

動的ガス環境下における生糶の呼吸特性

胡, 文忠

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産システム科学講座生産流通科学研究室

安永, 円理子

九州大学大学院生物資源環境科学研究科農業工学専攻農産機械工学講座

内野, 敏剛

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産システム科学講座生産流通科学研究室

堀, 善昭

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門生産システム科学講座生産流通科学研究室

<https://doi.org/10.15017/21093>

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 56 (1), pp.53-58, 2001-10. 九州大学大学院農学研究院

バージョン：

権利関係：

動的ガス環境下における生籾の呼吸特性

胡 文 忠・安 永 円理子*
内 野 敏 剛・堀 善 昭

九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門
生産システム科学講座生産流通科学研究室
(2001年6月29日受付, 2001年7月11日受理)

Respiratory Characteristics of Rough Rice under Unsteady Atmospheric Condition

Wenzhong HU, Eriko YASUNAGA*, Toshitaka UCHINO
and Yoshiaki HORI

Laboratory of Postharvest Science, Division of Bioproduction System Science,
Department of Bioproduction Environmental Science,
Faculty of Agriculture, Kyushu University

緒 言

収穫後の生籾は高い籾温と高含水率状態であるため、活発な呼吸代謝を行っている。商品として流通するには高鮮度の品質保持のため、含有水分を低下させる乾燥作業が行われている。しかし、収穫直後から乾燥まで共同乾燥施設で滞荷を余儀なくされる時、高水分の籾は荷受コンテナ内で堆積状態にあるため、籾空隙間の酸素濃度減少にともなう嫌気呼吸や呼吸熱に起因する籾の品質劣化が問題となる。このときの籾周囲の環境は温度、湿度、ガス環境ともに一定ではなく、時間とともに動的に変化している。現在までに行われている研究(村田ら, 1991; 後藤ら, 1993; 河野ら, 1996; 疋田ら, 1996)では、乾燥方式と貯蔵品質および発芽に関する分野の研究が中心で、収穫直後の高含水率状態での生理活性についての研究は少なく、動的な環境の変化に対する呼吸特性の研究はなされていない。

そこで本研究では収穫直後の生籾を対象に、品質変化の先駆的指標となる呼吸速度をパウチ法(徐ら, 1993; 秋元ら, 1997)によって測定を行い、ガス環境、

温度および含水率の変化が呼吸特性に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1. 供試材料

測定に使用した生籾の品種、収穫地、含水率を表1に示した。収穫直後に研究室に搬送した後、実験温度である5℃, 10℃, 20℃, 30℃のインキュベータ内に

表1 供試材料の収穫地、品種および含水率

| 収 穫 地 | 品 種 | 含水率 (%d.b.) |
|----------|-------|----------------|
| 福岡県粕屋郡 | ヒノヒカリ | 43.7 |
| 福岡県粕屋郡 | ヒノヒカリ | 40.2 |
| 九州大学附属農場 | ヒノヒカリ | 39.3 |
| 九州大学附属農場 | ヒノヒカリ | 31.0 |
| 九州大学附属農場 | ヒノヒカリ | 27.4 |
| 福岡県粕屋郡 | ヒノヒカリ | 21.3 |
| 九州大学附属農場 | ユメツクシ | 44.4 |
| 九州大学附属農場 | ユメツクシ | 41.6 |

* 九州大学大学院生物資源環境科学研究科農業工学専攻農産機械工学講座

* Laboratory of Agricultural Process Engineering,
Department of Agricultural Engineering, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Science, Kyushu University
Corresponding author (E-mail: huxu@agr.kyushu-u.ac.jp)

それぞれ静置し、品温が安定したものを実験に供試した。実験は生籾収穫後6日以内に行い、収穫当日以外に実験を行ったものについては、その間の生籾は常温で自然乾燥させた。供試フィルムはガス透過性の極めて小さいラミネートフィルムを用い、20cm×15cm(表面積600cm²)の大きさに製袋し、実験に供試した。

2. 実験方法

呼吸速度の測定はパウチ法により行った。生籾は小袋の中に100g~300gを入れ、前述の設定温度の新鮮空気とともに封入してヒートシールで密封した。小袋の総体積は液体置換法によって求めた。生籾を入れた小袋は設定した温度のインキュベータ内にそれぞれ放置した。ガスサンプリングは小袋内のガス組成を経時的に1.0mlマイクロシリンジで0.2ml採取し、ガスクロマトグラフにより酸素、二酸化炭素、窒素濃度を測定し、得られたデータから呼吸速度推定法(秋元ら、

