

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6274615号
(P6274615)

(45) 発行日 平成30年2月7日(2018.2.7)

(24) 登録日 平成30年1月19日(2018.1.19)

(51) Int.Cl.		F I			
AO1C	1/00	(2006.01)	AO1C	1/00	L
GO1N	3/08	(2006.01)	AO1C	1/00	Z
GO1N	29/12	(2006.01)	GO1N	3/08	
GO1N	21/359	(2014.01)	GO1N	29/12	
GO1N	21/3554	(2014.01)	GO1N	21/359	

請求項の数 4 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-40265 (P2014-40265)
 (22) 出願日 平成26年3月3日(2014.3.3)
 (65) 公開番号 特開2015-164407 (P2015-164407A)
 (43) 公開日 平成27年9月17日(2015.9.17)
 審査請求日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(73) 特許権者 501203344
 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合
 研究機構
 茨城県つくば市観音台3-1-1
 (74) 代理人 100107870
 弁理士 野村 健一
 (74) 代理人 100098121
 弁理士 間山 世津子
 (72) 発明者 乙部 和紀
 茨城県つくば市観音台三丁目1番地1 独
 立行政法人農業・食品産業技術総合研究機
 構 中央農業総合研究センター内

審査官 佐々木 創太郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 難吸水性種子検出法ならびに難吸水性の解消法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

分子状態の水又は霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理をし、難吸水性種子と正常種子との間に水分含量の差異を生じさせる工程、及び前記種子群に含まれる個々の種子について、水分含量の差異に連動する特性を測定又は解析し、その測定又は解析結果に基づき難吸水性種子を特定する工程を含むことを特徴とする難吸水性種子の検出法であって、水分含量の差異に連動する特性が、種子の弾性率、種子を物体と衝突させた際の衝突音、又は種子の近赤外光吸収量であることを特徴とする難吸水性種子の検出法。

【請求項2】

分子状態の水又は霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理が、難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く処理であることを特徴とする請求項1に記載の難吸水性種子の検出法。

【請求項3】

難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く処理が、難吸水性種子を含む種子群を相対湿度40~100%の条件に10~48時間置く処理であることを特徴とする請求項2に記載の難吸水性種子の検出法。

【請求項4】

10~35 の温度条件下で、分子状態の水又は霧状の水を難吸水性種子に供給する工程を含むことを特徴とする種子の難吸水性解消法であって、分子状態の水又は霧状の水を難吸水性種子に供給する工程が、難吸水性種子を相対湿度40~100%の条件に3~10日間置く処

理であることを特徴とする種子の難吸水性解消法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、豆類に高頻度で見られる硬実などの難吸水性種子と正常種子が混在しているロットに対して、品質が落ちない程度の少量の水分を供給することにより両者間に水分含量差を生じさせ、個別の種子水分またはその指標となる物理的特性を計測することで、正常種子と難吸水性種子を判別する難吸水性種子検出法、及び難吸水性種子を含む対象種子群に品質が落ちない程度の少量の水分を供給することにより、正常種子の品質に影響を与えずに難吸水性を解消する方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

種子の吸水は、それが食用であるか栽培用であるかに関わらず、利用する上で重要な現象である。ダイズの場合、播種直後の冠水により吸水が急激に進展し、生理的・物理的障害が発生して発芽率が落ちることが知られており、種子の吸水制限方法に対するニーズが存在する（非特許文献1）。しかしその一方で、豆類に多くみられる「硬実」と呼ばれる、吸水が極度に遅い（あるいは全くしない）種子の発生は、たとえばダイズやアズキを蒸煮加工した食品の製造においては製品の品質不良の原因となるため、品質管理上の重要な問題である（特開2005-304409）。また、栽培時においても硬実は正常種子に比べて吸水が極度に遅いため苗立ちの遅れや斉一性に影響する。以上のように、食用であるか栽培用であるかにかかわらず、難吸水性種子の判別や解消が可能な対策技術へのニーズが存在する。

20

【0003】

難吸水性種子の発生には、植物種や品種による特性が影響すると共に、栽培条件によっても発生頻度が変わると言われているが、現在までのところ、難吸水性種子の発生を防ぐ手段はない。難吸水性種子の様態については、電子顕微鏡観察に基づいた解析により、種子が難吸水性であるダイズ品種においては、種皮表面に存在する微小孔がワックス状の物質により閉塞している場合に難吸水性になると推定されている（非特許文献2）。その一方で、当該微小孔が閉塞していても微細な裂皮が種皮にあることにより吸水が促進されるとの知見もある（非特許文献3）。あるいはアズキのように、正常な種子でも種瘤のような限られた器官からしか吸水が行なわれないため、当該部位の透水性低下が難吸水性種子発生の要因と言われ（非特許文献4）、含水率11%以下のアズキ種子で難吸水性種子がみられるとの報告もある（非特許文献5）。いずれにしても、傍証的な知見は存在するが、難吸水性種子の吸水が遅い原因の特定は現在のところなされていないため、加工前や播種前に硬実を検出除去する方法を見いだすことが困難であった。また、種皮の微小孔や種瘤の閉塞を調べる電子顕微鏡観察は高額な機器と熟練したオペレータが必要である上に、ごく少量のバッチ（回分）処理しかできないため、食品製造ラインなどで硬実の選別に利用することは不可能である。そのため現状では、硬実問題を回避するため、吸水処理した後の種子膨潤による形態（大きさや種皮のしわ）変化の有無から、膨潤種子と未膨潤種子とを判別して、硬実を篩いまたは目視により選別除去する方法が、製造現場レベルでは実施されている。また、公知の事実として、公開特許公報昭58-71858にて言及されている従来法で、砥石あるいは臼を用いて、種子表面全体あるいは一部をこすり取って脱皮する装置を用いている例などもある。

