

トウモロコシとサツマイモ混作栽培の効果に関する研究

太田 弘一* 高畑 宏介** 福本 秀裕**
太田 自由*** 北野 英己****

*技術教育講座

**卒業生

***名古屋大学院生命農学研究科

****名古屋大学生物機能開発利用研センター

Studies of Effectiveness on Mixed Cropping between Corn and Sweet Potato

Koichi OTA*, Kousuke TAKAHATA**, Hidehiro FUKUMOTO**,
Sadayuki OTA*** and Hidemi KITANO****

*Department of Technology Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

**Graduate, Aichi University of Education

***Graduate School of Bioagricultural Science, Nagoya University, Japan

****Bioscience and Biotechnology Center, Nagoya University, Japan

1. はじめに

農業技術は、工業の発達とともに化学肥料や農薬の開発と農作業の機械化により、大規模化による効率の栽培により労働生産性・土地生産性を飛躍的に向上させてきた。その一方で、農薬被害や生態系破壊、化学肥料への依存から土壌の有機物が減少して団粒構造の破壊等が進行することにより地力が低下する等の問題が発生した。その反省から、「有機農業」「環境保全型農業技術」「LISA (Low Input Sustainable Agriculture)」等、伝統的な農法の見直しが行われてきた。

その一つとして、栽植方法として伝統的に行われてきた輪作や混作・間作がある。大規模機械化のためには単作が基本であり、生産農家では行われなくなってきたが、圃場に複数の作物を作付けることによる利点は多く存在する。害虫や病気の発生の抑制、複数作物収穫による土地あたりの生産効率向上や危険分散、作物間の相互作用による生育促進効果(共栄植物)、マメ科作物の窒素固定利用等がある¹⁾。

現在でも山間地などの小規模農地や家庭菜園では行われており、また有機農業農家でも利用されている。さらに、こうした混作の利点から、狭い学校圃場で複数の作物を効率よく栽培できることや農薬を使わない病虫害防除の可能性から学校教材としての有効性も高いと考えられる。

太田はこれまでにいくつかの作物の組み合わせを検討して報告してきた¹⁾⁻⁴⁾。今回は、特にサツマイモに焦

点をあて、混作の効果を検討した。サツマイモは、マメ科とともに荒地でもよく育つ作物として知られている。そして、近年空中窒素固定をする細菌 (*Klebsiella oxytoca*, *Pantoea agglomerans*) の共生があり、それによる空中窒素の利用が明らかにされている⁵⁾。

そこで、今回、肥料要求性の高いトウモロコシとサツマイモを混作することによる効果を検討した。

2. 材料と方法

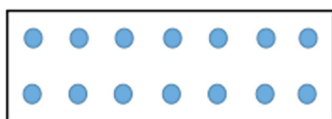
栽培は名古屋大学附属農場で、約8m×50mの圃場区画で行った。全体を半分に分け、施肥区と無施肥区を設定した。施肥区(8m×25m)には、元肥として高度化成N14:P14:K14を80kg全体に施肥して鋤込み、畝を立てた。畝は1.2m×2.1mの大きさで長辺南北方向に配列(同時に行ったダイズ・トウモロコシ混作の処理区画も間に含む)し、畝は黒ビニールマルチで被覆した。

処理区の植え付け様式を図1に示した。各作物の単作区では、1.2m幅の畝で、列間50cmで2列を基本とした。1列は株間30cmで7株(トウモロコシは1株2個体)とした。サツマイモは通常の栽植方法の畝間が広いことから通常の最適植付け密度に近い1列も設定した。混作区は、基本の2列の間に他の作物1列植え付ける様式で、作物を入れ替えたパターンを設定、2列のそれぞれに2つの作物を1列ずつ配置した場合と列内で交互に配置した場合を設定した。下記の7処理区を各3

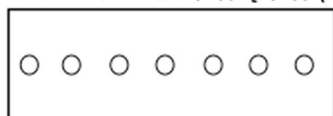
栽植様式

- トウモロコシ
- サツマイモ

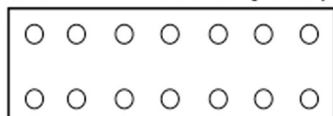
トウモロコシ単作 [単作(黍2列)]