1997)により生籾の呼吸速度を算出した。

含水率の測定は10g粒-135℃-24時間法により行った。また、生籾の体積を求めるために、籾の真密度を比重瓶法(村田ら、1987)により測定した。

結果および考察

1. 動的ガス環境下における呼吸特性

含水率39.3% d.b.におけるガス濃度、呼吸速度および呼吸商(RQ)の経時変化を図1~図4に示した。横軸は時間、縦軸は呼吸速度とガス濃度を示している。

5℃の結果(図1)では、二酸化炭素濃度は初め、1.0%であったものが徐々に増加し、50時間後では5.0%となった。一方、酸素濃度は実験初期に20.4%から50時間後に14.5%となった。このようなガス環境変化に対し、二酸化炭素排出速度は実験開始に3.7ml/kg/hから50時間後に2.3ml/kg/hとなった。酸素消費速度は初め5.9ml/kg/hで、50時間後に3.9ml/kg/hと

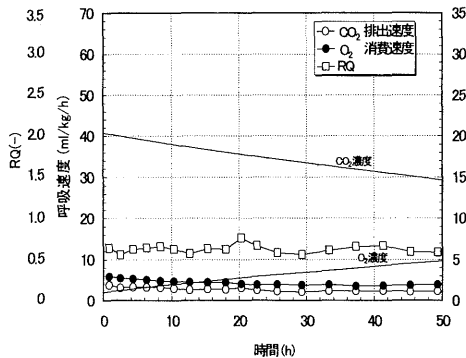


図1 生籾の呼吸速度、RQおよびガス濃度の経時変化(5℃)

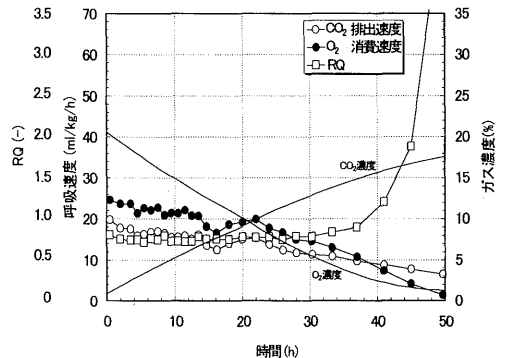


図3 生籾の呼吸速度、RQおよびガス濃度の経時変化(20℃)

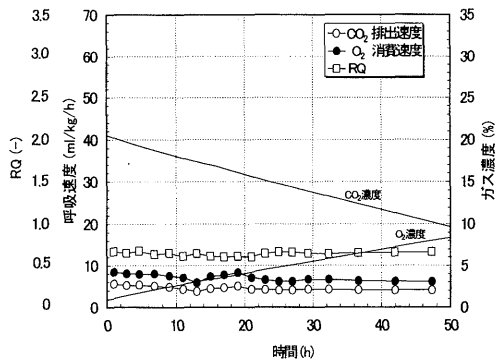


図2 生籾の呼吸速度、RQおよびガス濃度の経時変化(10℃)

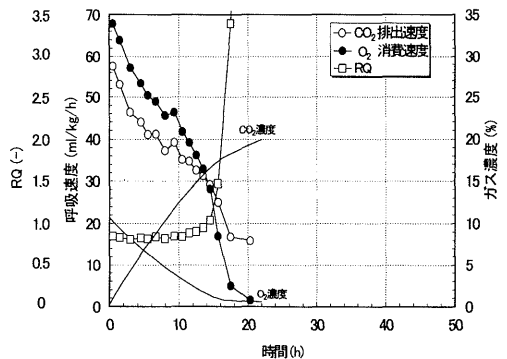


図4 生籾の呼吸速度、RQおよびガス濃度の経時変化(30℃)

なり、二酸化炭素排出速度と比較して大きな値を示した。また、RQは実験中終始ほぼ0.64前後の値を推移した。

10℃の結果(図2)は、ガス濃度および呼吸速度は共に5℃の結果と同様な変化傾向を示した。二酸化炭素濃度は初め0.9%、50時間後に8.4%となった。一方、酸素濃度は実験初期に21.5%、50時間後に9.7%となった。二酸化炭素排出速度は実験開始時の5.6ml/kg/hから50時間後には4.0ml/kg/hを示した。一方、酸素消費速度は、初め8.4ml/kg/hであったものが、50時間後に6.1ml/kg/hとなった。また、RQは時間当たりのガス濃度の変化が5℃の場合よりも大きかったにもかかわらず、5℃とほぼ同様な結果であり、0.67前後で推移した。このことから、5℃および10℃下で二酸化炭素濃度と酸素濃度が変化しても、呼吸速度は大きな変化が見られなかった。RQはほぼ一定値を推移することが認められた。

