

全量基肥・接触施肥法による黒ボク土における

デントコーンの不耕起栽培

井上博道



①

目次

第1章 総論 ..... 15

第2章 不耕起地における全量基肥と接触施肥法による黒ボク土における  
**博士論文** ..... 15

2.1 はじめに ..... 15

2.2 材料と方法 ..... 17

**全量基肥・接触施肥法による黒ボク土における  
デントコーンの不耕起栽培** ..... 23

2.3 結果および考察 ..... 23

2.3.1 生育に対する施肥法と基肥肥料種の影響 ..... 23

1) 播種後2週間の生育状況 ..... 23

2) 施肥量と施肥法による出葉率の推移 ..... 25

3) 播種位置における土壌深部の肥料濃度 ..... 27

4) 施肥位置での土壌深部の温度 ..... 30

2.3.2 収穫および肥料利用率に対する施肥法と基肥肥料種の影響 ..... 42

1) 播種期間中の気温 ..... 42

2) デントコーンの生育経過 ..... 42

3) デントコーンの乾物収量 ..... 46

4) デントコーンの施肥量と肥料利用率 ..... 54

2.4 まとめ ..... 58

第3章 不耕起地における各種施肥と肥料利用率が  
収量と肥料利用率に与える影響 ..... 60

3.1 はじめに ..... 60

3.2 材料と方法 ..... 62

3.2.1 施設 ..... 62

3.2.2 測定方法 ..... 63

3.3 結果および考察 ..... 65

1) デントコーンの生育経過 ..... 65

2) デントコーンの生育経過 ..... 66

3) 収穫期における生育状況 ..... 70

4) 収穫量 ..... 74

東北大学大学院農学研究科  
環境修復生物学専攻

井上 博道

指導教官 三枝正彦教授



## 目次

第1章 緒論	1
第2章 不耕起栽培における窒素肥料種が作物収量と 肥料利用率に及ぼす影響	15
2.1 はじめに	15
2.2 材料と方法	17
2.2.1 栽培条件	17
2.2.2 調査方法	20
2.3 結果および考察	25
2.3.1 出芽に対する耕起法と窒素肥料種の影響	25
1) 播種後2週間の気象条件	25
2) 施肥窒素の形態と耕起法による出芽率の変動	25
3) 播種位置における土壌溶液の塩類濃度	33
4) 施肥位置での土壌溶液の組成	38
2.3.2 収量および施肥窒素利用率に対する耕起法と 窒素肥料種の影響	42
1) 栽培期間中の気象	42
2) デントコーンの生育経過	42
3) デントコーンの乾物収量	46
4) デントコーンの施肥窒素利用率	54
2.4 まとめ	58
第3章 不耕起栽培における栽植密度と窒素施用量が 収量と耐倒伏性に与える影響	60
3.1 はじめに	60
3.2 材料と方法	62
3.2.1 栽培条件	62
3.2.2 調査方法	63
3.3 結果および考察	66
1) デントコーンの生育経過	66
2) デントコーンの乾物収量	66
3) 収穫期における倒伏度合	70
4) 引き倒し法による耐倒伏性の評価	74



3.4	まとめ	78
第4章	デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因解析	79
4.1	はじめに	79
4.2	材料と方法	84
4.2.1	土壌特性	84
4.2.2	根系調査および根の養水分吸収能の評価	86
4.3	結果および考察	94
4.3.1	土壌の物理性	94
1)	三相分布	94
2)	土壌硬度	97
3)	土壌水分張力の推移	99
4.3.2	土壌の化学性	101
1)	土壌pH	101
2)	全窒素含量および易分解性有機態窒素含量	104
3)	可給態リン酸	106
4)	交換性塩基	106
4.3.3	デントコーンの根の養水分吸収能	110
1)	デントコーンの根系発達	110
2)	デントコーンの出液速度	117
3)	デントコーンの深さ別養分吸収速度	119
4.3.4	デントコーンの養分吸収量	121
1)	窒素吸収量	121
2)	リン酸およびカリウム吸収量	124
4.3.5	不耕起栽培でのデントコーンの収量性に対する 総合解析	126
4.4	まとめ	130
第5章	全量基肥・接触施肥法を活用した雑草防除法の改善	132
5.1	はじめに	132
5.2	材料と方法	134
5.2.1	除草剤処理回数の比較	134
1)	栽培条件	134
2)	調査法および分析法	136



5.2.2	除草剤畦散布の効果	137
1)	栽培条件	137
2)	調査法および分析法	138
5.3	結果および考察	139
5.3.1	除草剤処理回数の比較	139
1)	デントコーンの生育経過	139
2)	雑草の種類および被度	139
3)	デントコーンの乾物収量	144
4)	雑草の乾物重	146
5)	デントコーンと雑草の養分吸収量	155
5.3.2	除草剤畦散布の効果	162
1)	デントコーンの乾物収量	162
2)	収穫期における雑草の乾物重	165
3)	収穫期におけるデントコーンと雑草の養分吸収量	171
5.4	まとめ	176
第6章 総括		178
引用文献		185
謝辞		193



## 第1章 緒論

地球規模の環境悪化が問題となっている現在、従来は環境保全的と考えられてきた農業も、環境負荷を与えていることが明らかにされている。その中の一つに土壌侵食がある。土壌侵食とは雨水や風の影響により土壌が流失または飛散する現象のことである。前者は水食、後者は風食という。耕地土壌において土壌侵食により物理性や養分供給に優れた表土が流失すると、土壌の物理性が悪く養分に乏しい下層土で作物を栽培することになり、作物生産性が大きく低下する。それとともに、流失した土砂が水環境に流れると、水質を悪化させ、水生生物への影響も大きい。農耕地で土壌侵食を引き起こす一因となるのは、耕起作業である。耕起作業は、雑草防除、土壌の物理性の改良、適切な播種床の準備などの目的があり、その作物生産に対する効果は大きい。しかしながら耕起作業は、土壌を碎き、細かくするため、土壌侵食に対する風や降雨の影響を受けやすくする。そのため、傾斜地では降雨により表土が流され、平坦地においても、強風によって土壌が飛散する結果となる。

不耕起栽培は、一般的な圃場作業のうち耕耘、碎土および整地作業を省略する栽培法であり、stubble mulching, minimum tillage, strip tillage など省略耕の中で最も土壌の攪乱が少ない栽培法である(三枝, 1995)。その原型は、風食による表土損失防止のために1930年代にアメリカの大穀倉地帯であるグレートプレーンズで行われたstubble mulchingにあるといわれている。stubble mulchingとは、風食及び水食を防ぐために、土壌を反転せずに前作の残渣が表面に残る適度に耕耘し、次の作物の播種まで作物残渣が地面に残る状態にする方法である。当時のアメリカで、嵐によりアメリカ合衆国の中西部で表土が侵食され、大砂塵が発生した。



その砂塵の影響は合衆国東部の都市部にまで及び、国家的な災害となった。そこで事態を重大に考えたアメリカ政府は、1935年に土壤保全法を制定し、世界に先駆けて土壤保全事業を行い、土壤侵食を防ぐ省略的栽培法が進められた。しかしながら不耕起栽培の拡大には、不耕起栽培による作物生産の低下を改善するための技術革新が必要であった。それは、除草剤による雑草防除と不耕起専用播種機による播種精度の向上である。耕起栽培では耕起により雑草が土壤中に反転され、あるいは切断されることにより雑草が防除されるが、不耕起栽培では除草剤に頼らざるを得ない。また不耕起栽培では前作の作物残渣が残るため、溝切り—播種—覆土といった播種作業が困難であり、播種の均一性に欠け、作物収量の低下を引き起こす可能性があった。しかしながら、1940年以降選択的除草剤である2,4-Dの発見等による薬剤除草の進歩と、1970年以降の播種機性能の向上により、不耕起栽培での雑草害と出芽不安定の問題は解決し、作物収量が増加し、省略耕による栽培面積が増大した。現在ではアメリカはもとよりカナダ、ブラジル、メキシコ、オーストラリア、ヨーロッパ諸国など世界各地で不耕起栽培が行われている。アメリカ農務省の試算 (Phillip et al., 1980) では、アメリカ全農耕地のうち不耕起栽培を含む省略耕が1974年には2.7%であったのに対し、2000年には45%に、2010年には50~80%にも達すると予想されている。この広がりを受けて、不耕起栽培の研究は数多く行われており、その特長としては次のことが挙げられる。

- ①風食、水食による土壤侵食の防止
- ②耕起作業の省略による省力・省エネルギー化
- ③地耐圧の増加による大型機械による適期作業が可能
- ④土壤水分の保持



⑤植物残渣が地表面を覆うことによるマルチ効果（鳥害回避，雑草の出芽抑制）

などである。これらの特長について以下に詳しく述べることにする。

①不耕起栽培の土壌侵食防止効果

土壌侵食に関わる因子には降雨(R)，土壌の受食性(K)，圃場の斜面長(L)，傾斜(S)，作物の種類(C)，保全対策(P)があり，年平均流亡土量(A)は汎用土壌流亡予測式“USLE” (Universal Soil Loss Equation : Wischmeier & Smith, 1978)により評価される。

$$A=RKLSCP$$

黒ボク土は軽しゅうであり，傾斜地にも多くみられるため，この点では土壌侵食を受けやすいことが考えられる。写真1.1は黒ボク土において，表層の腐植層が土壌侵食を受け，耕耘により下層土であるB層が露出した様子を示している。このように肥沃な表土が薄くなると，作物の生産性は大きく減少する。またデントコーン栽培では，畦間が広く，草地，ムギ，ダイズなどよりも裸地が多くなるので侵食を受けやすいとされている。そのため，不耕起栽培を含めた保全耕の効果は大きい。耕耘栽培では作物の栽培前に耕耘し，裸地状態にするために，耕された土壌は風による飛散，降雨による水食を受けやすい。一方，不耕起栽培では播種前に除草剤による雑草防除が行われ，播種時には前作の残渣および枯死した雑草の残渣で表面が覆われている。そのため，降雨による衝撃は表面の残渣により低くなるとともに，表層の土壌硬度が高いため，水食や風食を受けにくい。

写真1.2に1999年の耕耘後に発生した黒ボク土の傾斜地におけるの土壌侵食の様子を示した。このように，耕耘2，3日後に強雨により，リル侵食を受けているのが分かる。侵食を受けた溝の深さと幅（上底+下底）





写真1.1 黒ボク傾斜畑での耕耘後の様子  
(東北大学農学部附属農場, 1996年)

左は耕起圃場, 右は不耕起圃場の播種前である.





写真1.2 黒ボク傾斜畑における耕耘後の土壌侵食

(1999年4月28日, 東北大学農学部附属農場, デントコーン)



を10cmおきに測定し、侵食量を概算すると23.7t ha<sup>-1</sup>であった。なお、圃場の斜面長は約150m、傾斜は11°、降雨量は3日間で92mmであった。ここで、作土を深さ15cm、土の仮比重を0.7g cm<sup>-3</sup>とすると、侵食量は作土の約2.4%にあたる。これに対し、隣接する草地土壌では侵食が全く見られなかった。草地土壌は植被率が高く、ルートマットが発達しており、受食性が低い。そのため草地土壌をそのまま不耕起土壌と考えることは出来ないが、それでも耕起土壌と比べ大幅に侵食量の少ないことが予想される。Mannering (1979)によると、不耕起栽培では1回の降雨での侵食量が耕起栽培の15%に抑えられたことを報告している。Langdaleら (1978) は年間で侵食量が7%に抑えられたことを報告している。このように、不耕起栽培による土壌侵食防止効果は高いことが明らかである。

## ②不耕起栽培による省力と省エネルギー

不耕起栽培では、耕耘・整地作業を省略するため、耕起栽培に比べ省力・省エネルギーとなる。デントコーンの全量基肥・耕起栽培の作業行程は、耕耘、整地—播種・施肥—除草剤散布—収穫である。一方、不耕起栽培では除草剤散布—播種・施肥—除草剤散布—収穫となる。ここで、作業効率を次のように仮定する。

作業：使用機械	作業効率 (hr ha <sup>-1</sup> )
耕耘：ロータリーハロー	6.5
播種・施肥：精密播種機	2.2
除草剤散布：ブームスプレーヤー	1.0
収穫：フォーレイジハーベスタ	7.1

(農業土木ハンドブックを参照)

この仮定での圃場作業を合わせた作業効率は、耕起栽培では16.8hr ha<sup>-1</sup>に対し、不耕起栽培では11.3hr ha<sup>-1</sup>となり、5.5hr ha<sup>-1</sup> (33%) の省力と



なる。上記の機械は乗用トラクターと接続して作業を行うので、時間当たりの燃料消費量を $3.2\text{L hr}^{-1}$  (MF265の実測値) とすると $17.6\text{L ha}^{-1}$ の燃料が節約できる。矢吹ら (1991) によると不耕起全量基肥栽培は、耕起-追肥体系の慣行法と比較すると、作業時間で約30%、消費燃料で約40%の節約が可能であると報告している。また、春原ら (1985) はデントコーンの不耕起栽培で耕起栽培と比べ作業時間が27.7%短縮されると報告している。これらは上記の予測と近い値であり、不耕起栽培により約3割の作業時間の短縮が可能であると考えられる。よって、不耕起栽培では作業時間と燃料消費量を大幅に削減できることが明らかである。

#### ③不耕起栽培における大型機械による適期作業

耕起栽培では、耕耘後、降雨により地耐圧が低下すると、大型機械が走行困難となり施肥・播種作業、収穫作業などが出来なくなる。作業適期を逃すと、作物の生育・収量や品質が悪化する可能性がある。それに対し、不耕起栽培では、耕耘を省略するので、耕起栽培に比べ地耐圧が増加する。そのため、多少の降雨では大型機械による作業に支障はなく、適期作業が可能である。

#### ④不耕起栽培による土壌水分の保持

不耕起栽培では、土壌表面に植物残渣があるため、土壌から大気への水分の蒸発を防ぎ、耕起栽培に比べ土壌水分の保持に優れている。また、不耕起土壌は耕耘されていないために、表層から下層にかけて、小動物や根による連続した孔隙が存在する。一方、耕起土壌では、前作にできた根の跡などは、耕耘によりなくなり、均一化される。そのため、不耕起土壌では耕起土壌に比べ、毛細管現象により下層から表層へ水分の供給が行われやすいと考えられる。そのため、不耕起栽培では耕起栽培に比べ土壌水分の保持に優れているという報告が多い (Lal, 1976 ;



Gantzer & Blake, 1978; Unger & Wiese, 1979; Izaurralde et al., 1986; NeSmith, 1987). この土壌水分の保持は、乾燥および半乾燥気候下では、不耕起栽培での作物収量の増収の要因の一つとなっている。

#### ⑤不耕起栽培での植物残渣によるマルチ効果

不耕起栽培での表面の植物残渣はマルチの効果も果たす。すなわち、前述の土壌侵食防止、土壌水分の保持以外に、鳥害防止、雑草発生の抑制である。耕起栽培では、播種後に鳥害により種子が奪われ、作物個体数が減少するが、不耕起栽培では植物残渣のマルチにより鳥害が減少することが考えられる。また、植物残渣のマルチは、地表面への日光の照射を遮ることにより、光発芽性の雑草の発芽阻害や出芽した雑草の生育の抑制が考えられる。

