

## 多収穫米を活用したバイオエタノールの生産

川向 誠<sup>1</sup>・小葉田 亨<sup>2</sup> 生物資源科学部 生命工学科<sup>1</sup> 農業生産学科<sup>2</sup>

## 目 的

全水田面積の約40パーセントが転作田となり、その多くが休耕田や放棄田となっている。それら休耕田をバイオエタノール生産のために多収穫米の栽培に利用することは、休耕田の有効活用という農業問題、リサイクル可能なエネルギーを生産することによるCO<sub>2</sub>の削減という環境問題、石油、原子力エネルギーの依存度を下げる方策としてのエネルギー問題の3つの問題の解決策となりうる。しかしながら、食用米の価格は230~400円kg<sup>-1</sup>であり、現在のガソリン価格の水準にまでエタノールの価格を下げるためには、多収穫米の価格を20円kg<sup>-1</sup>に下げることが必要<sup>1)</sup>。そこで、品種を日印交雑種のタカナリを用い、施肥回数を一回に、近年価格上昇が著しいリン酸およびカリ肥料を無施用にする栽培法を取った。また、前年度収穫したワラを水田に還元した場合としない場合について調査した。同時に、多収穫米から、効率よくエタノールを生産するための技術開発が必要であり、酵素の選定、酵母の選定、反応条件の検討を行った。

## 方法、結果-1

昨年度に引き続き同様の処理を本学の同一水田に与え、イネの成長と収量を調査した。水田は、前年度の収穫量に相当するワラを田植え前に裁断して還元する区と持ち出した区に分けた。そして、それぞれの水田に田植え機で移植後、リン酸とカリ肥料を8gm<sup>-2</sup>与える区と何も与えない区にさらに分割し、三反復し、分割区法とした(表1)。穂首分化期、出穂期、完熟期に連続した5株の草丈、茎数、SPAD、葉身と茎の乾物重を測定した、収量調査として、収穫期に連続した10株を採取して、収量及び収量構成要素を算出した。その後、各器官別にサンプルミルで粉碎し、Rapid-Nで窒素分析を行った。

その結果、三要素区と窒素のみ区との間には両年とも有意な効果はなく、2010年のみワラ還元区に有意な効果があった。そこで、窒素のみ区について見ると、ワラの有り無しの収量への差が有意であった。これは、ワラ還元によって籾数が増加したことによる。2009年では、出穂期まではワラ還元区とワラ無区でほぼ同じ生育を示し、2010年ではワラ還元区で生育が劣るものの、その後徐々に全乾物重が増加し、収穫期の乾物重ではワラ還元区で大きく秋まさりの生育を示した。ワラ還元区では、

登熟期に葉色が保たれ、乾物生産も高い傾向にあった。すなわち、ワラ還元区では生殖成長期の全乾物重の増加が大きく、一方、葉色を示すSPAD値の減少が緩やかであり、個体群成長速度でも窒素施肥後から登熟期にかけて速かったなどから、生殖成長期においてワラ還元の効果があった。ただし、収量は2009年度に比べ低い水準となった。全生育期間中の、個体群成長速度(CGR)は、ワラ還元が特に生殖成長期に入ってから全生産の増加に貢献したことを示した(表1)。

収穫指数(玄米収量/全生産量)はワラ還元区でやや高い傾向があることから、CGRの増加による全生産量の増加(表1)および乾物分配が高いことが収量増加に貢献したとみなされる。

本結果は、ワラの還元によって高価なリン酸やカリ肥料を施用しなくても窒素施肥のみで収量が保たれることを示した。そして、リン酸やカリ肥料を与えないで連続したワラ持ち出しは収量を減少させることが示された。

施肥を窒素一回のみにし、リン酸やカリ肥料を施用しない本省力的方法は、ワラの還元を組み合わせることで収量水準を落とさずに生産が可能であることを示した。本方法は、肥料コストと施肥のための労働コストを削減できるため、管理が軽減できるとみなされる。ただし、エネルギーおよびコスト投入の多くを占める農業機械の稼働効率を向上させるための大規模化が不可欠である。それでも、さらなるコスト削減は限界があるため、米バイオエタノール生産には公的補助が必要であることは言うまでもない。

表1 ワラ有無と三要素及び窒素のみの施肥法による個体群成長速度

年	時 期	ワラ無し区		ワラ区	
		N	NPK	N	NPK
2009年	移植後-出穂期	10.52	11.03	10.40	11.88
	幼穂発育期	38.31	40.99	34.65	42.42
	登熟期	9.42	5.62	12.74	12.32
2010年	移植後-出穂期	13.12	12.14	9.65	11.37
	幼穂発育期	23.16	20.73	16.33	20.21
	登熟期	6.86	9.23	16.45	14.90