30

40

【0004】

しかし形態が変化するほどに吸水した後での機械的な種子選別は、種子および種皮の組織が軟化しているために圧迫・衝突などにより種子を傷つける恐れがある、あるいはアズキのように未吸水種子を煮熟加工する豆には適用できない、等の問題がある。一方、特開2005-304409や特開平11-266818に例示されている吸水前種子全量の脱皮による方法では、種皮だけでなく内部の子葉組織までダメージを与えることになるため、種子浸せき水中に過剰な溶出固形物の溶脱がおり、栄養分の漏出などの品質低下を招きやすいことが記載

50

されている。さらに、一部とは言え表皮をはぎ取ることにより、吸水に伴ってそこから裂け目がさらに広がり、最終的には大きく種皮が裂けた粒となるために、納豆や煮豆など種皮がついたままで商品とする必要があるもの場合には、外観品質として大きな問題となる。従来法における以上の問題を解決するために、簡易に測定可能な物理量を指標として、事前に硬実を検出する手法、または硬実が原料ロット中に存在していることが明らかでない場合には、品質を落とすことなく硬実状態を解消可能な種子処理方法の開発が望まれている。

【0005】

文献的な硬実判別方法として、ダイズ種皮表面に存在する微小孔がワックス状の物質により閉塞している種子が難吸水性になると推定されている（非特許文献6）ことから、電子顕微鏡観察などにより、閉塞している種子を選択排除する方法が考え得る。アズキにおいては、水分含量が11%以下の種子に硬実がみられることを利用して、水分子によるエネルギー吸収が大きいことが知られているマイクロ波領域の電磁波を用いた単粒での硬実判別方法が提案されている（非特許文献5）。さらにメカニズムは未解明であるが、近赤外分光法において4,000~8,000cm⁻¹の波長域にみられる吸収スペクトルの重回帰式により、豆類の硬実を判別できるとの文献も存在する（非特許文献7）。

【0006】

一方、硬実の解消法では、種子の持つ気体や水へのバリア機能は種皮の最上層部であるクチクラ層が担っており、クチクラ層を剥離することによって硬実状態を解消するという知見も存在する（非特許文献8）。1980年代より欧米で行われているダイズの硬実研究における発芽性テストでは、「scarification（種皮に傷をつける）」操作によって吸水させて発芽させる方法が一般的な手法として採られている（非特許文献9）。当該処理方法の変法として、公開特許公報昭58-71858にて言及されている従来方法の中には砥石あるいは臼を利用した、種子表面全体あるいは一部をこすり取って脱皮する装置なども存在する。さらに、従来技術の問題点（裂皮などの発生）を解決するため、傷の深さを制御する方法も提案されている（特許第4911458）。蒸煮前処理の工夫により硬実であっても吸水させる方法も提案されており、例えば100MPa（1,000気圧）程度の水圧でアズキを加圧処理することで強制的に吸水させて、煮揃いや煮上がりの改善を図る方法が開発されている（特許2946191）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】中山則和ほか、「ダイズ種子の吸水速度調節が冠水障害の発生に与える影響」、日本作物学会紀事74(3)、325-329(2005)

【非特許文献2】Calero and Hinson, Crop Science 21, 926-933(1981)

【非特許文献3】F.Ma, et al., Annals of Botany 94, 213-228(2004)

【非特許文献4】畑井朝子, 日本調理科学会誌Vo1.35, No2, 105-111(2002)

【非特許文献5】熊林義晃ほか, 北海道立食品加工研究センター報告 No.3, 45-49(1998)

【非特許文献6】乙部ほか, 日本作物学会記事77(1), 69-77(2008)

【非特許文献7】Zhu Liweiほか, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, Vol.28, Supp.2, 237-242(2012)

【非特許文献8】F.Arechavaleta-Medina and HE. Snyder, Journal of American Oil Chemical Society, 976-979(1981)

【非特許文献9】Nooden, et al., Control of seed coat thickness and permeability in soybean, Plant Physiology 79, 543-545(1985)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

非特許文献2、6で使用されている電子顕微鏡あるいは形状測定顕微鏡による観察は高額な機器と熟練したオペレータが必要である上に、バッチ処理しかできないため、食品製

10

20

30

40

50

造ラインなどで硬実選別に利用することは実用上不可能である。非特許文献5、7で示唆されている判別方法も、可能性が示唆されているのみで、実際の硬実判別性能については未知数であるため、未だ実用化にいたっていない。また、非特許文献5の方法では、硬実ではなくとも水分含量の低い正常種子が収獲物の集積段階で混入する可能性が高く、水分含量を検出するだけでは正常種子を硬実と誤判定する可能性が高い。非特許文献7の手法についても、スペクトルの帰属がいかなる分子種によるか不明であり、硬実の判定には品種や栽培条件による変動の影響を受けるおそれがある。以上のように、加工前に硬実を識別する実用的な方法がないため、吸水後の種子を対象とした選別が対症療法的に行われているが、吸水後の種子では組織が軟化しているために機械による選別が種子を傷つける恐れがあるなど、硬実判別は依然として問題を抱えている。