20℃の結果(図3)では、二酸化炭素濃度は実験初期に0.8%であったものがほぼ直線的に増加し、50時間後に17.9%となった。一方、酸素濃度は実験開始時に20.6%だったものが39時間までは直線的に減少し、2.6%となった。その後、緩慢な減少を示し、50時間まで1.2%となった。このガス環境変化に対し、二酸化炭素排出速度は実験開始に19.8ml/kg/hであったものが減少し、50時間後には6.5ml/kg/hを示した。一方、酸素消費速度は初め24.6ml/kg/hと二酸化炭素排出速度に比較して大きな値を示しているが、37時間後に10.8ml/kg/hとなる時点では、酸素消費速度と二酸化炭素排出速度の値の差はなくなった。それ以降においては酸素消費速度が急速に減少するが、二酸化炭素排出速度が緩慢に減少して両者は逆転し、50時間後に酸素消費速度は1.4ml/kg/hとなった。また、RQについてみると、実験開始から30時間までのRQは5℃、10℃の結果と同様、ガス環境の変化に係わらずほぼ一定で推移したが、0.8前後の高い値をとった。さらに酸素濃度が5.5%となる30時間後において、RQは徐々に増加傾向を示し、酸素濃度が2.6%以下となると、急激に増大した。20℃の結果については、5℃、10℃の結果と異なり、二酸化炭素濃度の増加および酸素濃度の減少に伴い、呼吸速度は抑制されることが見られた。RQは酸素濃度5.5%以上では5℃、10℃の結果と同様な傾向を示していたが、酸素濃度5.5%以下の環境で大きく増加し、2.6%以下となるとRQが1を超えることから嫌気呼吸を行うことが認められた。

30℃の結果(図4)では、二酸化炭素濃度は、初め

0.2%から急速に増加し、15時間後に17.0%となった後に、その増加傾向は緩やかになり、22時間後には19.9%となった。一方、酸素濃度は実験初期に21.3%を示していたが急激に減少し、15時間後には2.2%となり、その後、漸減した。このガス環境変化に対し、二酸化炭素排出量は実験開始から19時間まで直線的に減少し、その後に緩慢な減少を示した。酸素消費速度は実験開始に67.8であったが、18時間まで急速に減少し、その後減少傾向は緩やかとなった。RQについては20℃の結果と同様な変化傾向を示し、RQは実験開始から10時間までは0.85前後の値を推移し、酸素濃度が7.2%となる10時間後から徐々に増加し始め、酸素濃度が2.2%以下となると、急増した。

以上の結果から、各温度下によって動的ガス環境が生初の呼吸速度に与える影響がそれぞれ異なることが明確になった。低温域での5℃、10℃の結果はよく似た傾向を示し、呼吸速度は動的に変化するガス環境に対して、大きな変化が見られなかった。高温域での20℃、30℃の結果から二酸化炭素濃度増加、酸素濃度減少のガス環境下で呼吸抑制の効果が認められた。20℃で実験開始30時間後に酸素濃度5.5%以下となると呼吸抑制が見られ、2.6%に低下すると、RQは急速に増加した。30℃の場合は、二酸化炭素排出速度と酸素消費速度は急速にガス環境が変化するとともに実験開始から19時間まで直線的に減少することが示された。酸素濃度5%以下になると、RQは急速に増加した。嫌気呼吸の時の呼吸商は無限度の値をとるとされているが(増田ら、1988)、本研究では20℃、30℃下でRQが急速に増加することから有気呼吸に必要な酸素量に対する供給が不足するため、嫌気呼吸を行ったと考えられる。さらに、実験終了時、小袋を開封したところ、発酵臭が感じられたことから嫌気呼吸が裏付けられた。