\* データは3反復の平均値を用いた。

施肥量は窒素、リン酸、カリを各々8gm<sup>-2</sup>CGR(gm<sup>-2</sup>・day<sup>-1</sup>)=ΔW(gm<sup>-2</sup>)/ΔT(day) ΔW=全乾物重 ΔT=日数

## 方法、結果-2

多収穫米の効率的で安価な生産の検討とともに、エタノール製造を経済的かつ効率的に行うために必要な条件検討を行うことは必要である。そこで、多収穫米よりの効率的なエタノール製造のために以下の点について検討を試みた。

- 1) 米の $\alpha$ 化の条件について：多収穫米を粉砕したものとししないものについての $\alpha$ 化の差異， $\alpha$ 化の最適化のための多収穫米と水の混合比率について，検討した。
- 2) 玄米の液化について：液化酵素を使用することによる液化速度の違い，適切な液化酵素の種類と添加量について，最適な米と水の混合比率，液化温度，液化時間について検討した。
- 3) 糖化について：適切な液化酵素，糖化酵素の種類と添加量，最適な糖化のための反応温度，糖化時間について検討した。
- 4) 発酵について：適切な酵母菌の種類，酵母菌毎のエタノール生産性，温度に対する耐性試験，最適な発酵のための反応温度，発酵時間について検討した。

その結果，多収穫米は粉砕しないよりもミキサーなどで，粉砕した後に加熱した方が効率よく $\alpha$ 化が進行した。多収穫米の $\alpha$ 化と液化を個別に行なうよりは， $\alpha$ 化と液化を同時に行うために，耐熱性の $\alpha$ アミラーゼを用いて，90度2時間反応させることにより液化させる方法が効率的であった。 $\alpha$ アミラーゼのみでは完全に糖化はされないのので，耐熱性の $\alpha$ アミラーゼを使用した後に，グルコアミラーゼの糖化酵素を使用して糖化させるのが効率的であった。同じグルコース量では廃糖蜜からエタノール生産に用いられている *Candida utilis* 396 株がエタノールの生産性はよいが，米や残飯を材料とした場合は清酒製造に使われている酵母の方がエタノールの生産性がよいことがわかった (図1)。

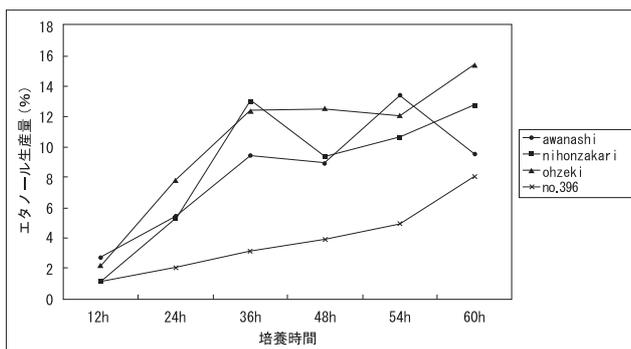


図1 多収穫米を用いたエタノール生産

## 考 察

バイオエタノール原料を子実デンプンとする本生産システムは，ワラを還元することで持続的な生産システムであると期待される。しかし，イネの全バイオマスを利用しようとするエタノール製造は，ワラのセルロース分解のためのエネルギーコストが高いとともに，土壤肥沃度を収奪により損なう恐れがあり，持続的技術とらないであろう。そういう意味では，でんぷん質を利用したエタノール生産は現実的であり，持続可能なエネルギー生産が可能である。

多収穫米を原料として，エタノールを生産することは，粉砕，耐熱性アミラーゼ，グルコアミラーゼの処理，発酵という一連の過程で，効率よく生産することが可能である。これらの一連の反応をシステムとして構築することにより，エタノール生産設備を構築することは可能であり，実際に行われている。現在稼働している装置としては，北海道や新潟県にあり<sup>2)</sup>，島根県でも，簡易型のエタノール製造装置が開発されている<sup>3)</sup>。全国各地で，異なった原料，例えば廃材やソフトセルロースなど，を利用したエタノール生産が試みられているが，結局，生産コストの面で，行き詰まっているところが多い。ブラジルなど成功している事例では，トウモロコシでんぷん質を利用していることから，日本においては，多収穫米を利用するのが適していると我々は考えている。エネルギー源を輸入に頼ることなく，自前で生産する方法を確立しておくことの重要性は自明である。

## 引用文献

1. 米が拓くバイオエタノールの世界一第2弾，NPO 法人中国四国農林水産食品先進技術研究会主催，セミナー資料，2010年
2. イネを原料としたバイオエタノールの地域エネルギー循環モデルづくり，イネ原料バイオエタノール地域協議会，パンフレット，2010年
3. 「簡易型エタノール製造装置」の開発と「エタノールサイクル」構築について，NPO 法人島根バイオエタノール研究会，報告書，2010年

## 謝 辞

本研究は大学院修士課程長田博義氏，博士課程松尾祐児氏，博士課程田苗勝裕氏の協力の下で行われた。感謝の意を表す。