10

【0009】

一方、従来から考案されていた硬実の解消手段として、クチクラ層の剥離やメスなどで傷をつける、あるいは砥石などで擦って脱皮するという方法も検討されているが、クチクラ層ならびに種皮に大きなダメージを与えた場合には、種子の急激な膨潤による種皮剥離や、過剰な吸水速度による種子組織の亀裂を生じ、溶出固形物の増加に基づく栄養成分のロスや外観品質の低下をまねく。また、高圧処理による強制吸水方法もまた、高価な高圧装置の導入や水を利用した製造工程の増加による労働コストの増加をまねくことから、導入が容易とは言えない。

【0010】

本発明は、以上の問題を解決し、種子の品質を変えずに実現可能な難吸水性種子の検出手段及び難吸水性解消手段を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】**【0011】**

本発明者は、正常種子と比べて難吸水性種子は、液体状の水だけでなく水蒸気のように分子状態の水であっても吸収が極端に遅いという事実を見出し、これに基づき、両者が混在するロットに対して、種子の水分活性がわずかに上昇する程度の温湿度環境を有する雰囲気中で行う水分調整技術により、難吸水性種子と正常種子との間に水分含量の違いを生じさせることができるという知見を得た。

【0012】

また、本発明者は、この種子水分含量の違いは様々な物理量に置き換えて個別に測定できることも見出した。

30

【0013】

更に、本発明者は、難吸水性種子の生成要因には、非特許文献2に示唆されている種子中に蓄積された細胞壁(二次壁)形成に寄与する二次代謝産物の重合・分解反応が関与する点に着目し、種子の乾燥過程で透水経路末端(種子表面)に蓄積された当該物質が、種子の有する酵素反応により重合することで不透水層を形成する一方で、吸水が始まる発芽条件ではペルオキシダーゼなどの酵素が当該重合物を分解して細胞壁(二次壁)を軟化させて種子の吸水・膨潤を助けると推察し、分子状態の水であっても当該メカニズムを利用して難吸水性解消が可能であることを見出した。

【0014】

本発明は、以上の知見に基づき完成されたものである。

40

【0015】

即ち、本発明は、以下の(1)~(9)を提供するものである。

(1) 分子状態の水又は霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理をし、難吸水性種子と正常種子との間に水分含量の差異を生じさせる工程、及び前記種子群に含まれる個々の種子について、水分含量の差異に連動する特性を測定又は解析し、その測定又は解析結果に基づき難吸水性種子を特定する工程を含むことを特徴とする難吸水性種子の検出法。

(2) 分子状態の水又は霧上の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理が、難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く処理であることを特徴とする(1)に記載の難吸

50

水性種子の検出法。

(3) 難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く処理が、難吸水性種子を含む種子群を相対湿度40～100%の条件に10～48時間置く処理であることを特徴とする(2)に記載の難吸水性種子の検出法。

(4) 水分含量の差異に連動する特性が、種子の弾性率であることを特徴とする(1)乃至(3)のいずれかに記載の難吸水性種子の検出法。

(5) 水分含量の差異に連動する特性が、種子を物体と衝突させた際の衝突音であることを特徴とする(1)乃至(3)のいずれかに記載の難吸水性種子の検出法。

(6) 水分含量の差異に連動する特性が、種子の近赤外光吸収量であることを特徴とする(1)乃至(3)のいずれかに記載の難吸水性種子の検出法。

(7) 分子状態の水又は霧状の水を難吸水性種子に供給する工程を含むことを特徴とする種子の難吸水性解消法。

(8) 分子状態の水又は霧状の水を難吸水性種子に供給する工程が、難吸水性種子を加湿条件に置く処理であることを特徴とする(7)に記載の種子の難吸水性解消法。

(9) 難吸水性種子を加湿条件に置く処理が、難吸水性種子を含む種子群を相対湿度40～100%の条件に3～10日間置く処理であることを特徴とする(8)に記載の種子の難吸水性解消法。

【発明の効果】

【0016】

本発明の難吸水性種子の検出法は、種子を傷つけることなく、また、電子顕微鏡のような高価な機器を使用せずに、高い精度で難吸水性種子を検出することができる。

【0017】

本発明の難吸水性の解消法は、種子の品質を低下させることなく、また、高圧処理装置のような高価な機器を使用せずに、種子の難吸水性を解消することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】圧縮によって種子の弾性率を測定する原理を示す図。