このように、不耕起栽培では、耕耘しないあるいは表面に植物残渣があることによるメリットが多い。一方、不耕起栽培の問題点については次のことが挙げられる。

- ①土壌硬度の増大や地温低下から適用できる土壌や気象条件に制限
- ②施肥法の制限
- ③雑草防除のための除草剤使用量の増加
- ④根菜類の栽培は困難

などである。これらの点について以下に、詳しく述べることにする。

#### ①適用土壌や気象条件に制限

土壌硬度が増加しやすい土壌では、不耕起栽培による土壌硬度の増大は作物根の伸長が抑制されることにより、減収につながる。また、水分過剰になりやすい土壌条件では、不耕起栽培による土壌水分の保持効果が逆効果となり、作物に湿害が起こる可能性がある。また、不耕起栽培での植物残渣のマルチは、日光の照射を遮ることにより土壌温度を低下



させるため、寒冷な気候では作物の生育を抑制する可能性がある。

#### ②施肥位置の制限

不耕起栽培では耕耘しないために、土壌と肥料を混和する全層施肥が出来ない。そのため、肥料を表面あるいはバンド状に施用することになるが、表面施用では肥料利用率が低い、あるいは種子の近くのバンド施用では、速効性肥料の場合、作物の濃度障害が懸念される。このことについては第2章で詳しく述べる。

#### ③除草剤使用量の増加

耕耘の目的の一つに雑草防除があるが、不耕起栽培では耕耘しないことより、雑草防除は除草剤で行わざるを得ない。また、不耕起栽培では中耕も行わないので、作物の生育期間中の雑草防除も除草剤によるところが大きい。除草剤の使用量の増加は、地下水汚染の原因につながる。1990年にアメリカで行われた調査によると、自治体の上水道用井戸のうち10.4%で1種類あるいは数種類の農薬が検出され、民間井戸でも4.2%で1種類あるいは数種類の農薬が検出された（平田，1996）。播種前の雑草防除に使われる非選択的除草剤である茎葉処理剤では、土壌中では微生物により速やかに分解されるため、地下水汚染の原因とはなりにくいと考えられる。しかしながら、播種後の除草剤のうち、土壌処理剤は、土壌中で分解されにくく、溶脱、土壌侵食などにより水源へ流亡し、汚染を引き起こすことになる。そのため、除草剤使用量の増加は、環境負荷を増大させることにもつながる。

#### ④根菜類の栽培が困難

不耕起栽培では土壌硬度が増加することにより、作物根の伸長に影響を与えることが考えられる。特に、根菜類の場合、土壌硬度の増加により根の伸長が抑制すると、収量低下、品質低下を引き起こす。



これらのデメリットのうち、①と④は適切な土壌および作物を選択することにより、問題が回避できる。土壌が圧縮を受けにくく、物理性に優れている黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培はその一例である。

#### ○黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培

黒ボク土は、黒くて“ボクボク”した土であることからこの名前がついた土壌である。アメリカ農務省の土壌分類体系であるSoil Taxonomyで黒ボク土に対応するAndisolsは、世界で1.01億ha、全陸地の0.8%を占めており、その大部分は環太平洋、東アフリカ、地中海などに分布し、そのうち約6割は食糧増産を必要とする人口過密地の熱帯地方に分布している（三枝，1989）。また、日本では国土の16.4%、606万haが黒ボク土で、畑土壌の大半を占めている（渡辺，1987）。このことから、黒ボク土における農業技術の研究は国内外を問わず重要である。黒ボク土は、アロフェンや腐植が多く団粒構造が発達しているため、通気性、保水性、易耕性などの物理的特性に優れている。また黒ボク土は一般的に、有機物含量が高く、無機化による窒素の供給能が高いことが考えられる反面、リン酸吸着活性の高い活性アルミニウムが多く、農業上問題である。しかしながらリン酸および酸性の改良により化学性を改善すれば、高位生産性土壌となるため、黒ボク土における栽培技術の研究は今後ますます重要になると考えられる。

黒ボク土はアロフェンや腐植に富むため、大型機械走行による土壌の圧縮を受けにくいことが報告されている（伊藤ら，1997）。そのため黒ボク土では不耕起栽培を継続しても作物の生育を阻害するほどの土壌圧縮を受けにくいものと考えられる。また、我が国では黒ボク土は傾斜地に多く存在し、軽しゅうであるため土壌侵食を受けやすいことが考えら



れる。そのため黒ボク土で不耕起栽培を行う意義は極めて大きいものと思われる。

平野と林地の間に位置する中山間地では、畜産業が行われており、家畜の餌としての飼料作物の生産が重要な位置を占めている。デントコーンは家畜の嗜好性がよく、単位面積当たりの収量が高い飼料作物である。そのため、中山間地に多い傾斜地においても、土地生産性を高めるためにデントコーン栽培が行われる。しかしながら、傾斜地における一般的な耕起栽培では、前述のように土壤侵食の可能性が高い。一方、デントコーンなどの飼料作物では、畜産生産費を切り下げ、畜産経営を安定化するために、飼料作物自体の生産費を引き下げる必要がある。そのため、労働力や投入エネルギーをできるだけ少なくすることが求められる。そこで、土壤侵食防止と省力・省エネルギーを合わせ持つ不耕起栽培は、黒ボク土のデントコーン栽培に適した栽培技術になりうることが考えられる。

不耕起栽培を考える上で、作物収量の検討は欠かせない。Unger & McCalla (1980) は、多くの既往の収量データから、良好な栽培条件のもとでは耕耘法の違いが収量に及ぼす影響はそれほど多くなく、土壤水分が制限されるような条件下では、不耕起栽培で増収をもたらすことが多いことを報告している。坂井 (1988) は、不耕起栽培の作物収量への影響のレビューの中で、多くの研究結果から不耕起栽培による致命的な収量低下は認められないこと、耕起栽培と比較して減収～増収と結果が様々であることを報告している。湿潤気候である日本の黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培では、耕起栽培と比較し収量に差がないという報告がある (坂井ら, 1987)。しかしながら、この報告では不耕起区で速効性肥料の施用量を増加させても耕起区に比べ収量がやや低い傾



向にあり、施肥量が同じであれば不耕起栽培で減収する可能性は高い。不耕起栽培では、耕耘しないために土壌の攪乱効果による有機態窒素の無機化が促進されず、耕起栽培と比べ土壌からの窒素供給量が少ないことが考えられる。そのため、不耕起栽培における作物の窒素吸収は肥料に対する依存度が高いことが予想され、農地外への肥料用分の流出を抑えるためにも肥料の利用率を向上させる必要がある。現在、肥料の利用率を向上させるには肥効調節型肥料の施用が最も優れていると考えられる。

#### ○肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法

肥効調節型肥料の一つであるポリオレフィン系樹脂被覆肥料は、速効性肥料の周囲をポリオレフィン樹脂で被覆したもので、我が国で開発された。その最も優れた特徴としては、温度に依存して肥料成分が緩効的に溶出することである。作物の生育は温度に依存するため、溶出が温度依存性の肥効調節型肥料を用いることにより、作物の生育に合わせて肥料成分を供給することができる。そのため、肥料を全量基肥施用しても、作物の生育期間に合わせて肥料成分を効率的に供給することが可能であることから、追肥を省略することも可能である。児玉ら（1988）やShoji et al.（1991）はデントコーンの圃場栽培において肥効調節型肥料を用い、全量基肥栽培が可能であること、速効性の硫酸に比べ肥料の利用率が向上することを報告している。東北地方のデントコーン栽培では、追肥時期が梅雨期と重なる。デントコーンの草丈が1m以上になると、機械による追肥は不可能となり、また降雨時には追肥作業が困難なため、降雨が続くとデントコーンの草丈が限界に達し、追肥が行えないことも考えられる。そのため、追肥を省力できることは、大型作物では重要な意味を持つ。



また肥効調節型肥料は、その緩効的な溶出特性から種子と接触させても濃度障害を引き起こしにくい特徴を持つ。Shoji & Gandeza (1992) は肥効調節型肥料と作物種子を接触させる方法を、従来からあった少量の肥料を種子と接触させる方法 (contact application) または肌肥と区別するため、接触施肥法 (co-situs application) と命名した。この接触施肥法は、施肥と播種の同時作業が可能であると共に全量基肥により追肥が省略可能で、従来の速効性肥料を用いた施肥法と比べ施肥作業労力が大幅に軽減できる。また、肥料利用率が高いことから、地下水への硝酸塩の溶脱を抑制し環境負荷を軽減することが可能と考えられる。水稻において、佐藤 (1991) は肥効調節型肥料を用いた全量基肥による育苗箱施肥を開発し、金田 (1995) は接触施肥の一つである肥効調節型肥料の育苗箱全量施肥が、硫安の表面施肥や側条施肥に比べ著しく施肥窒素利用率を向上することを報告している。また、畑作物では、菅野ら (1993) は、デントコーン栽培において全量基肥施用で肥効調節型肥料の接触施肥を行ったところ、硫安の慣行施肥と比べ出芽時の濃度障害を引き起こさず、収量も遜色なかったことを報告している。この接触施肥法は、土壤の攪乱が最小限であり、肥料利用率が高いことから、施肥法が制限される不耕起栽培に適した技術であることが考えられる。矢吹ら (1991) や三枝ら (1992) は、デントコーンの不耕起栽培において、肥効調節型肥料の全量基肥施用が、硫安を用いた慣行栽培に比べ収量に差がなかったことを報告している。しかしながら、追肥の省略および施肥・播種の同時作業により、施肥作業を最も簡略化でき、さらに肥料利用率を向上させる全量基肥・接触施肥法を導入した不耕起栽培の研究報告は皆無である。

肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法では、作物に効率良く肥料成分を供給することにより、雑草による肥料養分の収奪を抑えるこ



とが考えられる。Tomaso (1995) はレビューの中で、深層バンド施肥では、雑草が肥料に到達できず吸収できないことから、雑草量が全層施肥に比べ減少し、インゲンマメやイネで作物収量が増加したことを報告している。そのため、全量基肥・接触施肥法により雑草量を減らすことが可能であれば、除草剤使用量を削減しつつ、作物収量を維持することが可能と考えられる。しかしながら、環境負荷軽減を考慮し、除草剤使用量を削減しつつ、作物収量を維持する研究例は全くみられない。

そこで本論文は、不耕起栽培に新しい施肥法である肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法を適用することにより、現在よりも環境負荷を軽減しかつ作物生産を高位安定させる新しい栽培技術の確立を目的とした。そして、不耕起栽培の問題点である施肥法および除草剤施用法を改善するために、以下の諸点について検討した。

- 1) 不耕起栽培における窒素肥料種が作物収量と肥料利用率に及ぼす影響
- 2) 不耕起栽培における栽植密度と窒素施用量が収量と耐倒伏性に与える影響
- 3) デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因解析
- 4) 全量基肥・接触施肥法を活用した雑草防除法の改善



## 第2章 不耕起栽培における窒素肥料種が作物収量と肥料利用率に及ぼす影響

### 2.1 はじめに

一般的な耕起栽培での施肥法としては、速効性肥料を散布後、肥料と土壌を混和する全層施肥が挙げられる。それに対し、不耕起栽培では全層施肥が出来ないために、表面施肥や播種溝に施用するバンド施肥、あるいはアメリカでは最も多く行われている液体肥料の注入施用に限定され、これらは窒素肥料に関して次のような問題点を持っている。表面施肥は肥料成分の流亡が起りやすく、肥料利用率が低い（諸岡，1993）。速効性肥料を用いたバンド施用では出芽に対する濃度障害が問題（石塚ら，1967）となる。それを回避するためには種子と肥料を分離する間土施肥あるいは側条施肥にする必要があるが、間土施肥は機械作業が困難、側条施肥は土壌攪乱が増加するため、不耕起栽培では困難である。液体肥料（液体アンモニア，Liquid Ammonium；UAN溶液，Urea Ammonium Nitrate solution）の注入施肥は、アメリカ合衆国などで行われている方法（Stecker et al., 1995；Mengel et al., 1982）であり、アルカリ性土壌あるいは尿素の加水分解に伴うpH上昇により、液体アンモニアが気化し、アンモニアとして揮散することにより、環境への負荷が懸念されている。

肥効調節型肥料であるポリオレフィン系樹脂被覆肥料は溶出が温度依存性であり緩やかである。この肥料を用いた接触施肥法（*co-situs application*）（Shoji et al., 1992）とは、全量を基肥として種子と接触させて施用する方法である。その特徴としては、肥料の緩効的な溶出特性により、種子と接触させても濃度障害を引き起こしにくく、肥料成分



の供給が生育後半まで持続的に行われること、肥料の利用効率が向上すること、省力的であることなどが挙げられる。金田（1995）は水稻栽培において、接触施肥の一つである育苗箱全量施肥により、速効性肥料の全層施肥あるいは側条施肥、または肥効調節型肥料の表面施肥あるいは側条施肥に比べ、施肥窒素利用率が向上することを報告している。菅野ら（1993）は、肥効調節型肥料を用い、全量基肥・接触施肥によるデントコーンの耕起栽培を行ったところ、出芽障害を起こさず、デントコーンの収量も追肥体系の慣行栽培とほぼ同等であることを報告している。東北地方のデントコーン栽培では追肥時期が梅雨と重なるため、追肥が困難であり、全量基肥が望ましい。さらに、全量基肥では追肥作業が省略でき、省エネルギー的でもあるため、全量基肥施用の意義は極めて大きい。そのため全量基肥・接触施肥法は、施肥作業を簡略化し、施肥位置が限定される不耕起栽培に適した省力的施肥法であると考えられる。しかしながら畑作物の不耕起栽培に肥効調節型肥料の全量基肥・接触施肥法を導入し、その効果を検討した研究は見当たらない。

そこで本章では、黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培に全量基肥・接触施肥を適用し、出芽、収量、施肥窒素利用率に対する肥効調節型肥料の一つである被覆尿素と速効性肥料の硫酸の影響を明らかにした。さらに、これら肥料種の影響を4年間にわたり耕起栽培と比較し、総合的に検討した。



## 2.2 材料および方法

### 2.2.1 栽培条件

栽培試験は、宮城県玉造郡鳴子町の東北大学農学部附属農場において1995年から1998年の4年間行った。試験圃場では1993年と1994年はダイズの不耕起栽培を行っており、1995年で不耕起継続3年目である。土壌は農耕地土壌分類第3次改訂版（農耕地土壌分類委員会，1995）では普通非アロフェン質黒ボク土に分類される。供試作物はデントコーン（*Zea mays* L.）で、品種はパイオニア3352（RM118）である。

#### ○実験計画法

圃場試験は、不耕起区と耕起区それぞれに窒素肥料種の処理区を組み合わせ、耕起区、不耕起区それぞれに1995年と1996年は1区画3.24m×7.2m（18本×10畦）を2反復で、1997年と1998年は1区画1.8m×2.88m（10本×4畦）を3反復の乱塊法により栽培を行った。

#### ○耕起処理

不耕起栽培およびロータリー耕による耕起栽培を比較した。不耕起栽培は5cm幅の播種溝を作成する以外は一切土壌を攪乱していない。また、デントコーンはホールクroppサイレージを想定しており、作物残渣はほとんど残らない。ロータリー耕は播種前に2回行い、耕作深度は10～15cmとした。

