

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19500748

研究課題名(和文) 植物のバイオマス生産から学ぶ理科教育指導プログラムとその教材開発

研究課題名(英文) Development of teaching materials and teaching program using biomass

研究代表者

安藤 秀俊 (ANDOH HIDETOSHI)

福岡教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：70432820

研究成果の概要：

植物のバイオマス生産に関する教材開発とその指導プログラムの検討を目的として、(1) 教員養成課程の大学生における植物栽培とその生産に関する意識調査、(2) 小学校教科書に掲載されている種子発芽の実験の検討、(3) 全国第2位の生産量を誇る福岡県におけるイグサの教材化、(4) 植物の遺伝教材としてのファストプランツの有効性の検証、(5) バイオマス教材としてサトウキビの利用方法の開発と指導プログラム、の5点について調査、実験などを行い、更に授業実践を行ったところ、いくつかの新たな知見と指導プログラムの有効性が確認できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：理科教育

科研費の分科・細目：科学教育，教育工学・科学教育

キーワード：科学教育，バイオマス，教材開発，サトウキビ，授業指導プログラム

## 1. 研究開始当初の背景

植物が光合成を通して利用できる光エネルギーは、耕地に降り注ぐ太陽エネルギーのわずか1.4%であり、地球上のすべての生物の生命は、一義的にこの太陽エネルギーに依存している。この太陽エネルギーを出発点として、植物の光合成によってもたらされた有機物がバイオマスである。本研究は、太陽エネルギーと植物のバイオマス生産から学ぶ理科教育のプログラムづくりと、学校教育におけるその教材化を試みるものである。21世紀に入り、現在は環境・エネルギー問題、

人口増加、食糧問題など、まさに人類にとっての死活問題に直面しつつある。一般に、人間は生きていくために、一人一日当たり10.5MJのエネルギーと50gのタンパク質が必要とされている。このエネルギーをイネのみによって補おうとすると、年間260Kg必要である。しかし、今後の爆発的な人口の増加にバイオマス生産は追いつくのだろうか？人口増加、太陽エネルギー、植物のバイオマス生産、これらの関係を小・中や高等学校における理科の教育課程において、また将来教師になるであろう教育学部の理科専攻の学

生達に体験実習や実験を通して理解させるプログラムと教材を開発するのが本研究の当初の背景である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の3点である。

(1) 大学1年生に行う植物の栽培実習体験を通じて、栽培学習の課題や問題点などを検討する。バイオマス生産という観点から、栽培活動の意義を見つめるとともに、植物や栽培活動に対する認識の変容についても調査し、バイオマス生産の重要性の認識を高めるための基礎的なデータを得る。

(2) 福岡県特産の工芸作物であるイグサをはじめイネなどの植物を利用し、バイオマス生産を理解するための教材を開発する。

(3) 中学校・高校において、太陽エネルギーと植物のバイオマス生産(乾物生産)の関係を理解させ、その重要性を効果的に指導する理科教育の指導プログラムを2年間で作成する。

## 3. 研究の方法

### (1) 圃場での畑作物のバイオマス生産(大学生への体験・実習)

本学理科教育講座の圃場(112 m<sup>2</sup>)にて、1学年で必修の「ネイチャーウォッチング」の授業を通して、体験的に実験・実習を行なう。中学校や高校での理科授業の教材として栽培実習向けに、また将来教員志望の教育学部の学生向けに様々な種類の作物を栽培させる。作物としては、教科書に出てくるインゲン、サツマイモ、トマト、カボチャ、ナス、キュウリ、トウモロコシなどをはじめとしてこれらの植物の生育調査と肥培管理、防虫駆除などを通して、バイオマス生産、すなわち乾物生産をいかに上げるかあがるかという観点から栽培技術とその過程における科学的な思考力を養わせる。これらの栽培活動を通して、学生たちにどのような意識の変化が見られたのかを事前・事後のアンケート調査によって把握し、その結果をまとめる。

### (2) 種子の発芽実験

小学校の教科書に登場するインゲンやトウモロコシの種子を用いて、ミニインキュベーター内で発芽試験を行なう。種子の水分吸収量、処理温度、乾燥時間の条件を変えて実施し、発芽率などに違いがあるかどうかを調査し、小学校の発芽実験の効果的な実験条件を調査する。