【図2】水分含量の異なる種子の歪みと圧縮力との関係を示す図。

【図3】種子の弾性率から難吸水性種子を検出する装置を模式的に表した図。

【図4】種子の衝突音から難吸水性種子を検出する装置を模式的に表した図。

【図5】難吸水性種子及び正常種子の衝突音の音響スペクトルを示す図。破線で囲まれた数字は8kHz以上の音響スペクトルの総和量を表す。

【図6】種子の近赤外光吸収量から難吸水性種子を検出する装置を模式的に表した図(左)及び水の吸光度曲線を示す図(右)。

【図7】ダイズの難吸水性種子と正常種子における遊離フェニルプロパノイド量を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明を詳細に説明する。

【0020】

本発明の難吸水性種子の検出法は、分子状態の水又は霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理をし、難吸水性種子と正常種子との間に水分含量の差異を生じさせる工程、及び前記種子群に含まれる個々の種子について、水分含量の差異に連動する特性を測定又は解析し、その測定又は解析結果に基づき難吸水性種子を特定する工程を含むことを特徴とするものである。

【0021】

本発明の難吸水性種子の検出法は、難吸水性種子が多く発生する豆類への適用が想定され、このような豆類としては、ダイズ、アズキ、インゲン、エンドウ、ササゲ、ムクナ、ソラマメ等が例示できる。

【0022】

10

20

30

40

50

本発明において「分子状態の水」とは、液体の水のように水分子が集合せず、単一の分子として存在する状態の水をいい、例えば、水蒸気状態の水のことをいう。

【0023】

本発明において「霧状の水」とは、空気中に浮遊することができるほど粒径の小さい液滴状態の水のことをいう。液滴の粒径は、空気中に浮遊できる限り限定されないが、通常、0.1~12 μ mであり、好ましくは、0.3~9 μ mである。

【0024】

分子状態の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理としては、例えば、難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く処理などを挙げることができる。ここで「加湿条件」とは、何らかの手段により、湿度を上昇させた条件を意味する。加湿条件における湿度は、難吸水性種子の水分含量を上昇させることのできる相対湿度、即ち、(難吸水性種子の水分活性 $\times 100$)%を超える相対湿度とすることができる。具体的には、相対湿度は、通常、40~100%、好ましくは、50~75%とすることができる。難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く時間は、特に限定されないが、通常、10~48時間、好ましくは、20~26時間とすることができる。加湿条件に置く処理中、温度を制御してもよく、制御しなくてもよい。温度を制御する場合、通常、10~35 とし、好ましくは、20~25 とする。

【0025】

難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く処理としては、例えば、難吸水性種子を含む種子群を湿度調整した容器内に置く処理や、難吸水性種子を含む種子群を分子状態の水を生じさせる物と共に密閉容器内に置く処理などを挙げることができる。ここで、「湿度調整した容器」としては、一般的な恒温恒湿槽のほか、温度調節機能がついている野菜保存庫、食品加工用の低温(100 未満)スチーム発生装置などを使用することができる。また、「分子状態の水を生じさせる物」としては、難吸水性種子に分子状態の水を供給できるものであれば特に限定されず、シリカヒドロゲル、タピオカ、水を含ませた高吸水性高分子資材などを使用できる。また、難吸水性種子と同種の種子に水を供給し、水分含量を高めた種子(高水分種子)も「分子状態の水を生じさせる物」として使用することができる。このような高水分種子は、種子の目標水分をカビ発生限界と言われる水分活性0.8未満となるように設定し、霧状にした一定量の水を攪拌しながら与えることで調製できる。この「分子状態の水を生じさせる物」の使用量は、使用する物によって異なるが、例えば、高水分種子を使うのであれば、難吸水性種子を含む種子群の重量に対して20~50重量%程度の「分子状態の水を生じさせる物(高水分種子)」を使用することができる。

【0026】

霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する処理としては、例えば、霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に散布する処理などを挙げることができる。散布は、一時的、連続的、間欠的のいずれでもあってもよい。連続的又は間欠的に散布する場合、その散布時間(間欠的に散布する場合は各散布時間の合計時間)は特に限定されないが、通常、1~10時間、好ましくは、2~5時間とすることができる。散布する水の量が多いと、種子が膨潤し、品質が低下してしまうので、散布量は、吸水性種子を含む種子群の重量に対して1~5重量%程度とすることが好ましい。

【0027】

水分含量の差異に連動する特性は、難吸水性種子を特定できるものであればどのようなものでもよく、物理的特性であっても化学的特性であってもよく、また、力学的特性であっても電磁気学的特性であってもよい。

【0028】

このような特性としては、例えば、実施例2で検証された種子の弾性率を上げることができる。上述した水供給処理後の難吸水性種子は正常種子よりも弾性率が高いので、種子の弾性率を測定することにより、難吸水性種子を特定できる。種子の弾性率の測定は、既知の方法に従って行うことができる。例えば、種子を上方向から圧縮し、一定距離圧縮した際の種子の圧縮反力を測定することにより行うことができる(この場合、難吸水性種子の方が正常種子よりも圧縮反力が大きくなる。)。また、種子の厚さにばらつきがある場

10

20

30

40

50

合は、圧縮距離ではなく、歪み(%)($= (\text{圧縮距離} / \text{種子厚}) \times 100$)を一定にして、圧縮反力を測定してもよい。このような方法以外にも、種子を上方向から圧縮し、一定の圧縮反力を示した時の圧縮距離を測定することによっても難吸水性種子を特定できる(この場合、難吸水性種子の方が正常種子よりも圧縮距離が短くなる。)。このような測定法は、図3に示した装置を用いて行うことができる。