#### ○施肥処理

施肥法は全量基肥・接触施肥とした。肥料種はポリオレフィン系樹脂被覆尿素（以後、被覆尿素）と速効性肥料の硫酸を用い、肥料1種類の2処理、2種類の肥料種を組み合わせた2処理の合わせて4処理とした。施肥処理は表2.1に示した。被覆尿素30+70区と硫酸+被覆尿素70区は、



表2.1. 各栽培年の施肥処理

施肥処理	1995年		1996年		1997年		1998年	
	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起
被覆尿素30+70	○	○	○	○	○	○	○	○
被覆尿素70	○	○	○	○	○	○	—	—
硫安+被覆尿素70	○	○	○	○	○	○	—	—
硫安	○*	—	○	○	○	○	○	○
硫安慣行**	—	○	—	—	—	○	—	○

\*基肥100kg ha<sup>-1</sup>+追肥50kg ha<sup>-1</sup>

\*\*肥料と5cm間土して播種する間土施肥, 基肥100kg ha<sup>-1</sup>+追肥50kg ha<sup>-1</sup>



被覆尿素の30日タイプまたは硫安と被覆尿素70日タイプを1:2で混合した処理区である。なお30日タイプとは25℃水中で肥料成分を80%溶出するのに30日間必要とするものである(藤田, 1995)。被覆尿素30+70区では主に生育初期は被覆尿素30日タイプで、中後期は70日タイプで窒素を供給することを狙いとした。硫安+被覆尿素70区も同様に硫安で初期生育確保を狙っている。この他に、リン酸肥料としてはポリオレフィン被覆重過石30日タイプを用い(1996年は粒状ようりん)、カリ肥料として被覆塩化カリ70日タイプを用いた。施用量はha当たり成分でN 150kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 200kg, K<sub>2</sub>O 150kgとした。なお1996年に用いた粒状ようりんは本試験の施用量では濃度障害を引き起こさないことを確認した。一般的な施肥法と比較するために、1995年および1997年と1998年の耕起区に種子を硫安と5cm離れた間土施肥を行い、基肥(窒素施肥量の2/3)と追肥(1/3)を行う硫安慣行区を設けた。

#### ○雑草防除

播種前に、耕起区では耕耘により、不耕起区では非選択制除草剤であるグリフォサート(0.5ml m<sup>-2</sup>;有効性分41.0%)の散布により雑草防除を行った。なお、除草剤の影響がないように耕起区にもグリフォサートを不耕起区と同量を散布した。播種後、選択制除草剤であるアトラジン(0.15g m<sup>-2</sup>;有効性分47.5%)とアラクロール(0.5ml m<sup>-2</sup>;有効性分43%)を混合して不耕起区と耕起区に背負い式の動力噴霧器で散布した。中耕除草など、その他の雑草防除は行っていない。

#### ○播種

デントコーンの播種は1995年は5月18日、1996年は5月16日、1997年と1998年は5月19日に行った。耕起区ではホー(hoe)により、不耕起区では自作の作溝機を連結した歩行用の耕耘機により5cm幅、深さ3cmの播



種溝を作った。その後、播種溝に手で均一に施肥、播種後、覆土しホーにより鎮圧という手順で行った。写真2.1に不耕起区での肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥の様子を示した。このように、溝に施肥され、その上に直接デントコーンの種子を置くことになる。条間72cm、株間18cmとし、3粒播きで播種を行い、3～4葉期に間引きすることにより1本立とした。

### ○収穫

収穫は黄熟期にあたる1995年は9月12日1996年は9月25日、1997年は9月18日、1998年は9月20日に行った。黄熟期は、サイレージの品質として最も良い時期にあたる（江原薫，1963）。ただし1998年は台風の通過により倒伏が見られたため、収穫時期を早めた。そのため黄熟期には達していなかった。

## 2.2.2 調査方法

### ○出芽調査

出芽時の生育を表わす指標としては、出芽率と完全展開葉数を調査した。調査日は1995年は6月1日、1996年は5月30日、1997年は6月3日、1998年は6月2日で播種後14～15日にあたる。1995年および1996年は各区画45個体を2反復で、1997年と1998年は各区画30個体を3反復で調査した。なお調査は播種した3粒それぞれについて行った。

### ○土壌溶液の電気伝導度とイオン組成

出芽に対する肥料種および耕起法の影響を解析するために、出芽時における種子付近の土壌溶液の電気伝導度（EC）とイオン組成を調査した。1997年は6月3日に、1998年は5月26日および6月3日に土壌溶液採取器（DIK-300A：大起理化工業）を用いて、施肥位置（深さ3cm）の土壌溶





写真2.1 デントコーンの不耕起栽培における肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥



液を3反復で採取した(写真2.2)。採取時間は4~8時間を要した。土壤溶液のECは導電率計(DS-12:堀場製作所),土壤溶液のpHはガラス電極法により測定した。陰イオン濃度はイオンクロマトグラフ法(DX-100:日本ダイオネクス)で,アンモニウム態窒素濃度はインドフェノール法(土壤環境分析法,1997)により測定した。

#### ○肥効調節型肥料の溶出率

肥料の溶出量を調べるため,寒冷紗で作成したメッシュバッグに肥効調節型肥料を3g入れ,それを施肥位置と同じ深さ3cmに播種時に埋設し,播種後3回に分けて回収した。反復数は3とした。回収後,肥料を洗浄,乳鉢で磨碎し,内容物を蒸留水に溶解し,尿素をPDAB法(Watt et al., 1954)により比色定量した。

#### ○出芽速度に対する土壤水分の影響

出芽速度に対する土壤水分の影響を調べるため,圃場容水量,圃場容水量のそれぞれ85%,70%,55%,40%の5段階での出芽速度を調査した。約300ml容の育苗用ポットにあらかじめ上記の水分状態に調整しておいた土壤を湿潤土として250g入れ,デントコーンの種子を4粒ずつ播き,20℃にてインキュベーションした。反復は3とした。播種後1日おきに出芽個体数を調べ,水分量は適宜,インキュベーション開始時における重量と同じになるようにして蒸留水を加えて維持した。

#### ○土壤水分張力

土壤水分状態の影響を明らかにするため,1998年度は土壤水分張力をテンシオメーター(DIK-3100:大起理化工業)により,不耕起および耕起圃場の深さ10cmと30cmの位置で3反復で測定した。

#### ○収量調査

収量調査は1区画当たり各プロットの中央2列から連続3個体(計6個体)





写真2.2 施肥部での土壤溶液の採取方法



の生重量を計量し、そのうち平均的な2個体を70℃、72時間通風乾燥して乾物率を求め、生重量に乗じて乾物重を計算することにより行った。

#### ○施肥窒素利用率

施肥窒素利用率は重窒素トレーサー法によった。すなわち72cm×108cmのマイクロプロットに約3Atom%でラベルされた肥料を施肥し、採取した乾物を粉碎し2mmで篩別したものを分析試料とした。試料は硫酸-過酸化水素分解法（水野&南，1980）により湿式灰化し、発光分光分析法（狩野ら，1947）により、施肥窒素利用率を算出した。

#### ○気温、降水量、日照時間

気象データは、東北大学農学部附属農場内にある気象観測所-AMeDAS-（川渡）のものを用いた。なお1967年～1988年の平均値を平年値とした。



## 2.3 結果および考察

### 2.3.1 出芽に対する耕起法と窒素肥料種の影響

#### 1) 播種後2週間の気象条件

作物種子の出芽速度は、土壌の温度と水分状態に影響を受ける。また、肥料による濃度障害の影響には肥料塩の拡散、溶脱を通して降水量が関与する。4年間の播種日から出芽調査日までの日平均気温と日降水量を図2.1に示した。この間の総降水量は、1995年、1996年、1997年、1998年でそれぞれ52mm、6mm、108mm、64mmであった。平年値は50mmであることから、1995年と1998年は平年並みの雨量、1996年は極度の少雨、1997年は多雨であった。降水パターンをみると、1996年は全体的に少雨で、1995年と1997年は降雨日が続き、1998年は播種後5日目、10日目、15日目に比較的まとまって降水した。1998年の土壌水分(図2.2)は、常に易有効水が存在する適度な水分状態であった。

1995年も降水量から適度な水分状態であったと考えられる。これに対して、1996年は乾燥状態、1997年は過湿な状態で推移したと考えられる。

出芽期間中の平均気温は、1995年は14.9℃、1996年は14.1℃、1997年は12.9℃、1998年は16.7℃であった。温度の面からの生育速度は1998年が最も早く、1997年が最も遅いと推定された。

#### 2) 施肥窒素の形態と耕起法による出芽率の変動

最終的な出芽率や出芽の遅速は初期生育を通して作物の収量に大きな影響を与える。図2.3に播種後14日間の積算降水量と出芽率の関係を示した。肥料種と耕起法の組み合わせで比較すると、不耕起・被覆尿素30+70区では降水量の異なる4年間とも出芽率が81~93%と安定して高い値が得られ、耕起・硫安慣行区と比べても同等の出芽率であった。



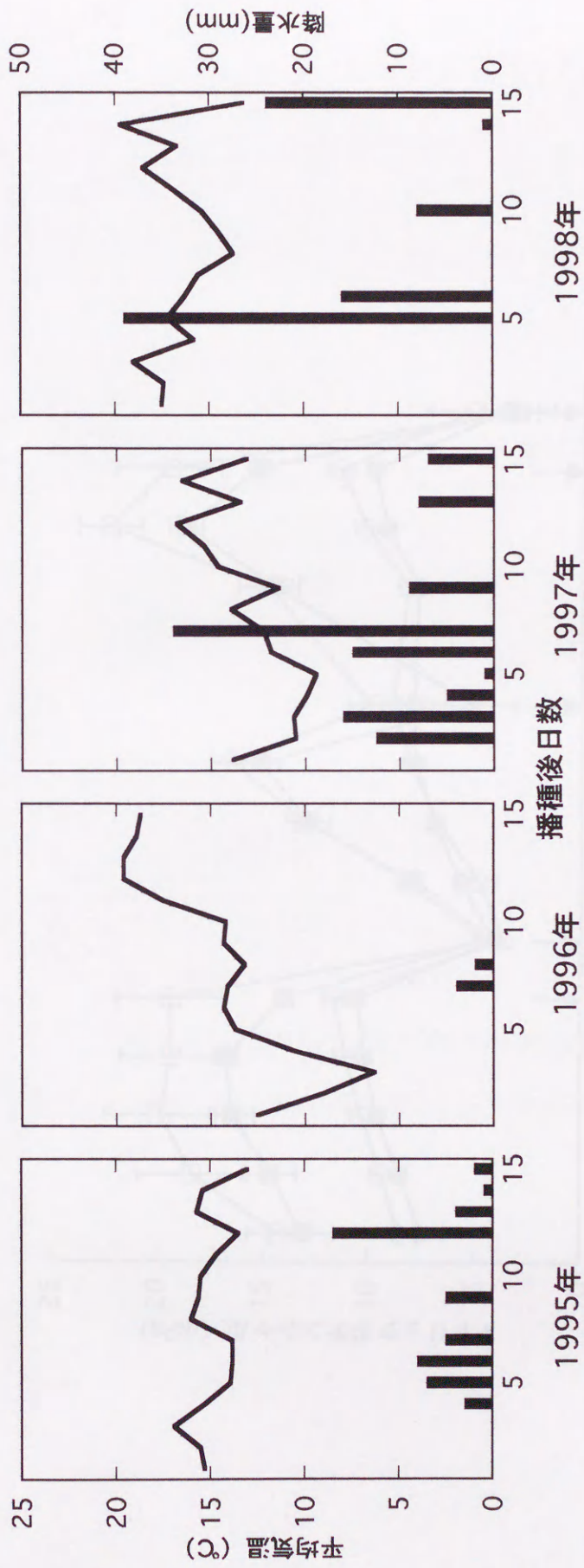


図2.1 播種後15日間の日平均気温と日降水量

図中の折れ線は平均気温を、棒は降水量を示す。



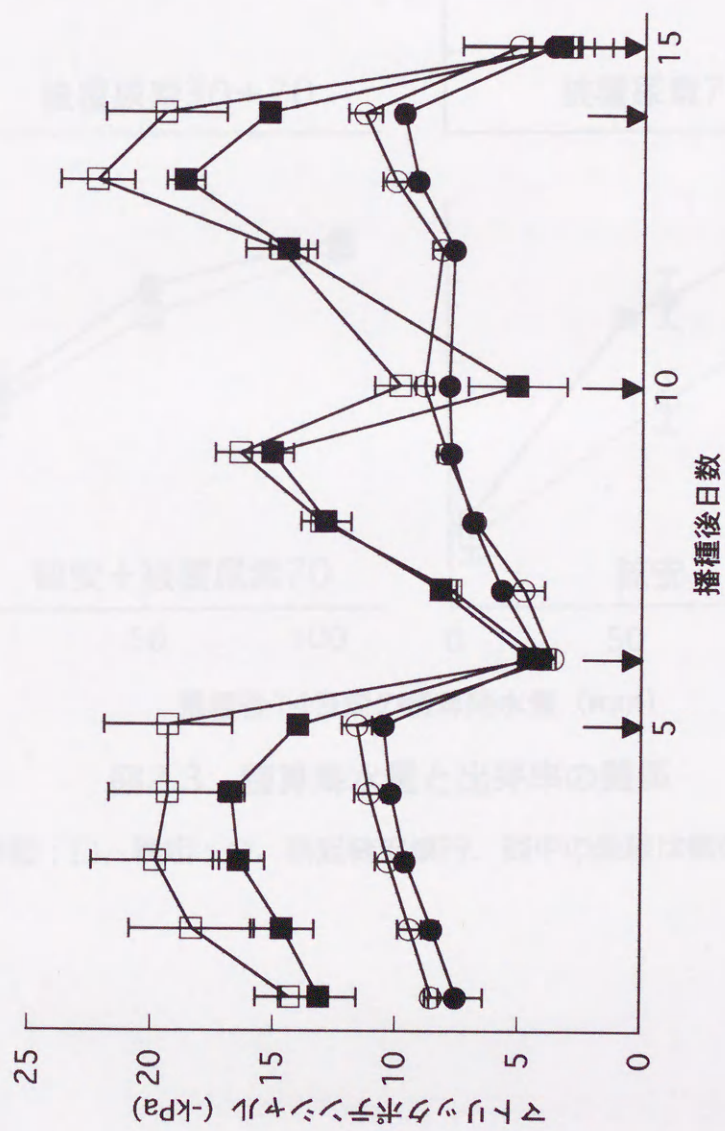


図2.2 出芽時における土壌水分張力の推移 (1998年)

■, 不耕起10cm; □, 耕起10cm; ●, 不耕起30cm; ○, 耕起30cm. ↓は降雨日, 図中の垂線は標準誤差を示す.