### (3) イグサの栽培と教材化

イグサ(*Juncus effusus* L. var. *decipiens* Buchenau)は、単子葉の多年生湿生植物で、日本では畳やゴザの材料として知られる。生産量は熊本県が全国の89.1%を占めるが、次いで福岡が5.8%で第2位であり、本学の所在地からみてもイグサは地元の工芸作物

として馴染み深く、理科教育の教材化として有効であると考えられる。

### ① イグサの成長および形態の観察

イグサの形態の特徴は、ageが進んでもほとんど形態を変えずに「分げつ」を繰り返し成長することである。そこで、3莖3芽で1/5000aワグネルポットに2株を植えつけ、2週間ごとに最長莖長と莖数を測定する。次々と出芽する新芽にはビーズをかけて、出芽期別莖数割合を調査する。

### ② イグサ群落の生産構造の解明

イグサを1/5000aワグネルポットに多数栽培し、模擬的な個体群を作出し、時期ごとに群落の相対照度を測定する。また、同時にLAIを求め、群落固有の吸光係数を計算し、同時に行なう層別刈り取り法の結果と合わせて、イグサ群落の生産構造図を作成する。更に個体群成長速度CGRを求め、イグサの太陽エネルギーとバイオマス生産量の関係を調査する。

### (4) 植物の遺伝教材としてのファストプランツの有効性

本学附属中学校において、ファストプランツを利用した一遺伝種雑種の遺伝教材としての有効性を検証する。ファストプランツを理科室で播種、生育させ、出芽の様子を観察し、紫と緑の胚軸の色をカウントさせた。また、遺伝教材に対する意識調査を行った。

### (5) サトウキビを用いたバイオマス教材の開発と指導プログラムの学校現場での有効性の検証

中学校や高校の教科書に盛んに登場するようになったバイオマスであるが、バイオマスに関する実験は全く掲載されていない。そこで、サトウキビを用いた教材を開発し、本学附属中学校においてその指導プログラムの有効性を検証する。

## 4. 研究成果

### (1) 圃場での畑作物のバイオマス生産

まず本学初等教育教員養成課程理科専修の大学生に対して、4ヶ月にわたる栽培活動を行う最初と最後の時期に、植物の栽培と動物の飼育に対する意識調査を行った。2回目の調査では、17の質問項目のうち13項目において、5段階の尺度で3.38以上の平均得点が得られ、栽培や飼育に関して前向きで肯定的な認識がみられた。また、分散分析を行ったところ、17の質問項目のうち8項目で男女間に有意な差が見られた。しかし、栽培を行う前後2回の調査時期による有意な差は認められなかった。また、2回目の調査の結果をもとに因子分析を行ったところ、「動植物への愛着・積極性」と「動物への好感・植物の愛育」という2つの因子が抽出された。これらは、植物や動物を育てることが好きで、能動的に関わりたいという動植物への好感

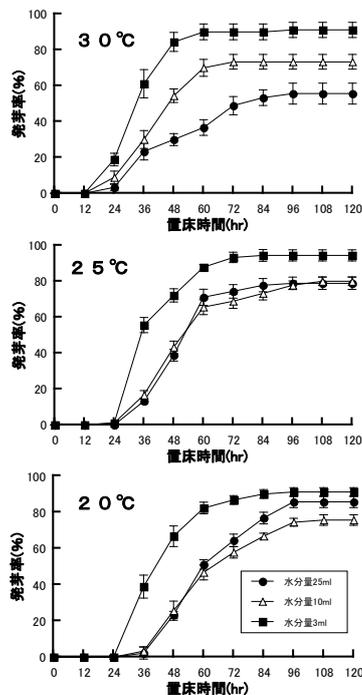
と前向きな意識、また、植物への世話をいとわぬ献身的な愛情が、学生の中に認識されていたことを意味している。