【0029】

難吸水性種子を特定するための特性としては、実施例3で検証された種子を物体と衝突させた際の衝突音を挙げることもできる。上述した水供給処理後の難吸水性種子の衝突音は、正常種子の衝突音よりも、高い周波数成分を多く含んでいるので、この衝突音を音響学的に解析することにより、難吸水性種子を特定できる。種子の衝突音の音響学的解析は、既知の方法に従って行うことができ、例えば、図4に示した装置を用いて行うことができる。また、図4に示した装置では、衝突音の振動検出にマイクロホンを利用しているが、振動の検出方式は特に限定せず、たとえば加速度センサ、 piezo素子、圧電ゴムなども利用可能であり、検出器の位置関係も特に限定せず、たとえば試料送出配管にそれらの検出器を取り付けて配管と種子の衝突による振動を検出する、あるいは直接検出器に種子を衝突させて生じる震動を検出する、等の方法により、同様の装置を実現可能である。種子と衝突させる物体は、解析可能な衝突音を発生させることができる程度に硬い材質からなるものでよく、例えば、木、金属、ガラスなどからなるものでよい。実施例3では、8kHz以上の周波数領域においての難吸水性種子と正常種子に違いが表れていたが、この違いが生じる周波数の領域は、種子の種類、衝突させる物体の種類により異なるものになると考えられる。従って、難吸水性種子特定のために利用する周波数領域は、8kHz以上の周波数領域とは異なる領域、例えば、1kHz以上の周波数領域としてもよい。また、難吸水性種子特定のために利用する周波数領域は種子表面の自由振動数以上の周波数領域としてもよい。

【0030】

難吸水性種子を特定するための特性としては、実施例4で検証された種子の近赤外光の吸収量を挙げることもできる。上述した水供給処理後の難吸水性種子は、正常種子よりも、水分含量が低くなっているため、水分子に吸収され易い近赤外光や波長 $1.45\mu\text{m}$ や $1.94\mu\text{m}$ の光の吸収量を測定することにより、難吸水性種子を特定できる。これらの光の吸収量の測定は、既知の方法に従って行うことができ、例えば、図6に示した装置を用いて行うことができる。

【0031】

難吸水性種子を特定するための特性としては、上記以外にも、対向電極間に種子を置いたときに生じる水分量に応じた誘電率変化、非特許文献5に示されたマイクロ波、あるいは核磁気共鳴(MRI)を利用して実現可能である。

【0032】

本発明の種子の難吸水性解消法は、分子状態の水又は霧状の水を難吸水性種子に供給する工程を含むことを特徴とするものである。

【0033】

適用する種子の種類、「分子状態の水」及び「霧状の水」の意味は、上記の難吸水性種子の検出法と同じである。

【0034】

分子状態の水を難吸水性種子に供給する工程としては、例えば、難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く工程などを挙げることもできる。ここでいう「加湿条件」の意味は、上記の難吸水性種子の検出法と同じである。加湿条件における湿度は、難吸水性種子の水分含量を上昇させることのできる相対湿度、即ち、(難吸水性種子の水分活性 $\times 100$)%を超える相対湿度とすることができる。具体的には、相対湿度は、通常、40~100%、好ましくは、50~70%とすることができる。難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く時間は、上記の難吸水性種子の検出法よりも長くし、通常、3~30日、好ましくは、3~10日、更に好ましくは3~7日とすることができる。加湿条件に置く処理中、温度を制御し

10

20

30

40

50

てもよく、制御しなくてもよい。温度を制御する場合、通常、10～35 とし、好ましくは、20～25 とする。

【0035】

難吸水性種子を含む種子群を加湿条件に置く工程としては、例えば、難吸水性種子を含む種子群を湿度調整した容器内に置く工程や、難吸水性種子を含む種子群を分子状態の水を生じさせる物と共に密閉容器内に置く工程などを挙げることができる。「湿度調整した容器」及び「分子状態の水を生じさせる物」は、上記の難吸水性種子の検出法と同様のものを使用できる。また、「分子状態の水を生じさせる物」の使用量も上記の難吸水性種子の検出法と同様でよい。

【0036】

霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に供給する工程としては、例えば、霧状の水を、難吸水性種子を含む種子群に散布する工程などを挙げることができる。散布は、一時的、連続的、間欠的のいずれでもあってよい。連続的又は間欠的に散布する場合、その散布時間（間欠的に散布する場合は各散布時間の合計時間）は、上記の難吸水性種子の検出法よりも長くし、通常、3～30日、好ましくは、3～10日、更に好ましくは3～7日とすることができる。散布する水の量は上記の難吸水性種子の検出法と同様でよい。

【0037】

後述するように、分子状態の水等の供給により難吸水性が解消されるのは、分子状態の水等により種子の表面の酵素が活性化し、酸化重合したフェニルプロパノイドが分解されることによるものであると推測される。従って、酵素の作用を強め、より効果的に難吸水性を解消できるようにするため、重合物の構造が緩みやすいアルカリ条件や活性酸素供給のために、25%以上の酸素濃度を有する混合ガス、0.1～1%の重曹、3%以下の過酸化水素水、次亜塩素酸ソーダなどのガス状塩素発生剤、ダイズ種皮粉砕物などと混用することが好ましい。

