる空気の供給が必要となる。



4. 戻し堆肥による乳房炎予防効果（研究結果）

戻し堆肥が大腸菌性乳房炎予防に効果があるかを文献より調査してみた（一部引用改変）。文献中の要点のみを記す。

文献名：環境性乳房炎の予防 発酵堆肥の敷料利用 畜産の研究 第51巻第2号（1997年）
細田紀子 渡辺エー＊山梨県東部家畜保健衛生所（Noriko Hosoda, Koichi Watanabe）

環境性乳房炎予防のため、実験室内にてオガクズと堆肥混合物利用の基礎的な検討を行った。堆肥中ではクレブシエラ菌と大腸菌の菌数は $10^3 \sim 10^4$ CFU/g と接種した菌液濃度のままで全く増殖しなかった。**滅菌した堆肥中では急速に大腸菌群が増殖したことから、増殖抑制は堆肥中の微生物の影響と思われた。**

野外試験として1995年4月から1995年8月まで、敷料にオガクズと堆肥混合物（体積比オガクズ1:堆肥4）を用い、クレブシエラ菌と大腸菌数の推移について調査した。その結果、気温の上昇する春期から夏期に、クレブシエラ菌と大腸菌は $10^4 \sim 10^5$ CFU/g で推移した。Bramley ら（1975年）は牛床のグラム陰性桿菌数が 10^6 CFU/g に達すると乳房炎の問題が起これとした。オガクズと堆肥の混合物は、乳房炎の予防に有効と思われた。

疾病の発生件数は、オガクズのみを敷料に使用していた過去3年間は年々増加傾向にあったが、野外試験を実施してからは43件と半減（対前年比53%）した。乳房炎は6件（対前年

比 24%) と激減し、蹄病は 5 件 (対前年比 56%) と減少した。

堆肥中のクレブシエラ菌と大腸菌が増殖しない原因として、堆肥中の菌の相互作用や、堆肥中の菌が抗菌作用をもつ物質を産生している等が考えられた。その結果、分別推定法にて堆肥中の菌が抗菌作用のある物質を産生していることが推察された。以上のことから、堆肥の敷料利用は環境性乳房炎の予防に大変有効であった。

文献内容をまとめると

- 1) オガクズと堆肥混合物 (体積比オガクズ 1 : 堆肥 4) は、乳房炎の予防に有効と思われた。
- 2) 滅菌堆肥中では急速に菌が増殖したことから、予防効果は堆肥中の微生物の影響と思われた。
- 3) 堆肥中の菌が抗菌作用のある物質を産生していることが推察された。
- 4) 堆肥の敷料利用は環境性乳房炎の予防に大変有効であった。

戻し堆肥添加が乳牛糞の堆肥初期発酵に及ぼす影響

福島正人 1、長峰孝文 2、古谷 修 2、小港恭平 2

1 栃木県畜産試験場 2 (財) 畜産環境整備機構畜環研

【目的】

戻し堆肥は発酵促進作用があるといわれているが、その報告は少ない。そこで堆肥化中の温度が上昇する中温域において、戻し堆肥添加が堆肥初期発酵を促進するのか、また、その効果に微生物が関与しているのかを堆肥腐熟度測定器「コンポテスター」を用いて試験した。

【方法】

微生物の殺菌処理は、間欠滅菌法に準じ湿熱下で 100℃、30 分加熱し、その後室温で一晩放冷を 3 日間繰り返すことで行った。

試験 1 は以下の試験区で行った。

- | | | | | |
|-------------|---|----------|---|--------|
| A : 生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | + | 堆肥 |
| B : 生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | + | 殺菌処理堆肥 |
| C : 殺菌処理生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | + | 堆肥 |
| D : 殺菌処理生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | + | 殺菌処理堆肥 |
| E : 生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | | |

水分 70% に調整した 50g に E 以外は堆肥を 5g 添加した。なお、用いた堆肥の酸素消費量は「1」以下の完熟していると考えられる堆肥を用いた。これらを混合後、酸素消費量を 2・5 時間おきに 48 時間測定した。

試験 2 は以下の試験区で行った。

- | | | | | |
|---------|---|----------|---|--------|
| A : 生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | + | 堆肥 |
| B : 生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | + | 殺菌処理堆肥 |
| C : 生ふん | + | 殺菌処理オガクズ | | |

この試験では堆肥初期発酵を詳しく測定するため、酸素消費量を 30 分毎に 12 時間測定した。

【結果】

試験 1 では、殺菌処理にかかわらず堆肥を生糞に添加した A 及び B 区は、添加しない E 区よりも酸素消費量のピークに早い傾向が見られた。

試験 2 でも同じように、堆肥初期発酵は、殺菌処理にかかわらず堆肥を添加したほうが早い傾向が見られた。

これより、堆肥を添加すると堆肥初期発酵は促進されると考えられた。しかし、堆肥化のごく初期の中温域においては、戻し堆肥に含まれる微生物が、これに直接関係しているとは考えられなかった。