表1 第2回調査における因子分析結果

質問項目	第1因子	第2因子	共通性
問2 野菜や果物を育てることは好きである。	0.855	0.210	0.776
問12 学校教育の中で、もっと栽培や飼育を行おうと思う。	0.840	-0.234	0.760
問3 植物を育てることは楽しいと思う。	0.805	0.059	0.651
問1 花を育てることは好きである。	0.787	0.457	0.798
問13 植物の栽培や動物の飼育は、なるべくやりたくない。	-0.748	0.276	0.636
問11 植物や動物と接すると、心が落ち着く気がする。	0.735	0.065	0.544
問14 植物の栽培や動物の飼育についてもっと知りたいと思う。	0.614	-0.210	0.421
問5 植物が育つのはうれしいが、世話をするのは面倒だと思う。	-0.288	0.641	0.494
問10 自分の家では動物を多く飼っている方だと思う。	0.063	0.399	0.163
問8 植物栽培は水をあげなければ枯れるのでたいへんだ。	0.155	-0.366	0.158
問6 植物を育てるより、動物を育てるのが好きである。	0.216	-0.369	0.149
問4 土をいじるのは好きではないと思う。	-0.197	0.324	0.144
問9 自分の家では植物を多く育てている方だと思う。	0.182	0.254	0.098
因子寄与	4.38	1.41	5.79
累積説明率(%)	33.69	44.55	

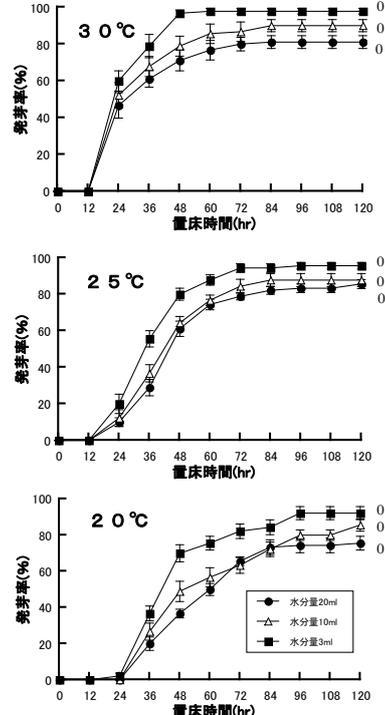
## (2) 種子の発芽実験

次に、インゲンマメとトウモロコシを材料に、小学校理科第5学年における種子発芽に関する実験を行い、水分と温度の条件を中心に基礎的なデータを得た。インゲンマメの置床48時間後において、(温度, 水分量)を1つの水準と見なして、1元配置分散分析を行ったところ、温度の違いによる単純主効果は、水分量が3, 10mlの時に1%水準で、25mlの時に5%水準で有意差が認められた。水分量の違いによる単純主効果は、温度が20, 25, 30℃の全てにおいて1%水準で有意差が認められた。また、トウモロコシの置床48時間後において、温度と水分量について2元配置分散分析を行ったところ、温度の主効果と水分量的主効果がそれぞれ5%水準で有意となった。いずれも種子がわずかに水に触れる状態(3ml)が最も発芽が良好であり、本実験



第1図 異なる温度における水分量の違いによるインゲンマメの発芽率の推移

では水分量の差より種子が空気と接触している面積、すなわち酸素量に影響を受けている可能性が考えられた。また、発芽に関する単元構成として発芽実験のモデルを提案した。発芽に必要な条件を学ぶ実験の順序としては、水分→空気→温度の順が理解されやすいと考えられた。