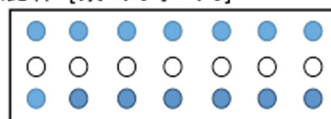
サツマイモ1列単作 [単作(芋1列)]



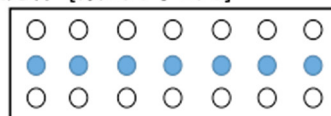
サツマイモ2列単作 [単作(芋2列)]



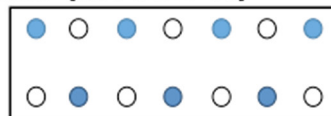
混作 [黍2列芋1列]



混作 [黍1列芋2列]



混作 [黍芋交互2列]



混作 [黍1列芋1列]

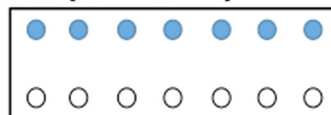


図1 各処理区の栽植様式

反復で、施肥区と無施肥区のそれぞれに設定してランダムに配置した。

単作：3処理区

1) 芋（サツマイモ）1列、2) 芋2列、3) 黍（トウモロコシ）2列

トウモロコシ・サツマイモ混作

1) 黍2列芋1列、2) 黍1列芋2列、3) 黍芋交互2列、4) 黍1列芋1列

トウモロコシ（品種：ハニーバンタンム）を2016年4月25日にビニールポットの培養土に播種し苗を生育させた。5月25日に、トウモロコシ苗とサツマイモ（品種：鳴門金時）のツルを、各畝に植え付けた。植え付け直後にサツマイモがヨトウムシの食害があり、数カ所植え直すとともにサツマイモ植え付け箇所全体にオルトラン粒剤を散布した。その後の生育は、順調に進んだが、畝間の雑草が繁茂する状態があり、サツマイモのツルが雑草にやや覆われる状態がみられ、7月中旬に除草作業を行なった。トウモロコシには、メイチュウの発生がみられたため、6月20日にデンボンを散布した。また、トウモロコシの実の鳥害をさけるために防鳥網をほぼ全体に設置した。追肥については、圃場全体に前作以前の残肥がかなり存在していたと思われ、無施肥区でも生育中期までほとんど遜色ない生育がみられたため、施肥区で予定していた追肥は行わなかった。

収量等の調査は、トウモロコシは7月18日と7月21日の2日に分けて実を収穫し、生体重、個数を測定し、虫がついていた実の個数も確認した。植物体については、混作区での他方の作物への影響を考慮して、そのまま放置して枯死乾燥したものを11月6日に抜きとり、抜き取れるだけの根を含めた植物体乾物重量として測定した。サツマイモは、全体の量が多く作業に時間を要したため、10月中旬から11月中旬の1か月間で、掘り上げたイモの生体重と個数、地上部（ツル）の重量、地下部（細根）の重量を測定した。

3. 結果および考察

3.1 生育状態

生育の様子について、写真1~4に示した。手前が施肥区、奥が無施肥区である（同時に作付けたダイズとの混作畝も含む）。

植え付け時点で、トウモロコシとダイズは播種後1ヶ月の苗を植付け、サツマイモはツルを植え付けたため、サツマイモはツルから発根して生育が始まるまでの遅れがあった。そのため、植え付け1ヶ月後の時点で（写真2、3、4）、トウモロコシはすでに穂がみられたのに対して、混作のトウモロコシ2列の間に植え付けたサツマイモは、生育したトウモロコシの間に囲まれた状態となり、日照不足が懸念される状態がみられた。