今回の実験では生初の正常呼吸の範囲でRQの値は5℃で0.64、10℃で0.67、20℃で0.80、30℃で0.85前後であることが示された。粗の成分は糖質が70%以上を占めるため、基本的には糖が呼吸基質の中心と考えられる。糖質が呼吸基質として使われる時、RQは約1であると言われているが(Strafford, 1975)、本研究の結果では、RQは1よりもかなり低い値を示した。この原因は次のように考察される。RQによってどのような物質が呼吸基質となっているかをある程度推定することができ(Strafford, 1975)、脂質を呼吸基質とする場合、脂質が完全に分解すると呼吸商は0.7となるが、脂質分解の初期段階では糖が生成される。この反応が起こるとき、酸素を消費するが二酸化

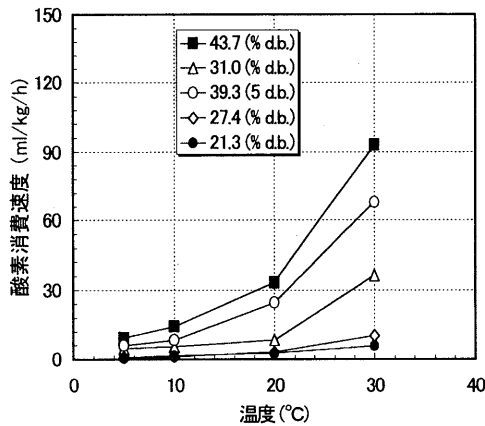
炭素を排出しないので、結果として呼吸商は1よりも低い値をとる。また、呼吸によって生じた二酸化炭素が組織内で炭酸同化され、外に放出されないとき、RQは小さくなる。果実については、二酸化炭素を使って有機酸合成をするともいわれているが(苦名ら, 1977), いずれにせよ、呼吸商を低下させる原因となる。さらに、呼吸の際、呼吸基質が一つでなく、二つ以上の基質により複合的な呼吸が行われることも考慮すべきである。これらの理由から、本研究における初呼吸商は低い値となったものと思われる。

2. 通常大気下における呼吸特性

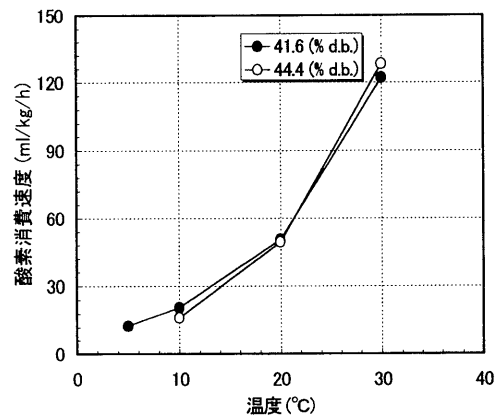
2.1 呼吸速度と温度の関係

通常大気下での二酸化炭素排出速度および酸素消費

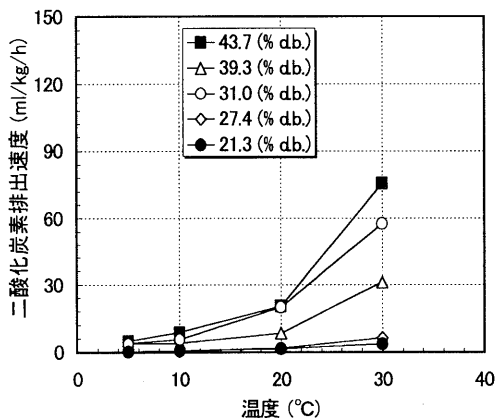
速度と温度との関係を図5～図6に示した。ヒノヒカリ(含水率43.78% d.b.)では、温度上昇にともない、二酸化炭素排出速度は4.8ml/kg/hから75.5ml/kg/hとなり、酸素消費速度は9.3ml/kg/hから93.0ml/kg/hまで増加した(図5)。また、ユメツクシ(含水率41.6% d.b., 44.4% d.b.)では、温度が高くなるにしたがい、二酸化炭素排出速度は6.1ml/kg/hから104.1ml/kg/hまで増加し、酸素消費速度も12.5ml/kg/hから122.0ml/kg/hまで増加した(図6)。この結果は同程度の含水率の品種ヒノヒカリと比較してやや大きい値を示した。一方、低含水率域(21.3% d.b.)でのヒノヒカリの結果については、5℃下で二酸化炭素排出速度は0.2ml/kg/hを示し、30℃下で3.6ml/