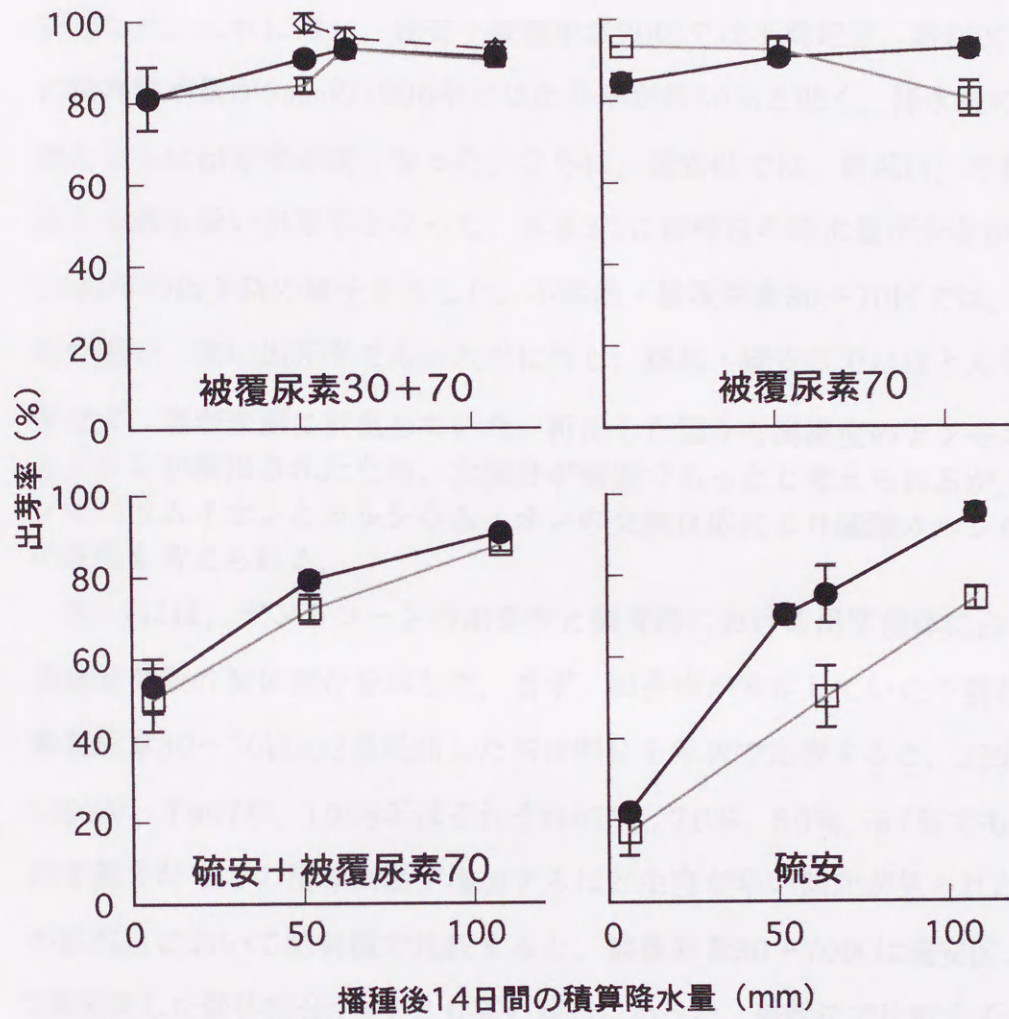


図2.3 積算降水量と出芽率の関係

●, 不耕起; □, 耕起; ◇, 耕起硫安慣行. 図中の垂線は標準誤差を示す.



耕起・被覆尿素区の出芽率は不耕起・被覆尿素区とほぼ同じ値を示した。被覆尿素70区も不耕起区、耕起区ともに、降水量によらず出芽率が高く安定した。これに対し、硫安+被覆尿素70区では不耕起区、耕起区ともに積算降水量が6mmの1996年には出芽率が約50%と低く、降水量の増加とともに出芽率が高くなった。さらに、硫安区では、耕起区、不耕起区とも最も低い出芽率となった。写真2.3に播種後の降水量が少なかった1996年の出芽時の様子を示した。不耕起・被覆尿素30+70区では、出芽が揃い、高い出芽率であったのに対し、耕起・硫安区ではほとんど出芽せず、塩が表面に析出していた。析出した塩から高濃度のアンモニウムイオンが検出されたため、大部分が硫安であったと考えられるが、アンモニウムイオンとカルシウムイオンの交換反応により硫酸カルシウムの析出も考えられる。

表2.2には、デントコーンの出芽率と調査時における出芽個体に占める各展開葉数の個体割合を示した。まず、出芽率が安定していた不耕起・被覆尿素30+70区の2葉展開した個体割合を年次で比較すると、1995年、1996年、1997年、1998年はそれぞれ67%、70%、50%、87%であり、出芽調査時までの積算気温が増加するほど生育が早い傾向が見られた。不耕起区において肥料種で比較すると、被覆尿素30+70区は硫安区より2葉展開した個体割合が4年とも高い傾向にあった。耕起法で比較すると、被覆尿素区では1996年、1997年では両区に大きな違いは見られなかったが、1995年では2葉展開の個体割合が不耕起区で67%であるのに対し、耕起区では49%、1998年では不耕起区で87%に対し、耕起区で53%と不耕起区で生育が早かった。写真2.4に播種後の畦の様子を示した。降水が数日ない場合、耕起区の畦では土壌の乾燥により、表面の色の明度が増しているのに対し、不耕起区の畦では土壌水分により、明度が低いことが分かる。





写真2.3 全量基肥・接触施肥による出芽時の様子（1996年）  
上は不耕起・被覆尿素30+70区，下は耕起・硫安区。



表2.2. 異なる耕起処理と施肥処理における出芽率および各展開葉数の個体割合

	耕起処理	施肥処理	出芽率 (%)	各展開葉数の個体割合 (%)		
				2葉	1葉	無展開
1995年	不耕起	被覆尿素30+70	91	67	24	9
		被覆尿素70	91	65	27	8
		硫安+被覆尿素70	79	31	39	30
		硫安*	70	1	49	50
	耕起	被覆尿素30+70	84	49	37	14
		被覆尿素70	92	49	37	14
		硫安+被覆尿素70	72	8	41	51
		硫安慣行	99	54	42	3
1996年	不耕起	被覆尿素30+70	81	70	20	10
		被覆尿素70	84	67	24	9
		硫安+被覆尿素70	53	35	40	25
		硫安	22	25	40	35
	耕起	被覆尿素30+70	81	71	21	8
		被覆尿素70	93	88	11	1
		硫安+被覆尿素70	50	27	44	29
		硫安	17	20	20	60
1997年	不耕起	被覆尿素30+70	91	50	39	11
		被覆尿素70	93	45	40	15
		硫安+被覆尿素70	91	54	36	10
		硫安	95	39	45	16
	耕起	被覆尿素30+70	90	45	47	8
		被覆尿素70	80	45	47	8
		硫安+被覆尿素70	88	49	45	6
		硫安	74	33	53	14
		硫安慣行	93	51	47	2
1998年	不耕起	被覆尿素30+70	93	87	12	1
		硫安	75	9	55	36
	耕起	被覆尿素30+70	93	53	44	3
		硫安	50	3	32	65
		硫安慣行	96	90	8	2

\*基肥+追肥





写真2.4 播種後の畦の様子  
上は不耕起区，下は耕起区.



図2.4は出芽速度に対する土壌水分の影響を示したものである。これより土壌水分含量が高いほど、出芽速度が速いことが分かる。このことから不耕起区では耕起区に比べ土壌水分が多いことが、不耕起区で耕起区に比べ出芽が速く、出芽調査時での生育が進んでいた原因といえる。

耕起・硫安慣行区の1995年、1997年、1998年の出芽率および2葉展開割合はそれぞれ99%、93%、96%および54%、51%、90%であった。これは不耕起・被覆尿素区の値とほぼ同じであり、不耕起・被覆尿素区は出芽に関しては耕起・硫安慣行区とほぼ同等の値が得られることが明らかとなった。

以上より、被覆尿素区では土壌の水分状況の異なる4年とも81~93%と高い出芽率を示した。これに対し、硫安+被覆尿素70区の出芽率は50~91%、硫安区の出芽率は22~95%と、速効性肥料を50kg ha<sup>-1</sup>または100kg ha<sup>-1</sup>を接触施肥すると、硫安の濃度障害により、播種後14~15日間の降水量によって大きく変動することが明らかとなった。菅野ら（1993）はポット試験で、肥効調節型肥料の接触施肥で90%以上出芽したことを報告しており、本試験では圃場条件でありながら、それに近い出芽率を確保した。よって不耕起栽培において被覆尿素を全量基肥・接触施肥しても、高い出芽率が安定的に確保できることが明らかとなった。さらに、慣行的な施肥法（硫安の間土施肥、追肥体系）と比べても出芽率はほぼ同等であった。

### 3) 播種位置における土壌溶液の塩類濃度

土壌溶液の塩類濃度が高まると、種子は吸水が遅れ(佐藤, 1984)、高濃度の場合は濃度障害により作物は出芽できなくなることもある。EC（電気伝導度）は全塩類濃度の尺度となる（松本, 1993）ので、ECにより塩類濃度を推測できる。図2.5は1997年と1998年の各処理区の施肥



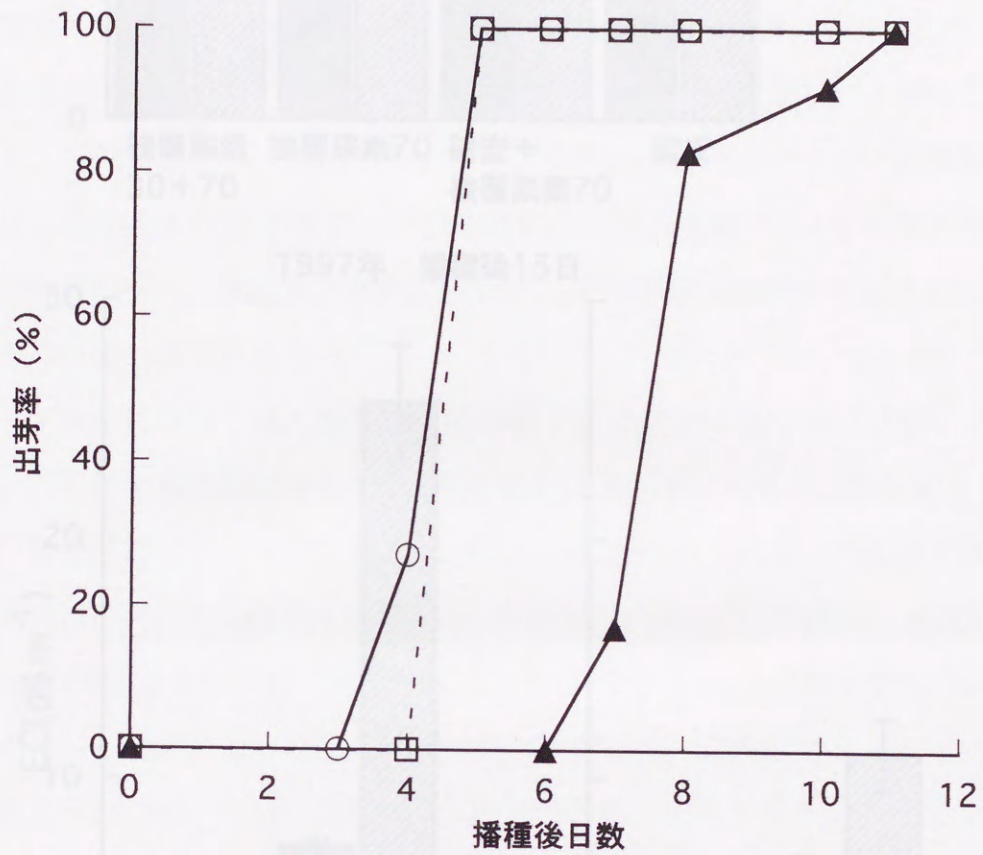


図2.4 土壤水分含量と出芽率の関係

○, 圃場容水量 ; □, 圃場容水量の70% ; ▲, 圃場容水量の40%.



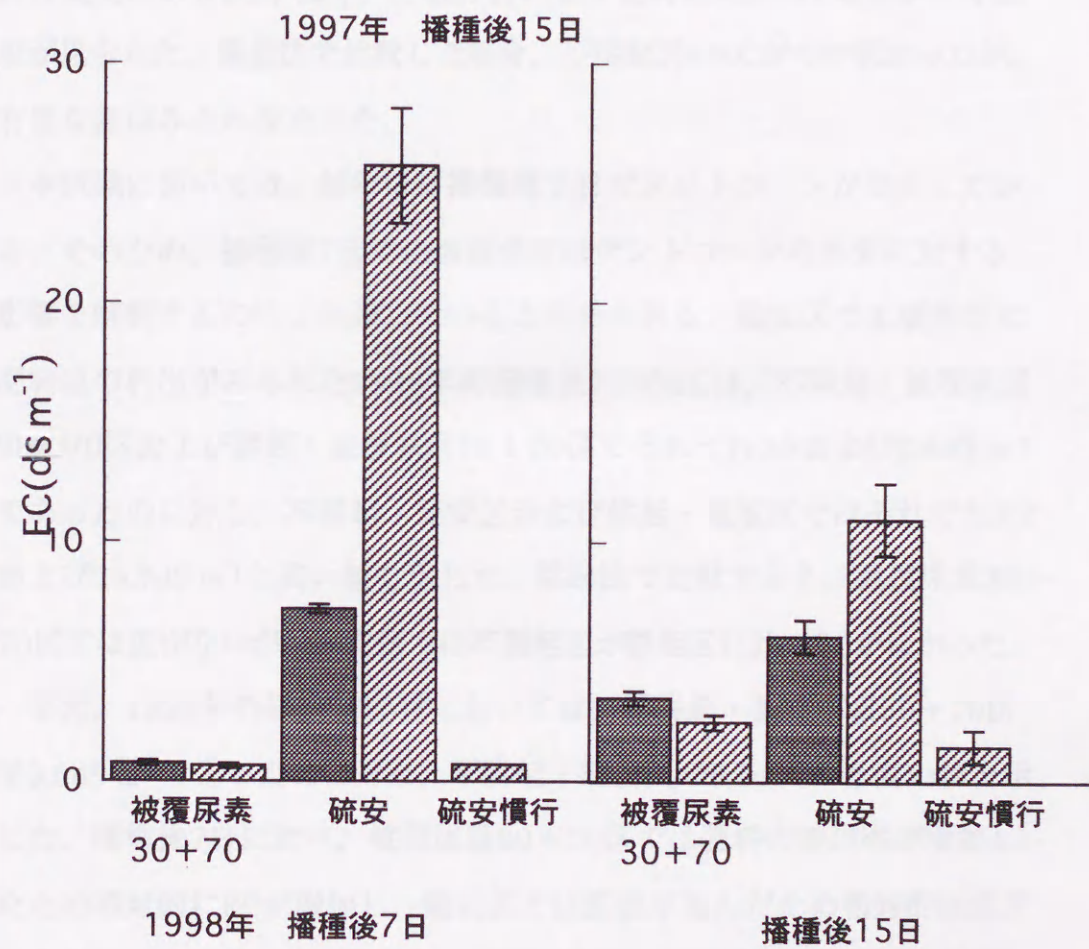
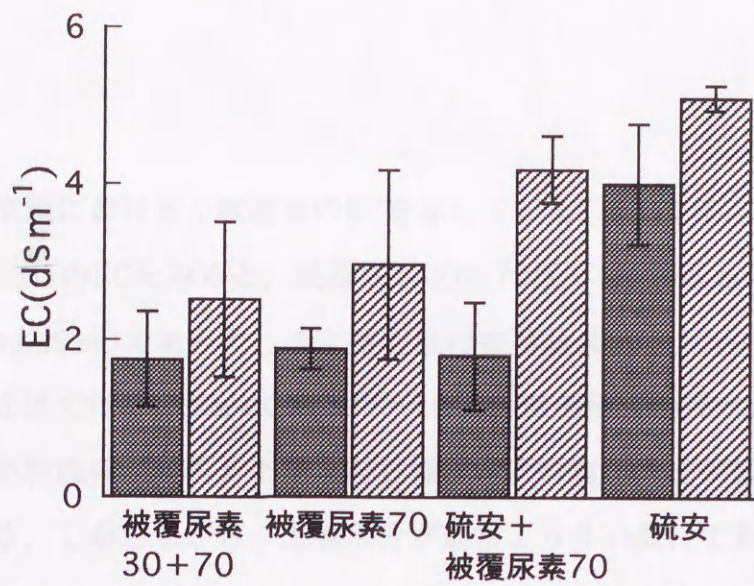