写真1 植付1週間後の状態 6月3日



写真3 トウモロコシ1列・サツマイモ1列 6月25日



写真2 植付1ヶ月後全体の生育の様子 6月25日



写真4 トウモロコシ2列・サツマイモ1列 6月25日

3.2 トウモロコシ収量について

収量量について、畝あたりの収穫重量を図2に示した。単作は2列の植え付けで同じ混作の2列植え付け区(黍2列芋1列)では、誤差範囲で差はみられなかったものの、施肥区・無施肥区ともやや増収傾向がみられた。トウモロコシ1列あるいは交互7株植え付けの混作区では、植え付け株数が半分なので畝あたり収量ではほぼ半分の収量であった。無施肥区は、収量量は肥料不足で半分程度であった。株あたりの収穫重量でみると、混作区で高い傾向がみられた(図3)。とりわけ、交互2列区で施肥区でも誤差範囲以上の増収がみられ、無施肥区では1列区で単作区に比べていずれも誤差範囲以上の増収傾向がみられた。2列区でも、誤差範囲ではあるが、混作の方が高い傾向はみられた。これらのことから、トウモロコシは、サツマイモとの混作で増収の傾向があるといえる。とりわけ間にサツマイモが1列7株植わっており、かなりの高栽植密度での栽培となっているが単作に比較して増収傾向がみられることは、サツマイモの収穫もプラスであることも含めて考えると大きな増収効果があるといえる。

収穫個数でみると、トウモロコシは基本的には1植物体あたり1個の収穫となるため、畝あたりの収穫個

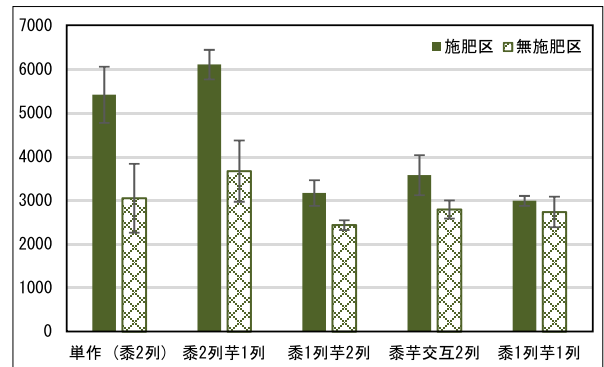


図2 トウモロコシ畝当たり収穫量 (g)

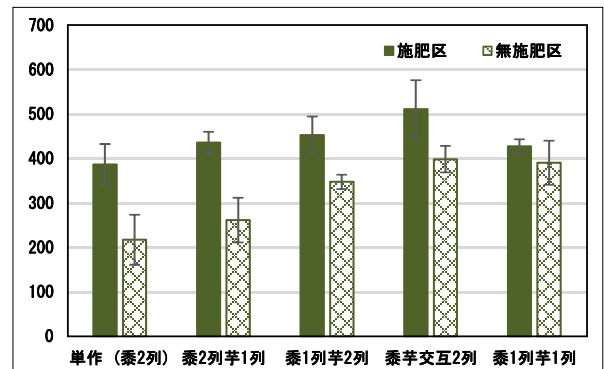


図3 トウモロコシ株あたり収穫量 (g)