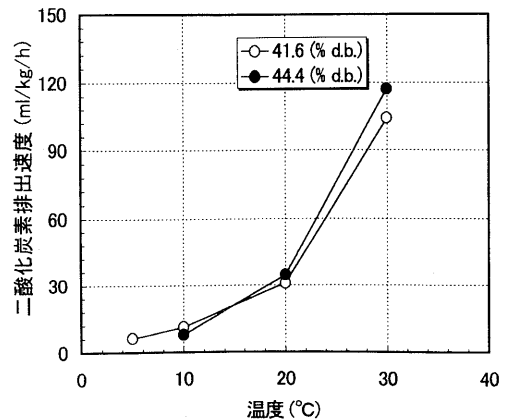
A 温度と酸素消費速度の関係



A 温度と酸素消費速度の関係



B 温度と二酸化炭素排出速度の関係



B 温度と二酸化炭素排出速度の関係

図5 温度と生初の呼吸速度の関係(ヒノヒカリ)

図6 温度と生初の呼吸速度の関係(ユメツクシ)

kg/hとなったが(図5), この値は同温度下における高含水率域での二酸化炭素排出速度に比べて極めて低い値であり, また温度に対して顕著な増加は認められなかった. 酸素消費速度についても同様な結果が示された.

2.2 呼吸速度と含水率の関係

呼吸速度と含水率の関係は種実中に含まれる水の形態と関連がある. 籾中の水分は自由水と束縛水に分けられ, 自由水の含量と籾の生理活性の関係は密接であるといわれている(村田ら, 1991). ヒノヒカリについては, 各温度下で二酸化炭素排出速度と含水率の関係は図7に示す通りで, 含水率が高くなるに従い二酸化炭素排出速度は大きくなる傾向がみられ, また, 高温域でこの増加傾向が大きいことが認められた. さ

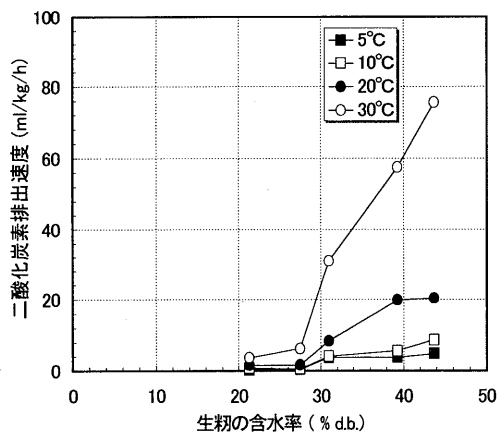


図7 含水率と二酸化炭素排出速度の関係(ヒノヒカリ)

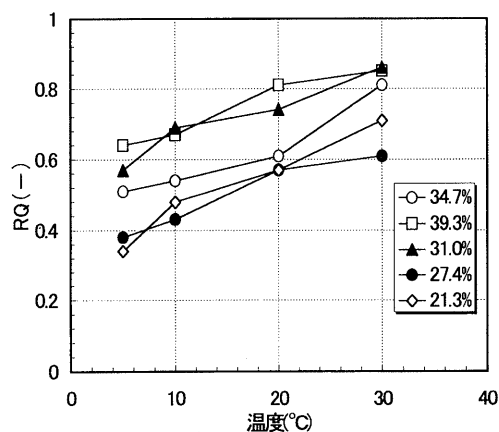


図8 RQと温度の関係(ヒノヒカリ)

に, 後藤ら(1993)は籾の呼吸速度は水分含有量に大きく依存することを報告した. 疋田ら(1996)は籾について含水率が23~25% d.b.を境にして呼吸速度の増加割合が大きく変化したとしている. 他に, 大豆によっても同様な現象が見られている(Ishidas, et al, 1988). Vertucciら(1984)は籾の自由水が出現し始める含水率は23~25% d.b.で, それ以上の領域では自由水が増加するにつれて呼吸速度は増加の割合を急速に増すものと考えた. 本研究の結果においても28% d.b.を境に呼吸速度は, 特に高温域で顕著に増加しており, 疋田ら(1996)の報告よりも急増する含水率が若干高いものの同様な傾向であった. これにより, 高含水率の籾の組織に自由水含量が高いため, 呼吸速度が高くなると考えられる. また, 含水率39.3% d.b., 5°C下での二酸化炭素排出速度(3.74ml/kg/h)は, 含水率21.3% d.b., 30°C下での二酸化炭素排出速度(3.56ml/kg/h)と比較してほぼ同等の値であった. この結果から高含水率の生籾であっても, 5°Cに下げることではほぼ同様な効果を得ることができるといえる. その理由として, 低含水率では含有水分の大部分が結合水であるためと考えられる.