図2.5 施肥位置における土壤溶液の電気伝導度

■ 不耕起    ▨ 耕起    図中の垂線は標準誤差を示す。



位置における土壤溶液のECを示している。1997年の不耕起区の播種後15日のECをみると、被覆尿素30+70区では $1.8\text{dS m}^{-1}$ に対し硫安区では $4.0\text{dS m}^{-1}$ であった。また耕起区の被覆尿素30+70区では $2.5\text{dS m}^{-1}$ 、硫安区では $5.1\text{dS m}^{-1}$ であった。1997年は播種後の降水量が多かったので、肥料成分が溶脱および拡散し種子付近の塩類濃度が低下したと考えられる。しかしながら、土壤水分が通常より多い条件であっても、被覆尿素区は硫安区よりECが低く、分散分析により肥料種間には1%水準で有意差が見られた。耕起法で比較した場合、不耕起区のECがやや低かったが、有意な差はみられなかった。

本試験においては、毎年ほぼ播種後7日でデントコーンが出芽している。そのため、播種後7日での塩類濃度はデントコーンの出芽に対する影響を解析するのにより適していると考えられる。硫安区で土壤表面に肥料塩の析出がみられた1998年の播種後7日のECは、不耕起・被覆尿素30+70区および耕起・被覆尿素30+70区でそれぞれ0.8および $0.6\text{dS m}^{-1}$ であったのに対し、不耕起・硫安区および耕起・硫安区ではそれぞれ7.2および $25.7\text{dS m}^{-1}$ と高い値を示した。耕起法で比較すると、被覆尿素30+70区では差がないが、硫安区では不耕起区が耕起区に比べECが低かった。

また、1998年の播種後15日においては、不耕起・被覆尿素30+70区で $3.5\text{dS m}^{-1}$ であったのに対し、不耕起・硫安区で $6.1\text{dS m}^{-1}$ と高い値を示した。播種後7日に比べ、被覆尿素30+70区では肥料の溶出率が増加したため相対的にECが増加し、硫安区では拡散が進んだため相対的に低下したと考えられる。また耕起法で比較すると、播種後7日と同様に硫安区で不耕起区が耕起区より低い値を示した。これは土壤水分による肥料成分の拡散が原因と考えられる。図2.2によれば、降水のない期間は、深さ10cmの土壤水分張力が耕起区に比べ不耕起区で低く推移しており、不



耕起区の表層土壌がより湿潤であったことが明らかである。深さ30cmの土壌水分はほとんど違いは見られなかった。不耕起土壌の表層では耕起土壌のそれより有効水分量が多いことが知られている (Unger et al., 1979; Norwood, 1994; Unger, 1994; Bordovsky et al., 1994)。その理由としては、耕耘しないため作土から下層まで毛管がつながっており、下層から水分が供給されることが考えられる。土壌水分が多い不耕起土壌では、耕起土壌よりも肥料塩の拡散が進みやすく、土壌溶液の塩類濃度が低下しやすいと考えられる。塩類濃度を高めやすい硫安の施用では耕起法によりECに違いを生じたが、被覆尿素施肥では、塩類濃度が低い状態に保たれるために、速効性肥料に比べ拡散速度が相対的に遅く土壌水分量の違いが現れにくかったものと考えられる。

耕起・硫安慣行区では、1998年の播種後7日および15日の土壌溶液ECはそれぞれ0.7および1.5dS m<sup>-1</sup>であった。不耕起・被覆尿素30+70区と比較すると、播種後7日ではほぼ同じ値であり、播種後15日では不耕起・被覆尿素30+70区で値がやや高くなった。このことより、不耕起・被覆尿素30+70区では播種後7日までは耕起・硫安慣行区と同程度に塩類濃度が低く維持されていることが明らかとなった。

1998年播種後15日での被覆肥料の溶出率は被覆尿素30日タイプで23%、70日タイプで9%、被覆重過石30日タイプで29%、被覆塩化カリ70日タイプで21%であった。被覆尿素においては、この時点で施肥量ha当たり150kgN中20.5kgN溶出していたことになる。リン酸とカリ肥料は各処理区とも同条件であるので、窒素肥料についてのみ考察すると、硫安区では施肥量の全量が土壌溶液に溶け出している可能性があるのに対し、被覆尿素では施肥量の約14%しか溶出していないことになる。硫安と尿素では、同量であれば硫安の方がECを高めやすく (諸岡, 1982)、さ



らに被覆尿素30+70区では播種後2週間での肥料の溶出量が低いことから、硫安区より窒素肥料によるECの上昇を低く抑えることができたことは明らかである。

以上より、被覆尿素は肥料成分の溶出が緩やかであるので、硫安に比べ、全量を種子と接触施肥しても種子付近の土壤溶液ECを高めにくく、1996年のような乾燥条件であっても濃度障害を引き起こしにくいことが明らかとなった。

#### 4) 施肥位置での土壤溶液の組成

出芽時における硫安区でのEC上昇の主要因を明らかにするため、1998年の出芽調査時における施肥位置での土壤溶液の組成を調査した(表2.3)。

播種後7日での土壤溶液のpHは被覆尿素区で7.5~7.9、硫安区で5.4~5.7を示した。被覆尿素から溶出した尿素はウレアーゼによる加水分解によってアンモニアと炭酸に分解されたため、被覆尿素区ではpHが上昇したと考えられる。硫安区では硫酸イオンによりpHが低下したと考えられる。播種後15日での被覆尿素区でpHが低下したのは、硝酸化成による硝酸イオンの増加が原因と推測できる。

硫酸イオンは、大部分が硫安由来のもので、被覆尿素区ではほとんどみられなかった。硫安区では土壤溶液の硫酸イオン濃度が陰イオンの中で最も高く、また不耕起区で耕起区よりも5%水準で有意に濃度が低かった。これは、不耕起区の方が溶脱もしくは拡散が進んでいたためと考えられる。

リン酸イオンは黒ボク土では活性アルミニウムに特異吸着される(三枝, 1989)ため、土壤溶液にはほとんどでてこない。そのため、施肥しても他のイオンと比べ濃度が低かった。不耕起区では耕起区に比べリン



表2.3 施肥位置での土壌溶液のpH、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、陰イオン組成 (1998年)

播種後7日	mmol L <sup>-1</sup>						
	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
不耕起 被覆尿素30+70	7.9	1.3	3.2	2.1	0.1	0.1	
不耕起 硫安	5.7	27.5	5.2	3.1	0.5	23.2	
耕起 被覆尿素30+70	7.5	1.3	2.2	2.2	0.0	0.1	
耕起 硫安	5.4	193.2	6.7	2.1	0.0	164.0	
Fertilizer(F)	**	**	*	NS	NS	**	**
Tillage(T)	NS	**	NS	NS	NS	**	**
F×T	NS	**	NS	NS	NS	**	**

播種後15日	mmol L <sup>-1</sup>						
	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
不耕起 被覆尿素30+70	6.9	7.6	7.9	21.6	0.7	0.2	
不耕起 硫安	5.2	21.1	8.1	24.0	0.4	13.7	
耕起 被覆尿素30+70	6.9	6.8	4.1	17.1	0.0	0.1	
耕起 硫安	5.6	72.6	5.6	10.7	0.1	52.5	
Fertilizer(F)	**	**	NS	NS	NS	**	**
Tillage(T)	NS	**	NS	NS	**	*	*
F×T	NS	**	NS	NS	NS	*	*

F、T、F×Tは、分散分析による肥料種、耕起法、肥料種と耕起法の交互作用の有意差を示している

\*\* ; 1%、\* ; 5%、NS ; 有意差なし



酸イオンが高くなる傾向が見られたが、これは、施肥溝の違いによるものと考えられる。不耕起区の施肥溝は硬く肥料の移動もほとんどないのに対し、耕起区では施肥後の覆土と鎮圧により肥料と土壌の接触面積が増加する。黒ボク土においてはリン酸肥料は土壌と接触するほど固定を受ける（吉田ら、1996）。そのため、土壌と肥料の接触が相対的に少ない不耕起区では被覆リン肥料から溶出したリン酸が固定を受けにくいのに対し、より接触が多い耕起区でリン酸固定を受けやすかったものと考えられる。

土壌溶液の全陰イオン濃度と電気伝導度の関係（図2.6）をみると、ECは全陰イオン濃度と直線的な比例関係（ $Y=0.76X+0.53$ ,  $r^2=0.98$ ）にあった。これは、ECとアニオン濃度合計量との関係が直線的関係にある（亀和田、1991）という報告と一致している。施肥由来の陰イオン全体の中では塩化物イオンとリン酸イオンの濃度は低く、硝酸イオンは処理間には差がみられないことから、硫安区でECを高めた<sup>陰イオンの中では</sup>主要因は硫酸イオンであることが明らかである。また硫安区では施肥由来の陰イオン全量の半分以上のアンモニウムイオンが存在しており、施肥された陽イオンのうち主要なものはアンモニウムイオンであることがわかる。よって、硫安区でECを高めた主要因は施肥由来の硫安である。

以上より、不耕起栽培において被覆尿素を全量基肥・接触施肥しても、種子付近の塩類濃度が高まりにくく、出芽時の積算降水量の異なる4年間ともデントコーンの出芽率が高く安定した。そのため、出芽率からは、被覆尿素30+70区および被覆尿素70区が全量基肥・接触施肥に適した窒素肥料種であると考えられた。圃場条件下で肥効調節型肥料の全量基肥・接触施肥による作物の出芽に対する効果を検討した研究はこれまでなかったため、本結果は今後圃場試験において検討する上で重要な指標と



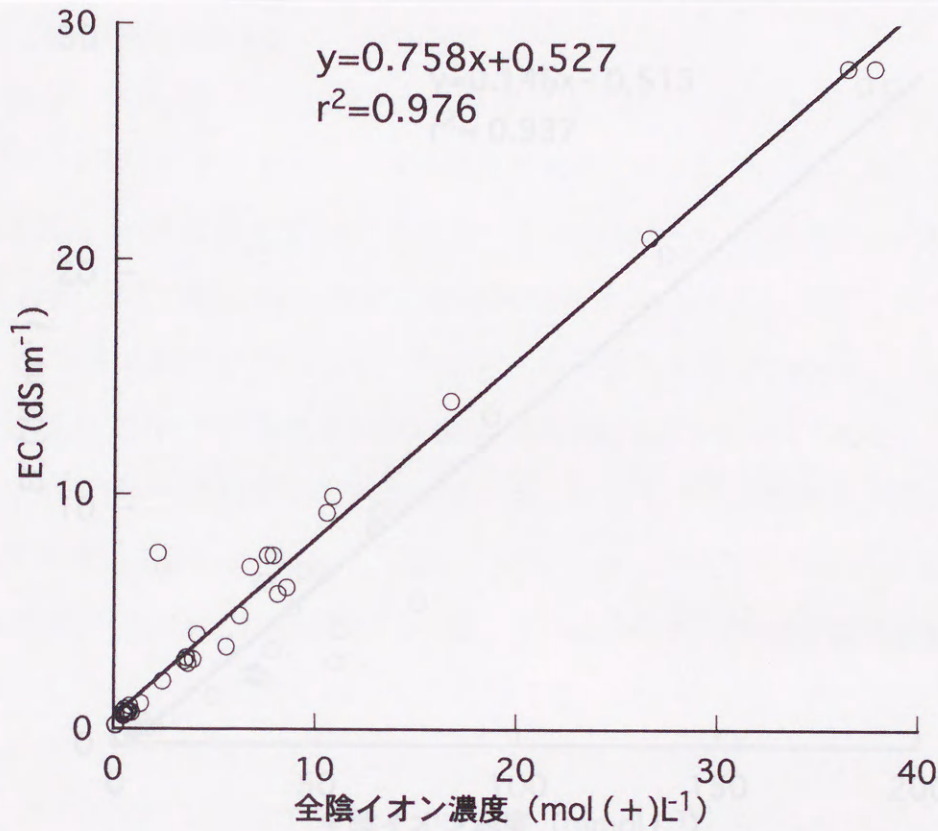


図2.6 施肥位置での土壌溶液の全陰イオン濃度と電気伝導度との関係



なるであろう。

### 2.3.2 収量および施肥窒素利用率に対する耕起法と窒素肥料種の影響

#### 1) 栽培期間中の気象

気温、降水量、日射量などの気象要因は作物の生育に大きな影響を及ぼす。4年間のデントコーン栽培期間中の半旬別の平均気温、降水量を図2.7に、日照時間を図2.8に示した。栽培期間中の平均気温は1995年、1996年、1997年、1998年でそれぞれ19.5℃、19.4℃、19.7℃、19.6℃と4年ともほぼ同じであった。栽培期間中の総降水量は1995年、1996年、1997年、1998年でそれぞれ908mm、584mm、820mm、1140mmであった。1967年～1988年の平均値を平年値とすると、栽培期間中の降水量の平年値は672mmであった。またトウモロコシの生育期間中の好適降水量は400～800mmとされている（崔，1994）ので、1995年および1998年はトウモロコシ栽培においては多雨であったといえる。栽培期間中の日照時間の合計は1995年、1996年、1997年、1998年でそれぞれ342時間、394時間、362時間、306時間であった。日照時間の平年値（423時間）に対して、1998年は72%とかなり少なかった。このことから、気象生産力としては水分不足が起こらないとすると、1996年>1997年>1995年>1998年であったと推測される。

#### 2) デントコーンの生育経過

デントコーンの生育経過として草丈を図2.9に示した。不耕起・被覆尿素30+70区では、各年とも耕起・硫安慣行区に比べ、草丈が高く推移した。また、不耕起・被覆尿素30+70区では耕起・被覆尿素30+70区に比べ、草丈が同じかやや高めに推移した。窒素肥料種で比較すると、不耕起・被覆尿素30+70区では不耕起・硫安区に比べ高く推移し、特に降