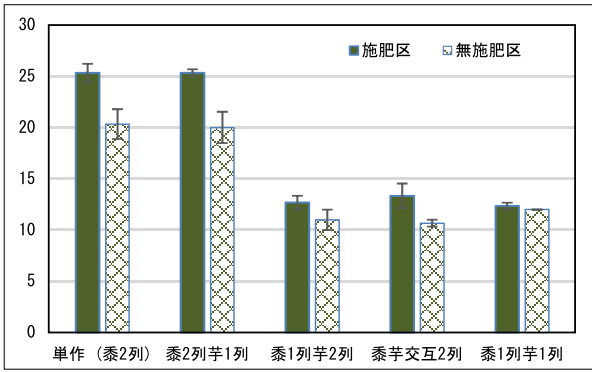


図4 トウモロコシ畝あたり収穫個数

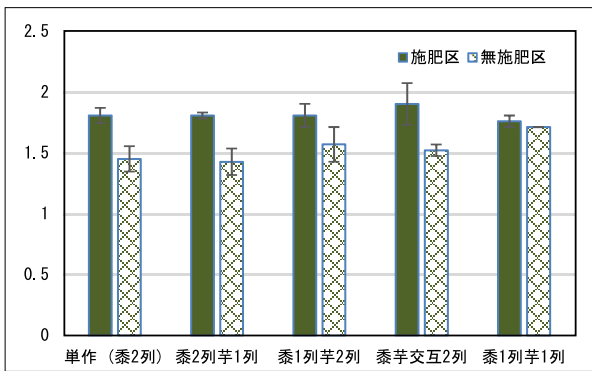


図5 トウモロコシ株あたり収穫個数

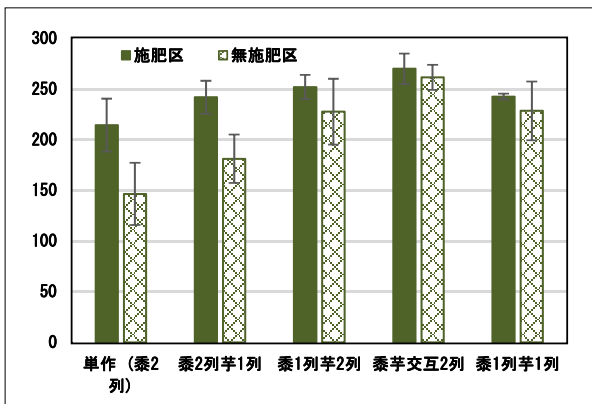


図6 トウモロコシ実ひとつあたり重量 (g)

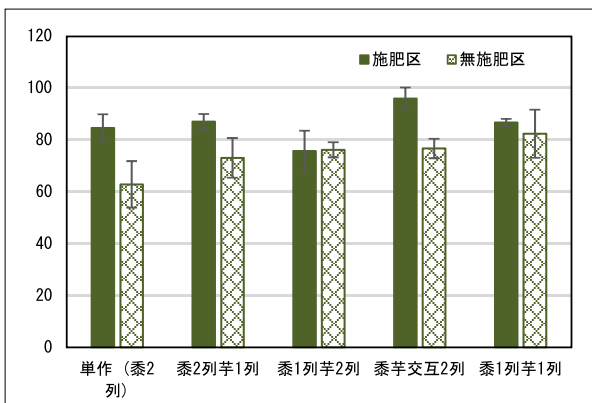


図7 トウモロコシ株あたり植物体乾物重 (g)

数では、無施肥区がわずかに少なかったものの、畝あたりで全体に植え付け列数 (株数) が2倍になっているかどうかに応じての差と無施肥区で若干少ないこと以上に混作・単作で大きな差はみられず (図4)、いずれも1株あたりで1.5~1.8本の収穫量であった (図5)。

実一つあたりの重量では、株あたりの収穫重量と同様に、単作区に比べて混作区で若干高い傾向がみられ、無施肥区で低い傾向がみられた (図6)。

植物体の生育 [図7株あたり植物体重 (乾物重量)] については、無施肥区では、株あたりの収穫重量の傾向に近い混作による促進の傾向がみられたが、施肥区では2列交互の混作区でやや高い傾向はみられたもののほとんど差はみられなかった。

3.3 サツマイモ収量について

サツマイモの収穫量について、畝あたりの収穫重量を図8に示した。単作では施肥区で2列がもっとも高い収穫量となった。しかし、株あたりの収穫量では1列より低い収穫量であった (図9)。無施肥区では、畝あたり収量で、2単作2列は、2倍の植え付け株数にもかかわらず1列より減収となっており、また、サツマイ

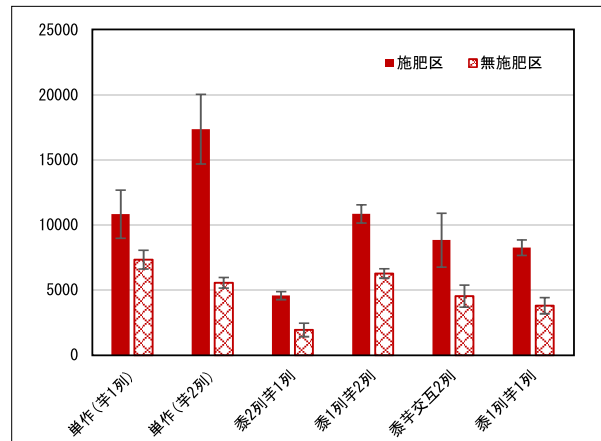


図8 サツマイモ畝あたり収穫重量 (g)