2.3 呼吸商の温度との関係

ヒノヒカリの実験初期における呼吸商と温度の関係を図8にプロットした. この図から温度が上昇するとともに呼吸商が増大する傾向が認められた. 各含水率においても同様に, 呼吸商の温度依存性がみられ, これはユメツクシにおいても同様な結果があった. これは既報(胡ら, 1999)での生シイタケについての結果と一致したが, これは温度により, 呼吸基質の変化, あるいは籾の内部の酸素が不足のため一部無気呼吸が発生していることなどが原因であると考えられる.

摘 要

動的ガス環境下における生籾の呼吸速度をパウチ法によって測定し, ガス環境, 温度および含水率の変化が呼吸速度と呼吸商に及ぼす影響を検討した. その以下のような知見を得た.

- 1) 二酸化炭素濃度が増加し, 酸素濃度が減少する動的ガス環境下における呼吸速度は高温域の20°C, 30°C下で抑制されることが認められた. 呼吸商については, 酸素濃度5.5%以上で温度によらずほぼ一定で, 酸素濃度5.5%以下になると嫌気呼吸を起こして急増した.
- 2) 通常大気環境下では呼吸速度は温度が上昇すると呼吸速度が増加し, とくに高含水率では, この増加傾向が大きいことが認められた.

3) 呼吸商は温度上昇にともない増加することが示された。

文 献

- 秋元浩一・前澤重禮 1997 フィルム包装された青果物の呼吸速度. 農機誌, 59: 109-116
- 後藤清和・三輪精博・山田勝義 1993 穀粒の呼吸特性に関する研究 (第一報). 農機誌, 55: 51-57
- 後藤清和・三輪精博 1995 農産物性研究 (第5集) 農産物の物性, 品質評価および流通に関する総合研究. 農業機械学会編, 37-54
- 正田慶夫・韓東海・安部武美 1996 籾の呼吸速度に関する研究. 農機誌, 58: 25-30
- 籾伊正 1975 植物の休眠と発芽. 養賢堂, 東京
- Ishida H., H. Kano, T. Kobayashi and T. Yoshida 1988 Analysis of physical states of water in soybean seeds by NMR. Agric. Biol. Chem., 52: 2777-2781
- 徐歩前・秋元浩一・前澤重禮 1993 非定常状態のフィルム包装におけるガス濃度変化のシミュレーションモデル. 日食低温誌, 21: 211-216
- 河野俊夫・中野浩一・喜田環樹・村田 敏・内野敏剛・井上真一 1996 赤外線ガス分析計による籾・小麦の呼吸特性の測定. 農機誌, 58: 21-29
- 胡 文忠・安永円理子・秋元浩一・内野敏剛・中野浩平 1999 生シイタケの呼吸特性. 農機誌, 61: 105-110
- 増田芳雄 1988 植物生理学 [改訂版]. 培風館, 東京
- 村田 敏・河野俊夫・伊賀上隆・小出章二・田中史彦 1991 禾穀類穀物の呼吸特性. 農機誌, 45: 61-65
- 村田 敏・田川彰男・石橋真人 1987 穀粒の熱および水分による体積変化. 農機誌, 49: 435-442
- 柴田萬年訳 1975 Strafford, G. A.: 植物生理要論. 共立出版, 東京
- 苦名考 1977 果実の生理—生産と利用の基礎. 養賢堂, 東京
- Vertucci C. W. and A. C. Leopold 1984 Bound water in soybean seed and its relation to respiration and imbibitional damage. Plant Physiol., 75: 114

Summary

The respiration rate of rough rice under unsteady atmospheric condition was measured by the pouch method. The effects of the change in gas concentration, temperature and moisture content on respiration rate and respiratory quotient were also examined. Respiration rates of rough rice were greatly repressed under conditions of increase in carbon dioxide concentration and decrease in oxygen concentration at high temperature of 20 and 30°C. Respiratory quotient was almost fixed at over 5.5% oxygen concentration without changing with the temperature. Anaerobic respiration was occurred at less than 5.5% oxygen concentration, in which respiratory quotient increased rapidly. At atmospheric condition, respiration rate of rough rice increased with rise in temperature; especially this increasing tendency was great at high moisture content. Respiratory quotient was also increased with rise in temperature.