発酵堆肥化の条件は好気性微生物が最高に増殖し、活性できる環境を人間が与えることができるかによって左右される。

条件として、①栄養 ②水分 ③空気 ④温度 ⑤日数 ⑥知識 ⑦管理 ⑧施設 以上の条件が必要である。

有機物（分解されていない植物及び畜糞等）をそのまま土壌に入れると、窒素飢餓となります。育成不良、多量の炭酸ガスの発生、酸素不足、アンモニアガスの発生等有害物質の影響により根腐れ等の悪影響を及ぼし、健康な食材の収穫はできなくなり減収となります。土壌中の炭素率は平均 10 前後です。魚粉の炭素率は 5 前後、油かす類は 5～6 前後、鶏糞 6～7、豚糞 9～10、牛糞 15～25、ウラ類 60～70、木質類 80～300 位です。炭素率は、有機物が分解しやすいか、しにくいを示す重要な目安となります。有機物は微生物に分解されると、限りなく土の炭素率に近づけようとする働きがあり、有機物が土壌中で微生物によって分解されると、有機物性のたんぱく質はアミノ酸に変化し、微生物はそのアミノ酸をそのまま吸収して栄養分として利用することができます。しかし、植物はアミノ酸を根から直接吸収することはできません。アミノ酸がアンモニアを経て硝酸に変化してから、根より吸収します。微生物が有機物を分解するために窒素を多く必要とする時、アミノ酸の段階で窒素の大部分を微生物に利用されてしまい、植物は窒素養分を利用できなくなり窒素飢餓となります。未熟な有機物の中には微生物が好む有機成分が多く、そのため、土壌微生物は急激に増殖し、菌体を造るのでアミノ酸を多量に吸収し、その結果植物は窒素を利用できなくなり窒素飢餓となって黄化してしまいます。そのため発酵させ易い分解性物質を、分解消滅させ熟成された有機堆肥を耕地に還元することにより自然の土壌となり、健康な食材が収穫され健康な食材を人間が食することができます。

発酵堆肥化は水との闘いです。水分の少ない処理物はそのまま発酵堆肥化できますが、水分の多い処理物は前処理として、水分調整材（水分 40%以下の物）と混合しなければなりません。この混合を密にして水分 60～70%にすることにより発酵乾燥が可能になります。しかし、水分調整材にも色々な物があり、例えば、発酵乾燥済の堆肥（戻し堆肥）を混合し水分 65%にしても、高水分の牛糞はエネルギー不足で発酵乾燥しません。易分解性物質が多く含まれている物質は発酵乾燥可能ですが、難分解性物質が多く含まれている物質は、新しい調整材を必要とします。調整材として、おが屑、モミガラ、乾燥鶏糞、米糠、コーヒークロ、白土、乾燥豚糞、ウラ、乾燥草等があります。乳牛糞、汚泥等は冬期毎日攪拌すると外気温に左右され温度が低下し、発酵が停止する場合があります。好気性発酵菌は 23℃前後で活動が始まり温度が上昇するにつれて増殖します。しかし、物質要因と季節要因によっても異なり、微生物の食材、生活環境により処理方法、管理方法も異なります。

堆肥造りに関与する微生物は大きく分けると細菌、放線菌、糸状菌の三群に分けることができます。堆肥原料のうち最も微生物が分解しやすい物質は①糖分②でんぷん③たんぱく質から分解が始まり、これらの分解しやすい物質の分解が終わりに近づくと好気性の細菌や糸状菌、放線菌の増殖により密度が高まり高温段階に入り、ヘミセルロースやセルロースが分解され始め 75℃以上の高温となります。高温になればなる程有機物の分解が早まりますが、それだけ酸素の消費も多くなります。そのため攪拌し酸素の供給が必要となります。しかし、水分が多いと攪拌しても堆肥中の空隙が少ないため、酸素不足で温度は上昇せず、嫌気性となり悪臭も多くなります。

処理物によって、1日1回の攪拌が必要な物質と3～4日に1回の攪拌が良い物質等があります。鶏糞、豚糞は1～2日に1回の攪拌が必要ですが、**乳牛糞、肉牛糞、おが屑豚糞、汚泥は3～4日に1回の攪拌が理想です**。栄養価の多い物と栄養価の少ない物とで違いがあり、冬期時の攪拌は外気温の影響により温度が低下し、栄養価の少ない物質は65℃位に上昇するのに23日間の時間を必要とします。65℃以上の温度を5日位経過させないと病原菌や雑草種子を死滅させることができません。特に牛舎に敷料として戻し堆肥を使う場合は、高温発酵し病原菌を死滅させた堆肥を利用することが望ましく、最近、高温発酵した堆肥を敷料に使った牛舎で乳房炎が減少したとの話を良く聞くようになりました。雑菌の死滅により土壌菌の増殖によるものと思われます。