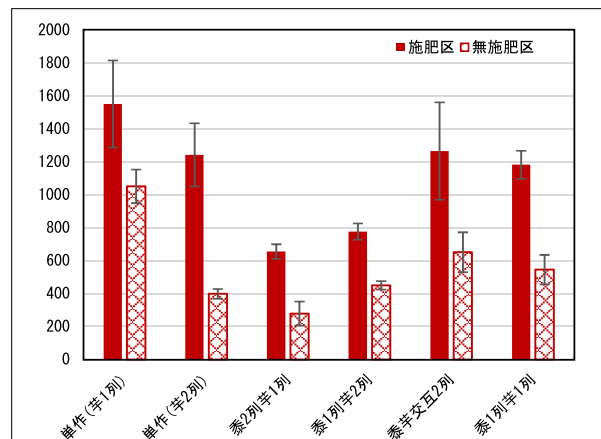


図9 サツマイモ株あたり収穫重量 (g)

モ2列植付けの黍1列芋2列混作区も施肥区でも1列7株植えと同程度の収量であり、サツマイモの2列14株での植付けは、株あたりの減収傾向が顕著であり、高密度の植付けは減収をもたらすといえる。混作では、1列でトウモロコシとの植付け区では、いずれも単作2列はもちろん1列よりも低い収量にとどまった。株あたりの収量では、単作1列がもっとも高く、混作区はいずれも低かった。とりわけ、黍2列芋1列、黍1列芋2列の合計3列の高密度の植付けでは半分以下の収量であった。これらのことから、サツマイモは、トウモロコシも含めて高密度での植付けによる収量の低下傾向が顕著であり、1列での植付けを基本とした方が収量がよいといえる。とりわけ、混作区はトウモロコシも含めて高密度での生育となるため、減収が顕著であり、サツマイモの収量を考えた場合にはトウモロコシとの混作は不向きといえる。こうした密植による減収の要因としては、肥料の競合が考えられる。施肥量をより多くすることで、高密度による減収が避けられる可能性は考えられる。ただ、サツマイモは、肥料が少ない状態でもある程度の収量があること、とりわけ窒素固定による効果が期待されることからすると逆の結果といえるため、よりくわしい検討が必要である。また、関連して、先に触れた、サツマイモのつるの植付

けが遅れたため、生育がトウモロコシに比べて大幅に遅れたことによって、日照や肥料吸収がトウモロコシによって制限されたと思われる問題があり、植付けによる遅れない状態での栽培が状態を大きく改善する可能性も考えられ、今後の検討課題である。

収穫個数では、畝あたりでは単作・混作、施肥・無施肥とも単作2列区と黍1列芋2列混作区で多く、植付け株数の準じた結果であった(図10)。株あたりのデータで詳細を検討すると、混作で全体にやや少ない傾向がみられ、特に無施肥区では混作区で少なく、とりわけ黍2列芋1列混作区では半数程度と顕著に少ない結果となった(図11)。

サツマイモの実ひとつの重量については、株あたりの収穫重量とほぼ近い傾向であり(図12)、収穫総量のちがいは実の大きさによる影響が大きいことがわかる。

また、植物体の生育(図13株あたり地上部生体重)についても、株あたり収量とほぼ同様の傾向であった。地上部の蔓葉による光合成による澱粉が芋の生育(肥大)に繋がることを示している。