【0038】

上述したように、本発明の難吸水性種子の検出法と難吸水性解消法は、水の供給に関し、供給処理をする時間以外は、同様に実施できるので、難吸水性種子の混在が疑われるロットに対しては、まず、本発明の難吸水性種子の検出法を実施し、難吸水性種子の混在量を把握し、その結果を見ながら、許容範囲を超えて難吸水性種子が存在する場合には、本発明の難吸水性解消法を実施することができる。

【実施例】

【0039】

以下に実施例をあげて本発明の構成を具体的に述べる（使用されているパーセンテージは全て重量パーセントである）。

〔実施例1〕

分子状態の水を難吸水性種子及び正常種子に供給することにより、両種子に水分含量の違いを生じさせ得ることを、次の方法を用いて検証した。

【0040】

2.3%の硬実（難吸水性）種子を含む市販のダイズ種子ロットに対して、温湿度制御可能な条件で分子状態の水を吸収させる実験を行った。種子平均水分9.2%のダイズ種子（百粒重：36g）200gを金網上に広げて、温度25 湿度95%に制御した送風恒温恒湿槽に24時間静置し、分子状態の水を緩慢に種子に吸収させた。続いて20gの処理後種子を取り出して200gの水に15時間浸せきし、形態変化の有無を指標として硬実を選別した（3反復）。浸せき操作により平均4個の硬実を確認し、これを135 で2時間乾燥することにより、乾燥前後の重量差から水分含量を推定した。一方、正常種子は吸水させなければ判別できないため、硬実の含有率を考慮して、無作為に選び出した種子20gの平均水分を測定し、正常種子の水分とした。その結果、分子状態の水を吸収したことにより、正常種子水分は14.2%に上昇したのに対して、硬実は8.8%であることを確認した。

【0041】

〔実施例2〕

種子の弾性率を調べることにより、難吸水性種子を特定できるかどうかを、以下の方法により検証した。

【0042】

正常種子の水分含量を段階的に増減させることにより、水分量の異なる正常種子群を調製し、市販の食品物性試験器により種子の水分含量と種子の弾性率の関係を調べた。具体的には、図1に示すように、食品物性試験器のプランジャーを種子に向かって一定距離（圧縮距離d）移動させた後（圧縮）、反対方向に移動させ（復元）、移動中の種子のプランジャーに対する圧縮時反力（この力はプランジャーの種子に対する圧縮力に等しい）を測定した（図2）。図2に示すように、水分量が増えるにつれて圧縮時反力（圧縮力）が減少した。このことから、種子の圧縮時反力を測定し、弾性率を求めることにより、難吸水性種子を特定できることが明らかになった。

10

【0043】

以上の結果に基づき、図3に示す難吸水性種子を検出する装置を考案した。この装置は、支持台1、回転ハンドル2、パルスモータ3、ボールねじ4、スライダ5、荷重計6とからなっている。回転ハンドル2を回転させることにより、ボールねじ4に取り付けられたスライダ5は上下方向に移動する（ねじ1回転につき上下方向に1mm移動する）。スライダ5には荷重計6が取り付けられており、スライダ5を下方向に移動させることにより、支持台1に置かれた種子7を荷重計6のプロープで圧縮することでき、また、このときの種子7のプロープに対する圧縮時反力を測定することができる。回転ハンドル2は、パルスモータ3の回転軸と直結しているため、回転ハンドル2を手で回すと、一定の回転角度ごとにクリック感（手応えの変化）が生じる（この装置では10分の1回転ごとにクリック感が生じるようになっている。）。

20

【0044】

この装置を用いて、水分含量を13%に調製したダイズ正常種子及び水分9%程度の難吸水性種子を圧縮し、荷重計6のプロープの先端が種子7に接触してから圧縮時反力が10kgfに到達するまでのクリック数を数えた。その結果、正常種子では15~23クリックであったのに対して、難吸水性種子ではすべて10クリック以下であった。この結果は、同じ応力（圧縮時反力）を対して、正常種子の方が難吸水性種子よりも歪み易い（クリック数が多い）ということ、即ち、弾性率が低いということを示している。

30

【0045】

〔実施例3〕

種子を物体と衝突させた際の衝突音を解析することによって難吸水性種子を検出する方法を考案し、この検出法の有効性を次の方法で検証した。

【0046】

固体の持つ振動エネルギーは、加えられた変位の二乗に比例して大きくなると同時に、復元の際に発生する振動周波数が増大する。実施例2に記載したように、種子水分の上昇に応じて種子の弾性率が減少することから、種子よりも十分に固い物体に種子が衝突した際には、水分含量の低い（硬い）種子ほど大きな変形（=表面の変位）を相手側に生じさせる。この変形により発生する衝突音の音響学的解析により、水分の多寡を判別することができる。試作した装置はマイクロホンとFFT機能付きデジタルオシロスコープから構成され、高さ10cmからダイズ種子を1粒落下させたときの衝突音をマイクロホンにより収集し、1~20kHzの範囲でFFT解析するものである（図4）。実験の結果、水分調整した正常種子と硬実の間には8kHz以上の周波数成分に違いが現れ、8kHz以上の音響エネルギーを積算することで正常種子と硬実を判別できることが示された（図5）。