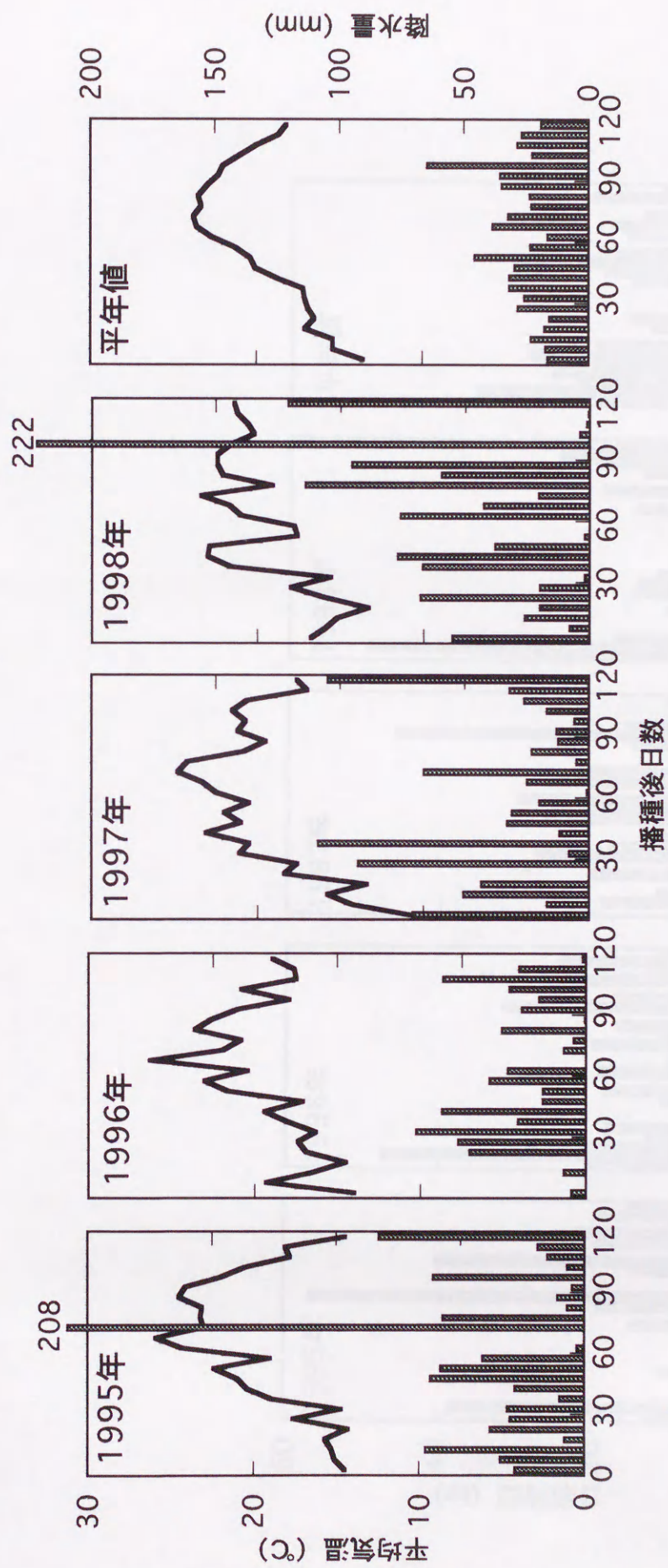


図2.7 栽培期間における半旬別平均気温と降水量

図中の折れ線は平均気温を、棒は降水量を示す。



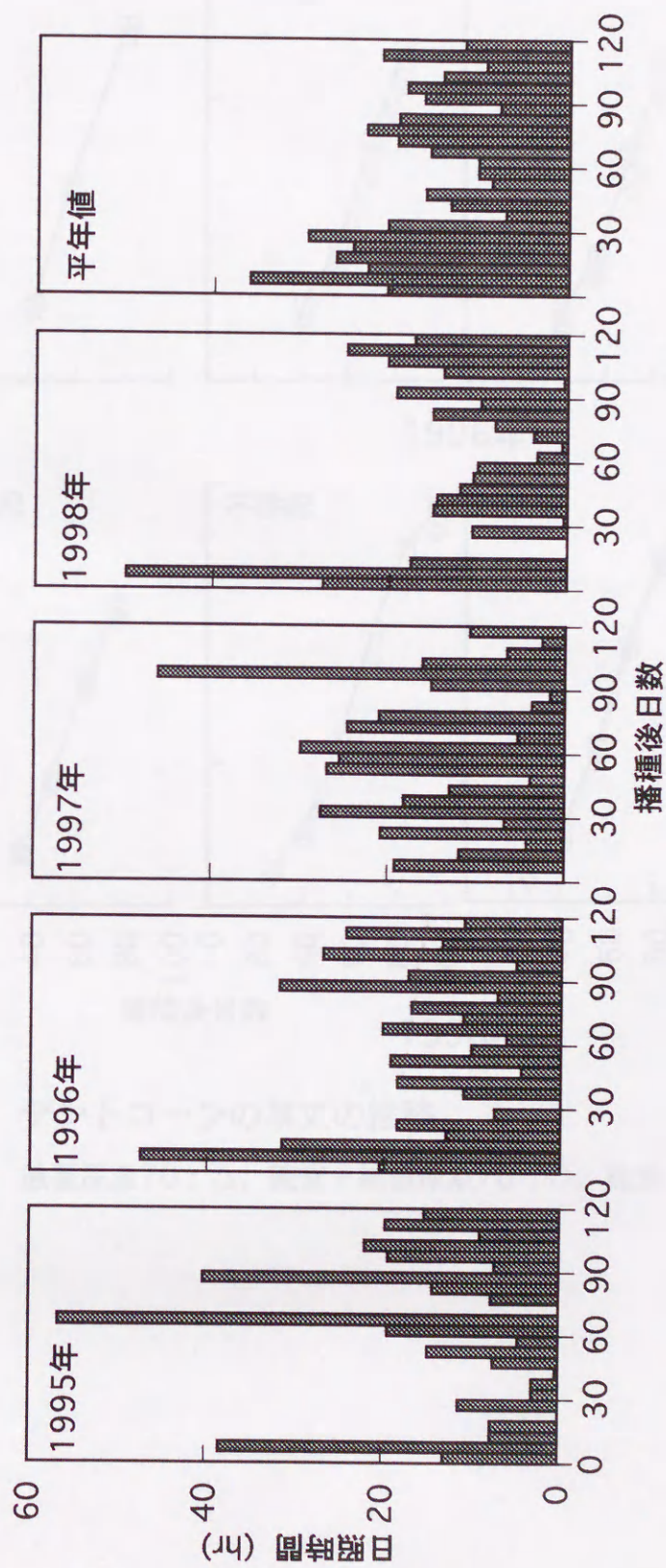


図2.8 栽培期間における半旬別日照時間



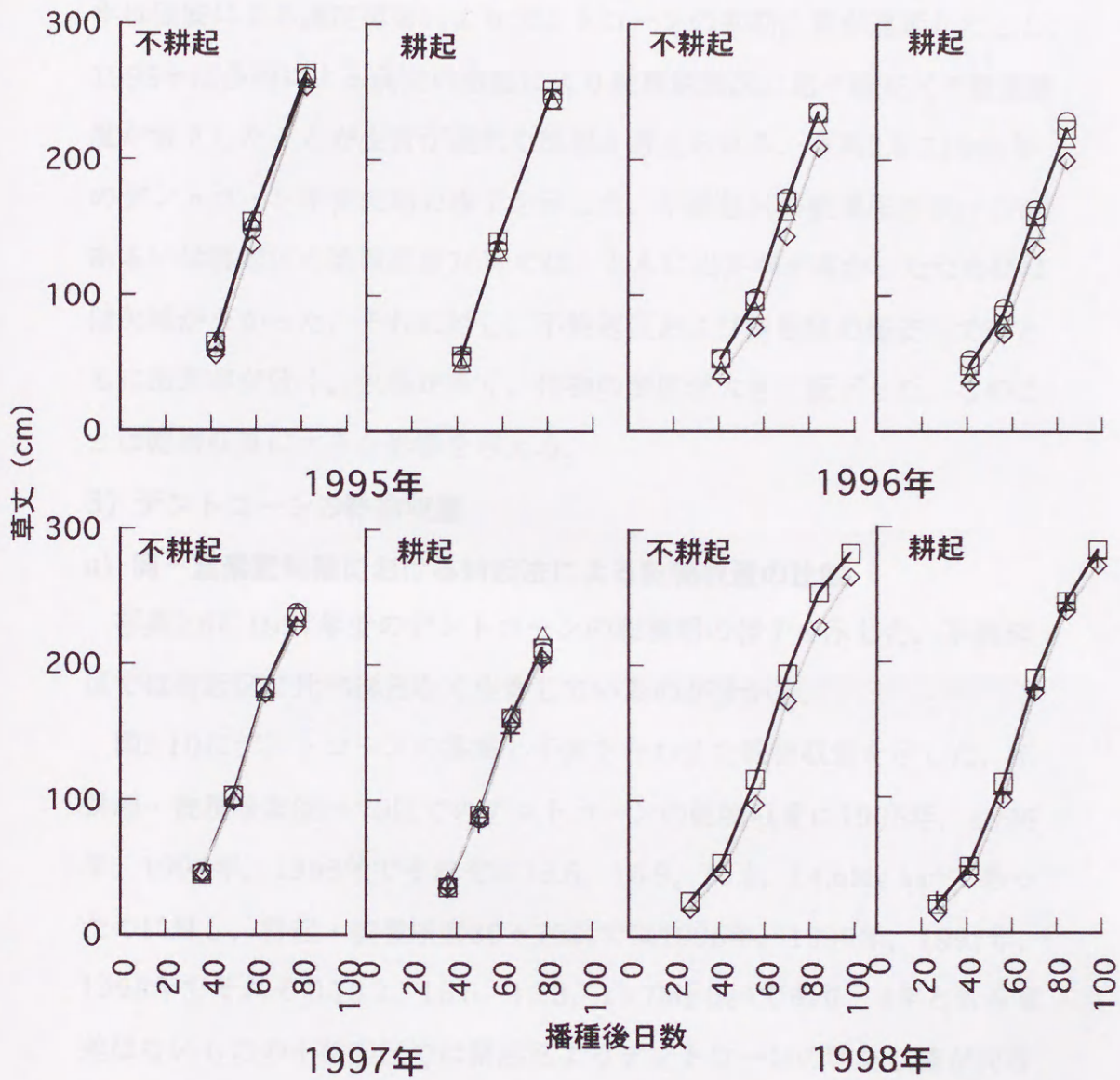


図2.9 デントコーンの草丈の推移

□, 被覆尿素30+70 ; ○, 被覆尿素70 ; △, 硫安+被覆尿素70 ; ◇, 硫安 ;  
+, 硫安慣行



水量の少ない1996年と降水量の多い1998年では差が大きかった。1996年は硫安による濃度障害によりデントコーンの初期生育が遅延したこと、1998年は多雨による硫安の溶脱により被覆尿素区に比べ硫安区で窒素濃度が低下したことが生育が遅れた原因と考えられる。写真2.5に1996年のデントコーン生育初期の様子を示した。不耕起区の被覆尿素30+70区あるいは耕起区の被覆尿素70区では、ともに出芽率が高かったためにほぼ欠株がなかった。それに対し、不耕起区および耕起区の硫安区ではともに出芽率が低く、欠株が多く、作物の密度が大きく低下した。このことは乾物収量に大きな影響を与える。

### 3) デントコーンの乾物収量

#### a) 同一窒素肥料種における耕起法による乾物収量の比較

写真2.6に1997年でのデントコーンの収穫期の様子を示した。不耕起区では耕起区に比べ遜色なく生育しているのが分かる。

図2.10にデントコーンの茎葉と子実を合わせた乾物収量を示した。不耕起・被覆尿素30+70区でのデントコーンの乾物収量は1995年、1996年、1997年、1998年でそれぞれ19.6, 16.9, 15.8, 14.6Mg ha<sup>-1</sup>であったのに対し、耕起・被覆尿素30+70区では1995年、1996年、1997年、1998年でそれぞれ18.2, 16.5, 15.3, 13.7Mg ha<sup>-1</sup>であり、4年とも有意差はないものの不耕起区では耕起区よりデントコーンの乾物収量が同等か高い傾向にあった。1995年が他の3年と比較し乾物収量が高いのは、前作である1993年と1994年にダイズを栽培したため、土壌窒素の供給量が多く、作物生育に有利であったためと考えられる。被覆尿素70区および硫安+被覆尿素70区での乾物収量も、3年とも有意差はないものの不耕起区で高い傾向が見られた。硫安区では1996年と1997年は、耕起区に比べ不耕起区で乾物収量が高い傾向が見られ、1998年は耕起区で収





写真2.5 デントコーンの生育初期の様子（1996年）

上（不耕起区）の左は硫安区，右は被覆尿素30+70区，下（耕起区）の左は被覆尿素70区，右は硫安区。





写真2.6 デントコーンの収穫期の様子 (1997年)  
左は不耕起区, 右は耕起区.



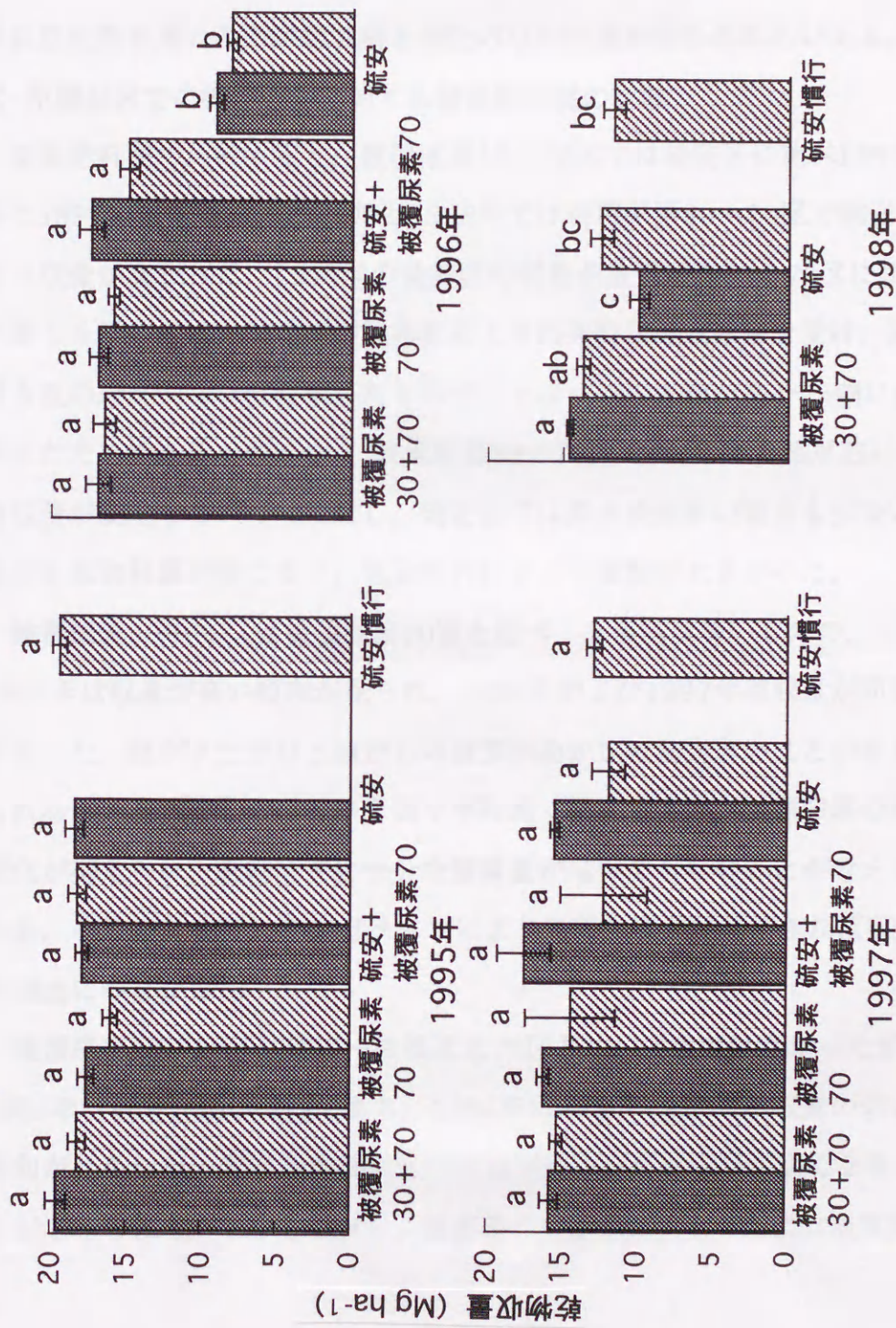


図2.10 デントコーンの乾物収量  
 不耕起 耕起 硫安慣行  
 図中の垂線は標準誤差を，異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。