3.4 トウモロコシとサツマイモ収量についてのまとめ

以上の結果から、サツマイモ混作により、トウモロ

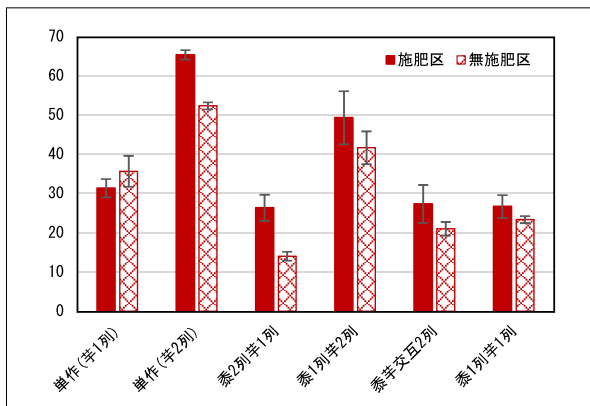


図10 サツマイモ畝あたり収穫個数

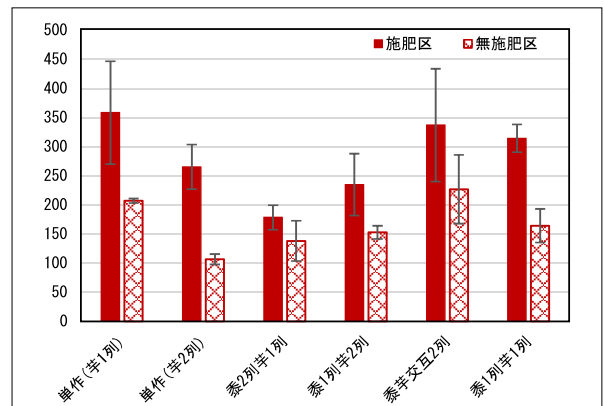


図12 サツマイモ実ひとつあたり重量 (g)

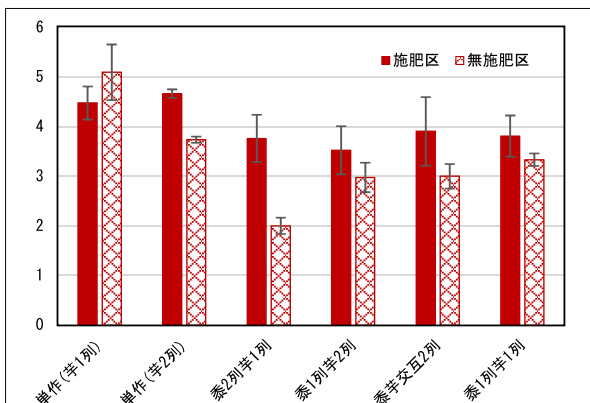


図11 サツマイモ株あたり収穫個数

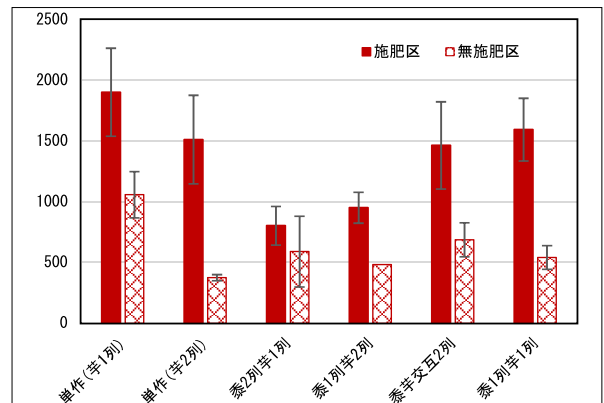


図13 サツマイモ地上部株あたり生体重 (g)

コシで増収する傾向がみられた。とくに、トウモロコシ2列の間にサツマイモを植え付けることにより、トウモロコシでもっとも高い収量があった。しかし、サツマイモの収量の方はもっとも低かった状態であったが、混作ではトウモロコシ収量に加えてサツマイモ収量もプラスされることを考えると合計での収量は増加することになる。また、交互植え2列の混作では、トウモロコシの収量とサツマイモの収量のどちらも比較的高い傾向がみられた。これらの両方を合計した場合の増収効果が期待される。

これらは、混作による両方の作物の収穫があることにより土地の有効利用につながる効果であり、詳細を次のLERの項目で検討する。

3.5 土地等量比 (LER) によるトウモロコシ・サツマイモ混作の有効性の検討

混作の有効性を検討する方法として、個々の作物の収穫量を合計することが単純には考えられるが、それぞれの作物の収穫物の重量差が大きいことをはじめとする量と質の価値尺度にちがいがあため単純合計での比較にはむりがある。そこで、混作の有効性を数値として表す指標である土地等量比 (LER (Land Equivalent Ratio))⁶⁾ を検討する。これは、下記の計算式で求められる。

$$LER = P1/M1 + P2/M2$$

P：混作でのそれぞれの作物の収穫量

M：それぞれの作物の単作での収量

混作された各々の作物ごとに混作での収穫量の単作での収量との比を計算し、それらを合計したものがLERであり、1より大きくなれば、複数の作物の収穫量を合計した土地あたりの生産効率がよいということであり、混作の有効性を評価することができる。