第2図 異なる温度における水分量の違いによるトウモロコシの発芽率の推移

第2表 温度および水分量の違いによるインゲンマメ種子の発芽率

	発芽率(%)	
	48時間後	96時間後
20℃-3ml	66.7±3.7 a	91.2±3.1 a
20℃-10ml	25.6±3.4 b	74.4±2.4 b
20℃-25ml	23.3±3.3 b	85.5±3.4 a c
F値	34.73**	5.61**
25℃-3ml	72.2±5.7 a	94.4±2.4 a
25℃-10ml	43.3±5.3 c	77.7±2.2 b c
25℃-25ml	38.9±2.0 c d	78.8±3.1 b c
F値	19.10**	6.77**
30℃-3ml	84.4±5.3 e	91.1±4.2 a c
30℃-10ml	54.4±3.8 c f	73.3±4.1 b
30℃-25ml	30.0±3.3 b d	55.5±5.8 d
F値	43.37**	24.64**
20℃-3ml	66.7±3.7 a	91.2±3.1 a
25℃-3ml	72.2±5.7 a	94.4±2.4 a
30℃-3ml	84.4±5.3 e	91.1±4.2 a c
F値	4.82**	0.28ns
20℃-10ml	25.6±3.4 b	74.4±2.4 b
25℃-10ml	43.3±5.3 c	77.7±2.2 b c
30℃-10ml	54.4±3.8 c f	73.3±4.1 b
F値	12.38**	0.41ns
20℃-25ml	23.3±3.3 b	85.5±3.4 a c
25℃-25ml	38.9±2.0 c d	78.8±3.1 b c
30℃-25ml	30.0±3.3 b d	55.5±5.8 d
F値	3.55*	19.35**

各値は9反復の平均値±標準誤差。  
1元配置分散分析の結果、\*\*は1%水準で、\*は5%水準で単純主効果に有意差があることを、nsは有意差なしを示す。  
各水準間で異なる文字を付した値の間には、LSD法の5%水準で有意差があることを示す。

第3表 温度および水分量の違いによるトウモロコシ種子の発芽率

		発芽率(%)			
		48時間後		96時間後	
温度	20°C	51.8±3.6	a	82.2±2.5	a
	25°C	68.5±2.6	b	88.8±1.8	b
	30°C	82.2±3.3	c	89.6±2.1	b
水分量	3ml	82.2±2.9	a	95.1±1.4	a
	10ml	64.0±3.6	b	85.9±2.0	b
	20ml	56.2±3.7	c	79.6±2.0	c
温度(A)		38.18**		5.22**	
水分量(B)		29.22**		19.20**	
A×B		0.73ns		0.35ns	

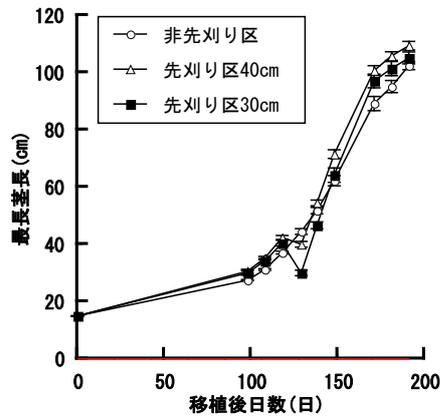
各値は9反復の平均値±標準誤差。  
2元配置分散分析の結果、\*\*は1%水準で有意差があることを、nsは有意差なしを示す。  
各水準間で異なる文字を付した値の間には、LSD法の5%水準で有意差があることを示す。

### (3) イグサの栽培と教材化

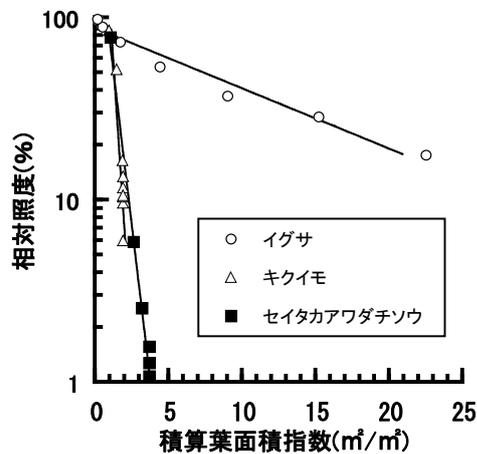
本研究では、最長茎長の平均が100cmを上回り、実際の圃場のイグサの模擬個体群に近い形態を作出することができた。移植191日後の最長茎長の平均値は、非先刈り区が102.4cm、40cm先刈り区が109.4cm、30cm先刈り区が105.1cmであった。いずれも先刈り区が非先刈り区よりも伸長した。先刈りを行うまでは5~7cmずつ伸長していたが、先刈り後、先刈り区は約15cmずつ伸長した。一方、非先刈り区では伸長期に先刈り区ほどの急成長は見られなかった。最終的に、40cm先刈り区が最も伸長したが、先刈り後の伸び率は30cm先刈り区が高かった。梅雨に入ると、茎数も急激に増加した。先刈り区と非先刈り区を比較してみると、最終的に先刈り区の茎長がより伸長し、先刈りの時期も適切であったと考えられる。