量が増加した。東北大学農学部附属農場で5年間（1990年～1994年）不耕起栽培を行った結果においても、被覆尿素を用いた不耕起栽培では、耕起栽培と同等のデントコーン収量であった（Ito et al., 1997）。このことから、黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培において、肥効調節型肥料を用いると耕起栽培と遜色のない収量が得られるといえる。

#### b) 不耕起区での乾物収量に対する窒素肥料種の比較

窒素肥料種で比較すると、被覆尿素30+70区では硫安区に比べ1995年と1997年は同等で、1996年と1998年では被覆尿素30+70区で硫安区より収量が高かった。1996年の硫安区の収量が被覆尿素30+70区に比べ著しく低いのは、硫安の接触施肥により出芽時に濃度障害を受け、間引き後の最終的な単位面積当たりのデントコーンの本数が約4～5割に減少したためである（表2.4）。被覆尿素30+70区では4年とも相対的に乾物収量が安定していたのに対し、硫安区では降水量が多い場合も少ない場合も乾物収量が低くなり、気象条件によって変動が大きかった。

被覆尿素30+70区は被覆尿素70区と比べ、有意差はないものの、1995年は収量が高い傾向が見られ、1996年および1997年は収量が同等であった。黒ボク土では土壌からの窒素供給が比較的大きいことが考えられるが、有機物含量の低い土壌や寒冷地では、土壌の有機態窒素の無機化が抑えられ、初期生育に十分な窒素量が確保できないことが考えられる。そこで、被覆尿素30日タイプにより初期生育が促進できれば収量の増加につながる。

被覆尿素30+70区は硫安+被覆尿素70区と比べ有意差はなかったが、1995年は収量が高い傾向であり、1996年は同等、1997年は収量の低い傾向が見られた。硫安+被覆尿素70区は年によっては収量が高くなることが考えられる。しかしながら、出芽時の降水量が少ない時には濃度障



生育率の低下する中で、収量低下の危険性が高い。不耕起で  
 被覆尿素とし1本になるように調整しているため、生育率の低下は収量  
 に反映されていない。

実際のアサヒコーンの栽培現場では通常1粒播きで調整は行わない。  
 そのため、生育率の低下が作全体の収量の低下となり、収量が低下するこ  
 とが予想される。1996年の調査において被覆尿素30+70区と硫安区  
 の1粒播きでの比較調査を行った。その結果、アサヒコーン1個体当たり

表2.4 1996年の作物密度 (%)

施肥処理	1996年	
	不耕起	耕起
被覆尿素30+70	96.9	96.7
被覆尿素70	94.3	95.8
硫安+被覆尿素70	86.9	76.4
硫安	52.2	39.4

1996年7月12日に測定

生育率によって生育率の低下の危険性が高い。硫安+被覆尿素70区は安定し  
 て高い収量を得ることは難しい。

慣行的な経営体系である耕起・硫安慣行区の総物収量は1995年、  
 1997年、1998年でそれぞれ19.4、12.9、11.7Mha<sup>2</sup>であった。不耕起・  
 被覆尿素30+70区では、耕起・硫安慣行区と比べても同等もしくは高い  
 総物収量であった。

以上より、不耕起・被覆尿素30+70区では4年とも、アサヒコーンの  
 総物収量が耕起・硫安慣行区と比較し同等か高かった。また耕起・被覆  
 尿素30+70区と比較しても同等の総物収量であった。不耕起現場の全量  
 基肥・追肥施用において、被覆尿素30+70区では他に比べ年次によらず  
 収量が高く安定したのに対し、硫安区では年次による収量の変動が大き  
 かった。そのため総物収量からは被覆尿素30+70が最適な施肥肥料類と



害により出芽率が低下するので、収量低下の危険性が大きい。本試験では3粒播きとし1本になるように間引いているため、出芽率の低下は収量に反映されていない。

実際のデントコーンの圃場栽培では通常1粒播きで間引きは行わない。そのため、出芽率の低下が作物の密度の低下となり、収量が低下することが予想される。1998年の耕起区において被覆尿素30+70区と硫安区の1粒播きでの比較試験を行った。その結果、デントコーン1個体当たりで比較すると、被覆尿素30+70区と硫安区でそれぞれ $203 \pm 12.9$  g、 $195 \pm 4.4$  g と大きな違いはなかった。しかしながら、硫安区では出芽率が低下したため作物密度が低下し、収量で比較すると被覆尿素30+70区で $14.1 \pm 0.5$  Mg ha<sup>-1</sup>に対し硫安区で $9.3 \pm 0.7$  Mg ha<sup>-1</sup>と硫安区で大幅に収量が低かった(図2.11)。このことから1粒播きでは出芽率の低下がそのまま収量の低下に結びつくといえる。よって、気象条件によっては出芽率の低下の危険性が高い硫安+被覆尿素70区は安定して高い収量を得ることは難しい。

慣行的な栽培体系である耕起・硫安慣行区の乾物収量は1995年、1997年、1998年でそれぞれ19.4、12.9、11.7 Mg ha<sup>-1</sup>であった。不耕起・被覆尿素30+70区では、耕起・硫安慣行区と比べても同等もしくは高い乾物収量であった。

以上より、不耕起・被覆尿素30+70区では4年とも、デントコーンの乾物収量が耕起・硫安慣行区と比較し同等か高かった。また耕起・被覆尿素30+70区と比較しても同等の乾物収量であった。不耕起栽培の全量基肥・接触施肥において、被覆尿素30+70区では他に比べ年次によらず収量が高く安定したのに対し、硫安区では年次による収量の変動が大きかった。そのため乾物収量からは被覆尿素30+70が最適な窒素肥料種と



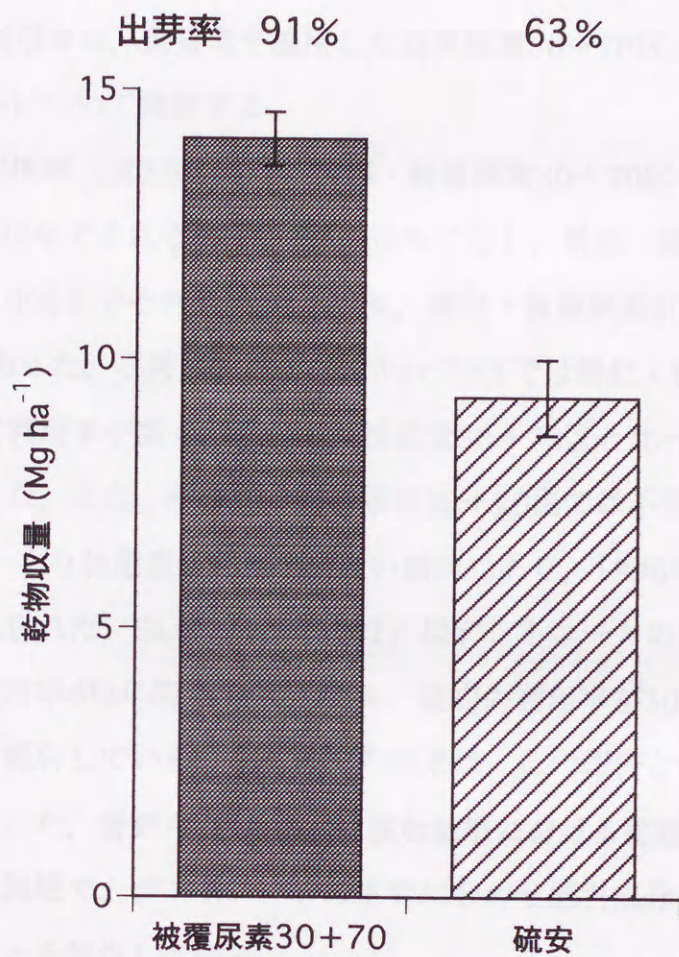


図2.11 1998年耕起区における1粒播きによる  
デントコーンの乾物収量

図中の垂線は標準誤差を示す。



いえる。

#### 4) デントコーンの施肥窒素利用率

施肥窒素利用率は、重窒素を施用した被覆尿素30+70区、硫安区、硫安慣行区のみについて検討する。

施肥窒素利用率（表2.5）は、不耕起・被覆尿素30+70区では1996年、1997年、1998年でそれぞれ50、60、58%に対し、耕起・硫安慣行区では1997年、1998年でそれぞれ30、27%、耕起・被覆尿素30+70区では39~45%であった。不耕起・被覆尿素30+70区では耕起・硫安慣行区より施肥窒素利用率が高く、耕起・被覆尿素30+70区と比べても同等もしくは高かった。また、不耕起・被覆尿素30+70区では不耕起・硫安区（26~51%）より施肥窒素利用率が高い傾向にあり、1996年と1998年で有意差が見られた。Shoji et al. (1991) はデントコーンの耕起栽培で被覆尿素的利用率が2年間で49%、66%、硫安の利用率が30%、44%であったことを報告している。本試験での結果は、この報告と傾向および値が類似していた。菅野ら（1993）は耕起栽培における肥効調節型肥料を用いた接触施肥で、デントコーンの生育に合わせ肥料成分を効率良く供給できることを報告している。

図2.12に1997年および1998年における被覆尿素的溶出率を示した。被覆尿素30日タイプと被覆尿素70日タイプを組み合わせた最終的な溶出率は、1997年では86%、1998年でも同じく86%であった。不耕起・被覆尿素30+70区の肥料から溶出した量当たりの施肥窒素利用率は1997年、1998年でそれぞれ70、67%と高い値を示した。この結果から、本試験においても被覆尿素的はデントコーンの生育期間を通して徐々に溶出したことが分かる。そのため、不耕起・被覆尿素30+70区では降水量の多かった1998年においても溶脱しにくく、作物に効率良く吸収され、不



表2.5 デントコーンの施肥窒素利用率

耕起処理	肥料種	施肥窒素利用率 (%)		
		1996年	1997年	1998年
不耕起	被覆尿素30+70	50 a	60 a	58 a
	硫安	26 b	51 ab	27 b
耕起	被覆尿素30+70	45 a	39 bc	39 ab
	硫安	16 b	23 c	31 b
	硫安慣行	-	30 c	27 b