今回の畝あたりの収穫重量から計算した結果が表1である。計算では、単作は今回の結果からも最適な植付け密度と考えられた1列での植付けを基準として計算した。

この結果によれば、すべての混作処理区で1.3以上の値となり、3割以上の合計しての生産効率が期待できることが示された。1列ずつ以外の3列での植付け

表1 トウモロコシ・サツマイモ混作各処理区のLER

混作処理区	施肥区	無施肥区
黍2列芋1列	1.55	1.47
黍1列芋2列	1.59	1.65
黍芋交互2列	1.48	1.54
黍1列芋1列	1.31	1.42

区では、1.5前後のあたりであり、もっとも高いのはトウモロコシ1列サツマイモ2列無施肥区で1.65であり、施肥区でも1.59であった。このことから、サツマイモの収穫量はトウモロコシの混作で減少傾向がみられたが、トウモロコシでは混作で増収の傾向があったことから、両者を合計した収量が得られる混作の有効性が確認された。

4. 全体のまとめと課題

以上のことから、トウモロコシとサツマイモの混作の有効性に関して、第一に、トウモロコシの収穫がサツマイモ混作により増収の傾向があることが確認された。第二に、両者を合計した収穫がえられるという土地あたりの生産効率のところでLERの計算より6割から3割の増収効果が期待できる高い有効性が確認された。これらのことから、トウモロコシとサツマイモ混作の有効性はあきらかであり、中規模の面積も含めた農業上の栽培、環境保全型農業技術の一環としての有効活用が期待される。また、家庭菜園などでの小規模で多品目の収穫を期待する栽培としての有効性は明らかである。その点では、学校での限られた面積での栽培で、複数の作物の栽培学習が一度に可能であるとともに環境保全型農業技術の学習とあわせて位置付けることによる教材としての有効性も考えられる。

今後の検討課題として、サツマイモによるトウモロコシの生育促進効果を確実に確認するとともに、促進のメカニズムについて検討することが必要である。はじめにでも述べたように、サツマイモには窒素固定細菌の共生による窒素固定がサツマイモの生育につながっているとの報告があり、そのこととの関連による効果の可能性も考えられることから、その点を含めてサツマイモによるトウモロコシの生育促進の要因を検討することが重要であると考ええる。

このサツマイモ窒素固定細菌が影響を及ぼす可能性との関連では、サツマイモをトウモロコシの株元に近い位置に植え付けることにより相互作用の可能性を高めた場合の効果の検討も考えられ、植付け密度や栽植のパターンを含めてより、有効な栽植方法を施肥方法も関連づけて検討することが課題としてあげられる。また、今回サツマイモをつるの状態から植え付けたのに対して、トウモロコシは1ヶ月程度生育させた苗を植え付けたことによるサツマイモの生育の遅れが、混作でのサツマイモの生育不良の要因として考えられることから、トウモロコシも直播かできるだけ小さい苗の段階での植付けを検討する必要があることを含めた植付け段階と時期の検討も課題である。

引用文献

- 1) 太田弘一、野村尚人、吉田重方 トウモロコシとササゲの混作の効果について 愛教大研報 53:35-44 (2004)
- 2) 太田弘一 生態的農業に関する研究—トウモロコシ・インゲン混作及びナス・ネギの混作効果について— 名古屋短期大学研究紀要 第26号:213-227 (1988)
- 3) 太田弘一、河野恭広 ナス・ネギ・リョクトウの間の混作の効果 愛教大研報 41:(1992) 117-124
- 4) 太田弘一、矢下克仁 ナスとニラ混作の効果について 愛教大自然観察実習園報告 30:1-8 (2010)
- 5) Katsuki Adachi, Makoto Nakatani, Hideyuki Mochida Isolation of an endophytic diazotroph, *Klebsiella oxytoca*, from sweet potato stems in Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48 (6), 889-895. (2002)
- 6) Mead, R. & R.W. Willey The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. *Exp. Agr.* 16: 217-228. (1980)

謝辞

本研究を進めるにあたり、圃場での作業を補助していただいた名古屋大学田原保樹氏・日置真優氏、愛教大長友武志氏・稲垣憲孝氏に感謝します。本研究は科学研究費補助金(16H03061)の助成を受けて行った。

(2017年9月25日受理)