使用前のオガクズの消毒と堆肥との混合物の効果

表2 消石灰によるオガクズの消毒効果^{a)}

オガズ中の 消石灰濃度 (%)	オガズ中の Klebsiella	
	30分後	2時間後
0	6.2×10^5	5.2×10^5
1	4.2×10^4	9×10^3
3	$< 10^2$	$< 10^2$
5	$< 10^2$	$< 10^2$
7	$< 10^2$	$< 10^2$

a) 村田原図

オガズ100gに対して各濃度の消石灰を混合後、牛床に実存すると考えられる菌数のKlebsiellaをさらに混合し、30分および2時間後に菌数を観察した。

表1 Klebsiellaの増殖試験成績

	37℃	30℃	室温
オガズ	1.1×10^8	3.9×10^7	2.2×10^4
堆肥	4.0×10^4	2.0×10^3	1.2×10^4
堆肥(高圧滅菌処理)	7.2×10^8	5.8×10^8	2.0×10^4
混合物A	1.1×10^5	3.4×10^5	8.5×10^4
混合物B	2.4×10^4	9.0×10^3	1.4×10^4
混合物C	2.0×10^3	6.0×10^3	2.0×10^3

単位 CFU/g

混合物A 堆肥：オガズ＝1：1（体積比）、混合物B 堆肥：オガズ＝2：1、混合物C 堆肥：オガズ＝4：1

(細田ら)

表2 大腸菌の増殖試験成績

	37℃	30℃	室温
オガズ	6.0×10^7	1.0×10^8	4.0×10^3
堆肥	2.0×10^3	4.0×10^3	4.0×10^3
堆肥(高圧滅菌処理)	1.1×10^9	1.3×10^9	1.6×10^3
混合物A	4.2×10^6	1.0×10^6	1.1×10^3
混合物B	1.4×10^4	4.0×10^3	3.4×10^4
混合物C	2.0×10^3	5.6×10^4	6.0×10^3

単位 CFU/g

混合物A 堆肥：オガズ＝1：1（体積比）、混合物B 堆肥：オガズ＝2：1、混合物C 堆肥：オガズ＝4：1

(細田ら)

良質堆肥生産(肥料として)について

ア. 良質堆肥の条件

- 十分に腐熟していること
十分な発酵期間を経過していること
未熟物施用による発芽障害、窒素飢餓等を発生させないこと
- 汚物感の無いこと
素手で取り扱えること。悪臭の無いこと
- 取り扱い易いこと
水分が少ないこと（水分60%以下）
- 有害微生物や雑草の発生が無いこと
発酵中に60℃以上の高温に1週間以上さらされていること
（堆肥の全ての部分が一度は1週間以上高温部分にあること）
- 肥料成分が一定していること
- 塩類濃度**が高過ぎないこと。戻し堆肥を繰り返し利用すると塩類蓄積が起きる。

イ・堆肥発酵の原理と発酵条件

堆肥発酵は、糞や副資材（おがくず、もみがら、稲わら等）の中に含まれる有機物が、好気性（空気中の酸素を好む）の好温性（高い温度を好む）微生物を主役とする微生物群により、炭酸ガスと水とに分解される発酵である。したがって、堆肥の堆積物の中を、発酵の主役である微生物の活動しやすい状態に保つことが、発酵をうまく進めるため重要である。

1) 堆肥発酵の条件

好気性微生物により発酵が進むため、以下の条件を整えてやる必要がある。

- (1) 有機物（餌） 牛糞はルーメンで発酵しているので、微生物の餌として副資材が必要
- (2) 水
- (3) 酸素
- (4) 温度（好温性菌 50～65℃）

通常(1)(2)の条件は十分に満たしている。(3)の酸素の条件が整うか否かで堆肥発酵がうまく行くか失敗するかが決まる。(3)の条件が整えば(4)は自然に70℃近くまで上昇する。糞尿に副資材を混ぜたり、予備乾燥したりするのは(3)の条件を整えるためである。

堆肥中に空気を通すための空隙割合は、最低30%以上あることが必要。堆肥のかさ密度（単位容積当りの重量）が700kg/m³以上になると通気不良を起こす。また、同じ空隙率であっても、おがくずのように細かい副資材を使った場合には空気の通が悪くなる。自然堆積方式では、空気を通して好氣的に発酵が進むのは表層から約30cm程度であり、切り返しにより内側の通気不良の部分を外側に移動させ、順次発酵を進める。床面からの強制通気方式では、全層が好氣的に発酵する。

堆肥水分の簡易推定法

堆肥や堆肥原料を手で握り締めたときの状態で堆肥の水分を推定することができます。

水分	手で堆肥を握り締めた時の状態
75%以上	指の間から水がぽたぽたしたたり落ちる
70%程度	指の間から水がにじみ出す
60%程度	固まり状になり払い落としても手のひらの表面に湿った堆肥がくっついていて
50%程度	湿り気を感じ柔らかい固まり状になるが、払い落とすと手のひらの表面に多少堆肥がつく
40%程度	固まり状にはならない。払い落とすと手のひらの表面に殆ど堆肥はくっつかなく、やや湿り気を感じる
30%程度	乾いた状態で湿り気は全く感じない。細かい粒子は粉塵として飛散する。