40

【0047】

〔実施例4〕

図6に示すように、近赤外光は水分子に吸収されやすく、特に波長1.45 μm と1.94 μm に吸収のピークが存在するので、これを利用して、種子ごとの水分量を推定することができる。図示した装置は、光ファイバーにて誘導した近赤外レーザーを種子に照射し、同じファイバー経由で戻ってくる反射光量を測定することにより、水分子によるエネルギー吸収量

50

(すなわち水分量)を推定する装置である。当該装置を用いて、水分調整した正常種子(水分13.3%)と硬実(水分8.8%)を判別する方法を試行した結果、正常種子は硬実に比べて高水分と判定された。

【0048】

〔実施例5〕

細胞壁の代表的な構成成分はセルロースとペクチンであることは公知であるが、これら分子間を架橋して支える様々な物質が必須であることもまた公知である。たとえば糖質から生成される二次代謝産物であるキシログルカンは細胞壁に存在し、難消化性であることが知られていると同時に、麦では製粉性(粉碎性などの指標)に影響を与えることが知られている。不透水性を担うと推定されているスペリンは、キシログルカンの重合体であるが、その分子架橋には葉や種皮などのクチクラ層に集積される二次代謝産物であるフェルラ酸等のフェニルプロパノイドが関与し、フェノールオキシダーゼ等により酸化重合することで撥水性の高い重合体となる。フェニルプロパノイドは水溶性物質であり、乾燥に伴う種子内の水分移動にリンクして生成場所から移動し、最終的には水移動最終端である種皮や、あるいは種子と茎をつなぐ維管束の束である付着部に集積する。植物一般に、種皮直下や付着部では様々な酵素活性が高く、各種オキシダーゼ群もまた例外ではない。

10

【0049】

硬実の不透水層はこれら二次代謝産物の集積・重合に起因するとみられ、これを以下の実験により検証した。未重合で遊離したフェニルプロパノイド分子は多くが環状構造をしており、過酸化水素などのラジカル源により開環反応が起こる。そこで発生した余剰電子のエネルギーが光子として放出されることから、微弱発光測定法により試料中の遊離フェニルプロパノイド量を推定することができる。当該手法により、ダイズの硬実と正常種子における遊離フェニルプロパノイド量を比較した結果が図7である。試料として中国産と米国産のダイズ(別々の品種であり、それぞれ硬実混入率は4.6%と3%)を用い、硬実の抽出は前出の吸水による形態変化の有無を指標として実施した。試料ダイズ種子を微粉碎して開口0.2mmの篩を通した粉末試料0.05gを、マイクロテストチューブ内で90%エタノール0.8mLに懸濁し、3%過酸化水素水0.2mLを加えた直後の微弱発光過程を計測した。正常種子としては無作為抽出した種子(硬実と正常種子の混合物)の粉碎物で代用した。この実験により、産地にかかわらず、正常種子は硬実に比べて遊離フェニルプロパノイドの存在比率が高く、硬実種子では重合が進んでいるために遊離フェニルプロパノイド量が減少していることが確かめられた。

20

30

【0050】

〔実施例6〕

実施例5の結果から、種子が難吸水性になる原因は、フェニルプロパノイド重合体が種子表面を覆うことであると推測される。前述のように、フェニルプロパノイドの重合には酸化酵素が関与していることは公知であるが、同時に、多くの植物種皮に存在するペルオキシダーゼは活性酸素を反応基質として与えることにより上記重合体を分解することもまた公知である。例えば、Magriらはダイズ種皮の粉碎物に含まれるペルオキシダーゼが、水質浄化で問題となる難分解性のフェノール類を効率的に分解する資材として有効であることを報告している(Magri, M.L.ほか, Biocatalysis and Biotransformation, Vol.25(1), 98-102(2007))。活性酸素の発生には、動植物が必ず有している細胞中のミトコンドリア呼吸酵素群とともに、リポキシゲナーゼなどの脂質酸化酵素も関与している。種子が発芽する際には、吸水の妨げとなる強固な上記重合物を、これらの酵素群の協調動作により連鎖反应的に分解していると考えられる。したがって、活性酸素の供給と上記重合体の分解をになう酵素の活性化が難吸水性の解消には不可欠であることは論理的な帰結である。ただし酵素は通常、その構造中に水分子を含んだ状態にあってはじめて活性を示すことから、ごく僅かであれ、水分子が供給されなければ活性を発現することは不可能である。さらに種皮に含まれる酵素群は上記重合体に覆われた種皮組織の内部に存在するため、種皮組織内部への水分子の浸透がなければ、酵素活性を発現させることはかなわない。したがって、分子状態の水を長期にわたって難吸水性種子に供給することにより、ごく僅かで

40

50

あっても分解の起点となる酵素群の活性化をはかることで「分解 吸水」の連鎖反応を開始させ、種子の難吸水性は解消できると考えられる。このことを次の方法により検証した。