一般に、広葉型植物の葉面積指数は5程度、イネ型植物は10程度といわれているが、積算葉面積指数はイグサが22.4、ククイモが1.8、セイトカアワダチソウが3.6となった。イグサはイネ型植物の一般値と比較しても、非常に大きい値であると考えられる。群落上部からの積算葉面積指数と相対照度との関係は、イグサは緩やかな勾配となり、ククイモ、セイトカアワダチソウは急勾配であった。一方、ククイモ、セイトカアワダチソウの葉面積指数の値は一般値より大きく下回った。これは、群落の密度が低かったことや、葉面積を計測する上で誤差が生じたためであると考えられる。吸光係数はイグサがK=0.12、ククイモがK=1.00、セイトカアワダチソウがK=1.05であった。イグサの吸光係数は、過去の調査例にも近い極めて小さい値であった。ククイモ、セイトカアワダチソウの値と比較しても差は顕著であり、イネ型植物の吸光係数の平均値(0.3~0.5)よりも遥かに小さい。一方、過去の調査例では、吸光係数0.065という結果が得られ、本研究の結果よりも低い

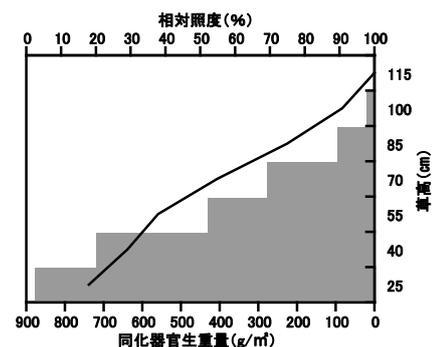
数値であった。これは本研究のイグサの茎長や茎数が高く、群落の密度が高かったため、その分群落の奥まで光が届かなくなり、吸光係数が大きくなったと推察された。



第3図 イグサの最長茎長の推移



第4図 相対照度と積算葉面積指数の関係



第5図 イグサの生産構造図

### (4) 植物の遺伝教材としてのファストプランツの有効性

実験に用いた種子は、ファストプランツ (Brassica rapa) F2 ノンパープルステム (小林ハードウェア) である。縦 200×横 200×高さ 10 mm の 4 区画に分離されたプラスチック容器 2 個に、園芸用培土を入れ、種子を各

区画 25 粒ずつ合計 200 粒播種，覆土し，25℃ に設定した人工気象器で生育させた。24 時間ごとに出芽の様子を観察し，紫と緑の胚軸の色をカウントした。附属中学校における実験結果の一例を表 4 に示す。班ごとにファストプランツの胚軸の色を計測させたところ，期待値が得られた班が半分程度あったが，紫色：緑色＝3：1 の比にほど遠い結果になった班もあった。この点については，発芽直後の胚軸の色は緑と紫が混合し見分けにくいことが考えられ，胚軸の一部が緑色であるものを緑色とカウントした可能性がある。計測の前に，観察の観点をより明確に指導する必要があったと思われる。また，今回のように，カリキュラム上，遺伝学習は秋季に行うことが予想されるが，日光にさらすことにより，胚軸の色は鮮明になるので，できる限り屋外で発芽させることが望ましいと思われた。

第 4 表 附属中学校での班実験の一例

班	出芽した胚軸数		$\chi^2$ 値(有意確率)
	紫色	緑色	
1班	22(73%)	8(27%)	0.04(p = 0.83)
4班	22(76%)	7(24%)	0.01(p = 0.92)
6班	65(72%)	25(28%)	0.37(p = 0.54)