【 0 0 5 1 】

種子平均水分9.2%のダイズ種子（百粒重：36g）200gを密閉可能なポリ袋に入れ、種子平均水分14.8%に調製した種子200g加えて密閉し、25℃に室温制御された室内に静置して高水分種子から低水分種子への緩慢な水分移動を生じさせた。処理開始から2日後及び7日後に20gの種子を取り出して200gの水に15時間浸せきし、形態変化の有無を指標として硬実を選別した（3反復）。2日間の処理では20gあたり平均4個の硬実が存在していたが、7日間処理した場合には硬実がゼロであった。この結果は、2日間の処理では硬実のままであった種子が、種子水分活性が0.6程度の大量の種子と更に5日間混在して、高水分種子（正常種子）から低水分種子（硬実）へ分子状態の水が僅かに移動することにより、硬実状態が解消されたことを示す。

10

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 5 2 】

本発明における難吸水性種子の検出法及び難吸水性解消法は、主として食品加工・製造分野での利用が見込まれるが、農業における栽培時の出芽安定化という視点で、難吸水性による発芽遅延が問題となる植物種子への利用が見込まれる。

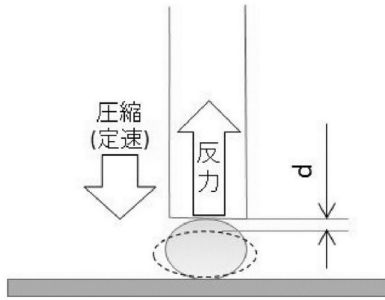
【 符号の説明 】

【 0 0 5 3 】

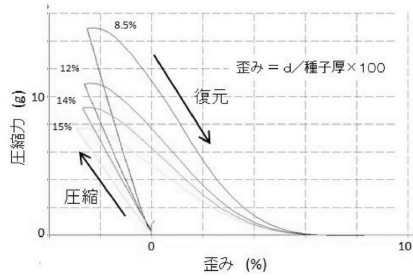
- 1 支持台
- 2 回転ハンドル
- 3 パルスモータ
- 4 ボールねじ
- 5 スライダ
- 6 荷重計
- 7 種子

20

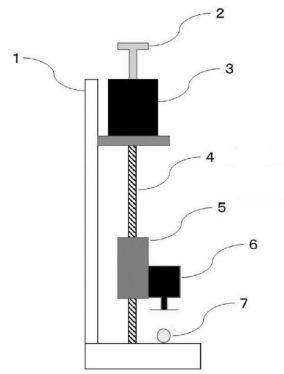
【図1】



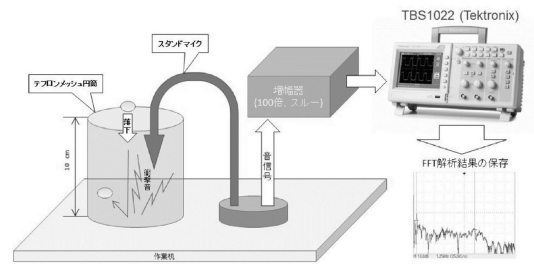
【図2】



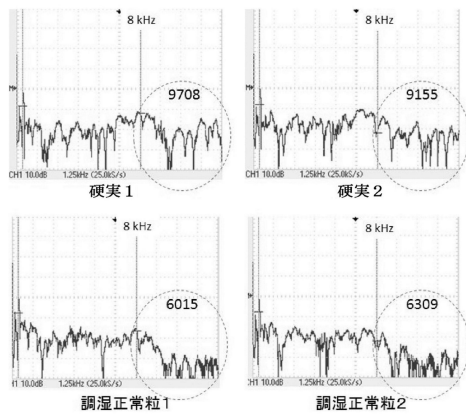
【図3】



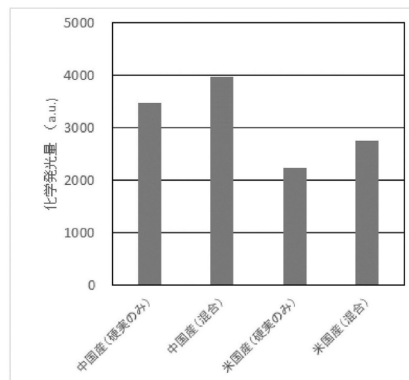
【図4】



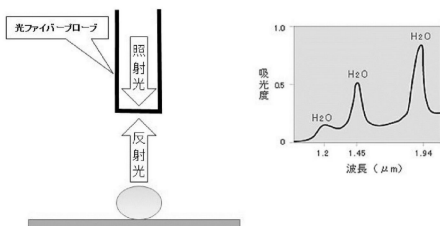
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 N 21/3554

(56)参考文献 特開昭50 - 107158 (J P , A)
特開2009 - 055864 (J P , A)
特開平08 - 242798 (J P , A)
特開2005 - 098811 (J P , A)
特開2012 - 070728 (J P , A)
特開2003 - 023890 (J P , A)
米国特許出願公開第2010 / 0047801 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

A 0 1 C 1 / 0 0
G 0 1 N 3 / 0 8
G 0 1 N 2 1 / 3 5 5 4
G 0 1 N 2 1 / 3 5 9
G 0 1 N 2 9 / 1 2