(5) サトウキビを用いたバイオマス教材の開発と指導プログラムの学校現場での有効性の検証

サトウキビからエタノールを抽出する方法としては，試行錯誤の結果，次の 4 つ方法が考えられた。すなわち，酵母の種類 (A: 活性化した酵母，B: サプリメント，C: ドライイースト，D: 酵母ビーズ) を変えた処理区を設け，3 反復で次の①～⑤の手順で行った。  
 ① 25 cm 程度のサトウキビ茎 3 本 (約 942g) の皮を剥ぎ，包丁で 2 cm 程度に小さく切る。  
 ② ①をミルキサーで細かく粉碎する。  
 ③ ②をガーゼで包み，糖汁をしぼり出す。  
 ④ サンプル瓶に糖汁 10ml と酵母 (活性化した *Saccharomyces cerevisiae* 1ml，サプリメント 0.03g，ドライイースト 0.03g，酵母ビーズ 3 玉 0.15g) を加え，30℃ の人工気象器で 16 時間発酵させる。  
 ⑤ サンプル瓶にシリンジを入れ，生成された気体を 30ml 吸入し，アルコール検知器で測定する。

本実験ではサンプル瓶内の気体をシリンジで 30ml 吸引し，アルコール検知器でエタノール濃度を測定したため，発酵した溶液中のエタノールの濃度ではなく，測定値は気化したエタノールのサンプル瓶内の濃度である。しかしながら，すべてのサンプル瓶からの気体のサンプリング方法を統一しているので，酵母の発酵によって生成したエタノール

濃度の簡易的な指標と捉えることができよう。実験の結果を表 1 に示した。アルコール検知器は，0～1.00mg/l の範囲でしかエタノール濃度を測定できないため，測定値のほとんどが 1.00mg/l 以上を示したが，発酵程度は極めて良好であることがわかった。すなわち，サプリメント，ドライイースト，酵母ビーズとも，活性化した酵母に遜色のない効果が得られると判断できた。

表 1 アルコール検知器による測定結果

	1.00 ≤	1.00 ≤	1.00 ≤	1.00 ≤
A 活性化した酵母	1.00 ≤	1.00 ≤	1.00 ≤	1.00 ≤
B サプリメント	0.06	0.07	0.07	0.07
C ドライイースト	0.32	0.25	0.32	0.30
D 酵母ビーズ	0.00	0.00	0.06	0.02

単位: mg/l

※1.00 ≤ は，1.00 mg/l 以上の値を計測したことを示す。  
 今回使用したアルコール検知器の測定範囲が 1.00 mg/l までであり，それ以上の数値はすべて 1.00 mg/l と表示される。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 安藤秀俊，初等理科を専攻する学生の植物栽培と動物飼育に関する調査，生物教育，第 47 巻 3 号，99-108，2007，査読有り
- ② 安藤秀俊・西村崇志，小学校における種子発芽の学習に関する基礎的研究，日本農業教育学会誌，第 39 巻第 1 号，1-10，2008，査読有り
- ③ 安藤秀俊，中学生の遺伝学習に対する認識ーファストプランツの有効性の検証ー，理科教育学研究，第 49 巻 3 号，13-22，2009，査読有り
- ④ 坂本日沙子・安藤秀俊，サトウキビを用いたバイオマスエネルギーの教材研究，教育実践研究(福岡教育大学附属教育実践総合センター)，第 17 号，29-34，2009，査読無し

[学会発表] (計 5 件)

- ① 野口太輔・安藤秀俊，イグサ個体群の吸気係数について，日本科学教育学会九州沖縄支部会，2007. 11. 24，佐賀大学
- ② 西村崇志・安藤秀俊，小学校における種子発芽の学習に関する基礎的調査，日本科学教育学会九州沖縄支部会，2007. 11. 24，佐賀大学
- ③ 安藤秀俊・野口太輔，イグサ群落の光透過性について，日本生物教育学会九州支部会，2007. 11. 25，中村学園大学
- ④ 坂本日沙子・安藤秀俊，バイオエタノールの教材化ーサトウキビからのエタノール抽出ー，日本科学教育学会九州沖縄支部会，2008. 11. 15，長崎大学
- ⑤ 北垣康司・安藤秀俊，イグサの教材化に関する基礎的研究Ⅱ，日本科学教育学会九州沖縄支部会，2008. 11. 15，長崎大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安藤秀俊 (ANDOH HIDETOSHI)  
福岡教育大学・教育学部・准教授  
研究者番号：7 0 4 3 2 8 2 0

### (2) 研究協力者

伊藤和貴 (ITOH KAZUTAKA)  
愛媛大学・農学部・准教授  
研究者番号：5 0 2 5 3 3 2 3