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。

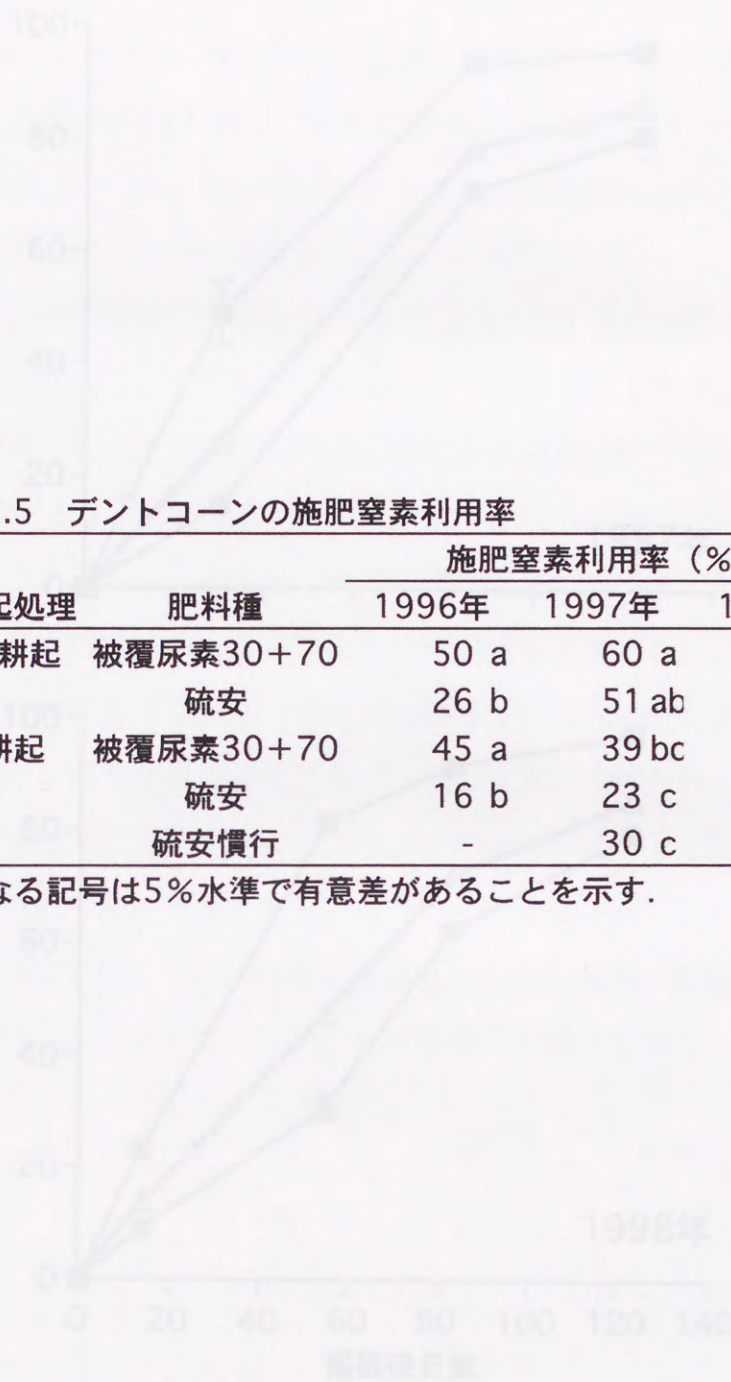


図2.12 被覆尿素の溶出率の推移

●、被覆尿素30；○、被覆尿素70；△、被覆尿素30+70。

図中の数値は標準誤差を示す。



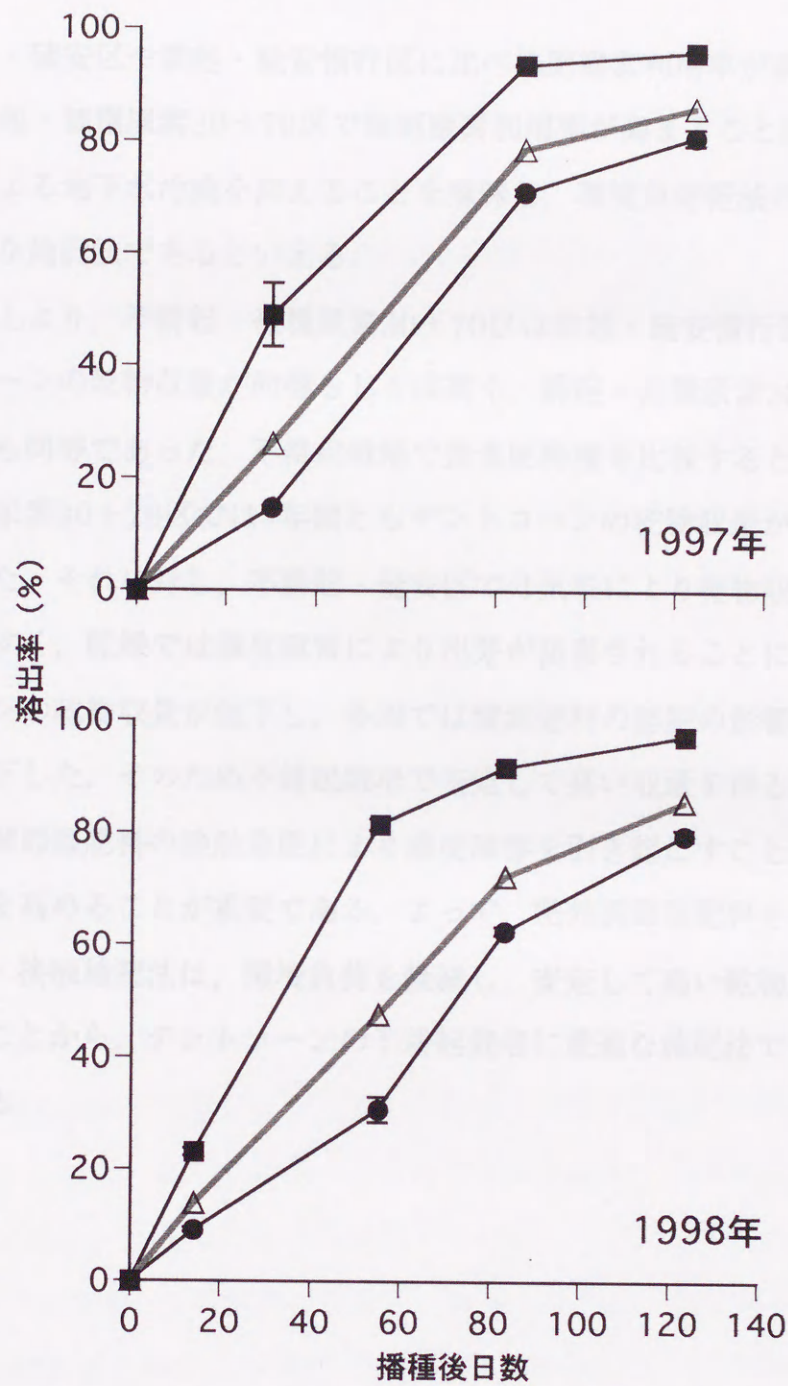


図2.12 被覆尿素の溶出率の推移

■, 被覆尿素30 ; ●, 被覆尿素70 ; △, 被覆尿素30+70.

図中の垂線は標準誤差を示す.



耕起・硫安区や耕起・硫安慣行区に比べ施肥窒素利用率が高くなった。不耕起・被覆尿素30+70区で施肥窒素利用率が高まることは、硝酸塩溶脱による地下水汚染を抑えることを意味し、環境負荷軽減の観点からも有効な施肥法であるといえる。

以上より、不耕起・被覆尿素30+70区は耕起・硫安慣行区と比べデントコーンの乾物収量が同等もしくは高く、耕起・被覆尿素30+70区と比べても同等であった。不耕起栽培で窒素肥料種を比較すると、不耕起・被覆尿素30+70区では4年間ともデントコーンの乾物収量が安定して高かった。それに対し、不耕起・硫安区では気象により乾物収量が左右されやすく、乾燥では濃度障害により出芽が阻害されることによりデントコーンの乾物収量が低下し、多雨では窒素肥料の溶脱の影響で乾物収量が低下した。そのため不耕起栽培で安定して高い収量を得るためには、肥効調節型肥料の接触施肥により濃度障害を引き起こすことなく肥料利用率を高めることが重要である。よって、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法は、環境負荷を軽減し、安定して高い乾物生産を得られることから、デントコーンの不耕起栽培に最適な施肥法であると結論できる。



## 2.4 まとめ

黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培に全量基肥・接触施肥法を適用し、出芽、収量、施肥窒素利用率に対する肥効調節型肥料の一つである被覆尿素と速効性肥料の硫酸の影響を明らかにした。さらに、これら肥料種の影響を4年間にわたり耕起栽培と比較し、検討した。

1) 被覆尿素的接触施肥では、出芽時の積算降水量の異なる3年間とも出芽率が81~93%と高く安定した。それに対し、硫酸を接触施肥すると濃度障害を起こしやすく出芽率も22~95%と播種後の降水量により大きく変動した。また硫酸を施用しても、不耕起栽培では耕起栽培より出芽率が高くなる傾向が見られた。

2) 被覆尿素は種子と接触施用しても種子近傍のECを高めにくいのに対し、硫酸は出芽時のECを高め濃度障害が起きやすいと考えられた。不耕起栽培では耕起栽培に比べ施肥位置でのECを高めにくいことが明らかとなった。また、硫酸区でECを高めた主要因は施肥由来の硫酸と推測された。

3) 不耕起・被覆尿素30+70区のデントコーンの乾物収量は、耕起・硫酸慣行区に比べ同等もしくは高く、耕起・被覆尿素30+70区と比べても同等であった。また不耕起・硫酸区では気象により収量が左右されやすく、乾燥年、多雨年とも収量が低下したのに対し、不耕起・被覆尿素30+70区では気象による変動は少なく、安定して高い乾物収量であった。

4) 施肥窒素利用率は不耕起・被覆尿素30+70区で50~60%に対し、耕起・被覆尿素30+70区では39~45%、耕起・硫酸慣行区では27~30%であった。不耕起・硫酸区では、窒素吸収量は気象により変動し、乾燥や多雨により施肥窒素利用率が26%~27%に低下した。

以上より、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法は、気象条



件に関わらず、出芽率が高く安定し、施肥窒素利用率を高め、安定して高い収量が得られることから、不耕起栽培に最適な施肥技術であるといえる。

### 3.1 はじめに

デュアルコーン栽培において、倒伏は大きな問題である。我が国では10月～11月のデュアルコーン収穫期に台風が襲来することにより倒伏被害が甚だりやすい。倒伏すると大型機械の収穫作業による収穫低下が原因となる。

不耕起栽培では表層の土壌硬度が増加し下層への根系発達の手延びが懸念される。坂井ら (1988) は不耕起栽培ではデュアルコーン根とびすおん子で0～10cmの土壌硬度付近に根が偏在しやすい傾向を報告している。また、三 (1995) は、不耕起栽培では横行耕起栽培と比べ、根が表層で増加するものの深層の根量もあまり変わらないとしている。不耕起栽培における表層への根の偏在は新着欠作の低下を引き起こすことが懸念されている。しかしながらデュアルコーンの不耕起栽培における倒伏法を検討した研究は見当たらない。

倒伏に誘起する栽培要因には栽培密度および窒素施用量が挙げられる。密植にすると根葉の荷重が不十分となる (井上金両郎, 1987) あるいは日光が葉の基部まで到達できず葉光となり葉の細胞膜を傷つける (佐藤, 1971) といった理由で倒伏しやすいといわれている。また窒素施用量が多量であると地上部の高麗度により倒伏が甚だりやすい (佐藤, 1971) ことが指摘される。しかしながら栽培密度および窒素施用量はともに適切であれば収量を増加させることができると考えられる。

そこで本論文では不耕起栽培における栽培密度と窒素施用量がデュアル



### 第3章 不耕起栽培における栽植密度と窒素施用量が収量と耐倒伏性に与える影響

#### 3.1 はじめに

デントコーン栽培において、倒伏は大きな問題である。我が国では8～9月のデントコーン収穫前に台風が襲来することにより倒伏被害が起こりやすい。倒伏すると大型機械の収穫ロスによる収量低下が問題となる。

不耕起栽培では表層の土壌硬度が増加し下層への根系発達の抑制が懸念される。坂井ら（1988）は不耕起栽培ではデントコーンおよびオオムギで0～10cmの土壌表層付近に根が偏在しやすい傾向を報告している。また、辻（1998）は、不耕起栽培では慣行耕起栽培と比べ、根が表層で増加するものの深層の根量もあまり変わらないとしている。不耕起栽培における表層への根の偏在は耐倒伏性の低下を引き起こすことが懸念されている。しかしながらデントコーンの不耕起栽培における倒伏性を検討した研究は見当たらない。

倒伏に関与する栽培要因には栽植密度および窒素施用量が挙げられる。密植にすると根系の発達が不十分となる（井上&岡部，1981），あるいは日光が茎の基部まで到達できず弱光となり茎の細胞膜を薄くする（江原，1971），といった理由で倒伏しやすくなるといわれている。また窒素施用量が多量であると地上部の過繁茂により倒伏が起こりやすい（江原，1971）ことが推測される。しかしながら栽植密度および施肥窒素量はともに適切であれば収量を増加させることができると考えられる。

そこで本章では不耕起栽培における栽植密度と窒素施用量がデント



コーンの収量と耐倒伏性にあたえる影響を耕起栽培との比較を通して検討した。

実験は1998年と1999年に、東北大学農学研究所で行った。場所は1998年で不耕起栽培試験5年目となり、信託土地は農林水産省国務2次次訂収「農耕地土壌改良基金（1996）」で整備されたアフリカ農業センターに設置された。試験作物はアントファーン（*Zea mays L.*）品種は1998年はハイオニア345（2011年）、1999年はハイオニア3082が販売中止になっていたのを代替としてハイオニア345（NM118）を用いた。播種は1998年は5月20日、1999年は5月17日に、乾きを行い、30cm間隔に間引きにより1本植をした。

基本設計として、不耕起区とロータリー耕（耕起深度10cm（5cm））による耕起区を設けた。追肥量は毎畝あたり成分でN 150kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150kg、K<sub>2</sub>O 150kgとした。追肥は全量速効・遅効混合で、追肥バッチ幅は5cmとした。不耕起区ではロータリー耕により、不耕起区では自作の分根機を用いた多行用の分根機により5cm幅、深さ3cmの浅層を耕起した。その後、追肥機によりロータリー耕、追肥機、復土しロータリー耕より耕起を行った。

栽培密度と追肥施用量を異にした次の4処理区を設けた。1) 5間隔 追肥-追肥標準 (18cm 150kgN区)、2) 5間隔標準 追肥標準 (18cm 150kgN区)、3) 5間隔 1/2 追肥標準 (9cm 150kgN区)、4) 5間隔 1/2 追肥標準 (9cm 300kgN区)。株間は各区とも72cmとした。追肥標準は追肥標準30日タイプと70日タイプを1:1の割合で混合し、追肥標準は追肥標準70日タイプを100%とした。追肥標準は追肥標準70日タイプを100%とした。追肥標準は追肥標準70日タイプを100%とした。追肥標準は追肥標準70日タイプを100%とした。



## 3.2 材料および方法

### 3.2.1 栽培条件

栽培試験は1998年と1999年に、東北大学農学部附属農場で行った。圃場は1998年で不耕起栽培継続6年目となり、供試土壌は農耕地土壌分類第3次改訂版（農耕地土壌分類委員会，1995）で普通非アロフェン質黒ボク土に分類される。供試作物はデントコーン(*Zea mays* L.)，品種は1998年はパイオニア3352(RM118)，1999年はパイオニア3352が販売中止になっていたのでRMが同じパイオニア33G26 (RM118) を用いた。播種は1998年は5月19日に1999年は5月17日に3粒播きで行い，3～4葉期に間引くことにより1本立とした。

基本設計として，不耕起区とロータリー耕（耕起深度10～15cm）による耕起区を設けた。施用量はha当たり成分でN 150kg，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150kg，K<sub>2</sub>O 150kgとした。施肥は全量基肥・接触施肥で，施肥バンド幅は5cmとした。耕起区ではホー（hoe）により，不耕起区では自作の作溝機を連結した歩行用の耕耘機により5cm幅，深さ3cmの播種溝を作った。その後，播種溝に手で均一に施肥，播種後，覆土しホーにより鎮圧を行った。

栽植密度と窒素施用量を異にした次の4処理区を設けた。1) 株間隔標準-窒素標準（18cm-150kgN区），2) 株間隔標準-窒素倍量（18cm-300kgN区），3) 株間隔1/2-窒素標準（9cm-150kgN区），4) 株間隔1/2-窒素倍量（9cm-300kgN区）。畦間は各区とも72cmとした。窒素肥料は被覆尿素30日タイプと70日タイプを1：2の割合で混合し，リン酸肥料は粒状ようりん，カリ肥料は被覆硫酸加里70日タイプを用いた。なお粒状ようりんは本試験の施肥量において出芽障害を引き起こさないことを確認した。本試験は各処理区を3反復で行った。



### 3.2.2 調査方法

#### ○収量調査

収量調査は1998年は9月26日に1999年は9月13日に行った。方法としては1区画10個体の新鮮重を計量し、そのうち平均的な2個体を70℃で72時間通風乾燥し、それから求めた乾物率を新鮮重に乗じることにより乾物収量を求めた。

#### ○引き倒し法による耐倒伏性評価

耐倒伏性の調査は濃沼ら（1998）の方法により行った。稈長，着雌穂高は1区画10個体を3連で絹糸抽出期の18～21日後に調査した。図3.1に引き倒し力の測定方法を示した。引き倒し力は，デジタルフォースゲージ（FGN-50：SHIMPO）を用い，デントコーンを30°倒すのに要する力を測定したもので，1区画10個体を3連で調査した。デントコーンを30°引き倒す場合，10°～20°でその引力の最大値に達するため，20°～30°ではあまり力を必要としないが，データの信頼性を高めるため，測定値はデントコーンを30°引き倒すのに要する力の最大値とした。これらの測定値から，根の支持力と地上部自重を総合した耐倒伏性の指標として，引き倒し評価値を次式により算出した。

$$\text{引き倒し法評価値} = \frac{\sqrt{\text{稈長 (cm)} \times \text{着雌穂高 (cm)}}}{\text{引き倒し力 (N)}}$$

#### ○倒伏調査

1998年9月16日に台風5号（日最大風速 11 m s<sup>-1</sup>，仙台での最大瞬間風速 33.9 m s<sup>-1</sup>）が通過し，デントコーンの倒伏が見られた。そこで傾きが0°，1°～30°，31°～60°，61°～90°毎にわけて倒伏調査



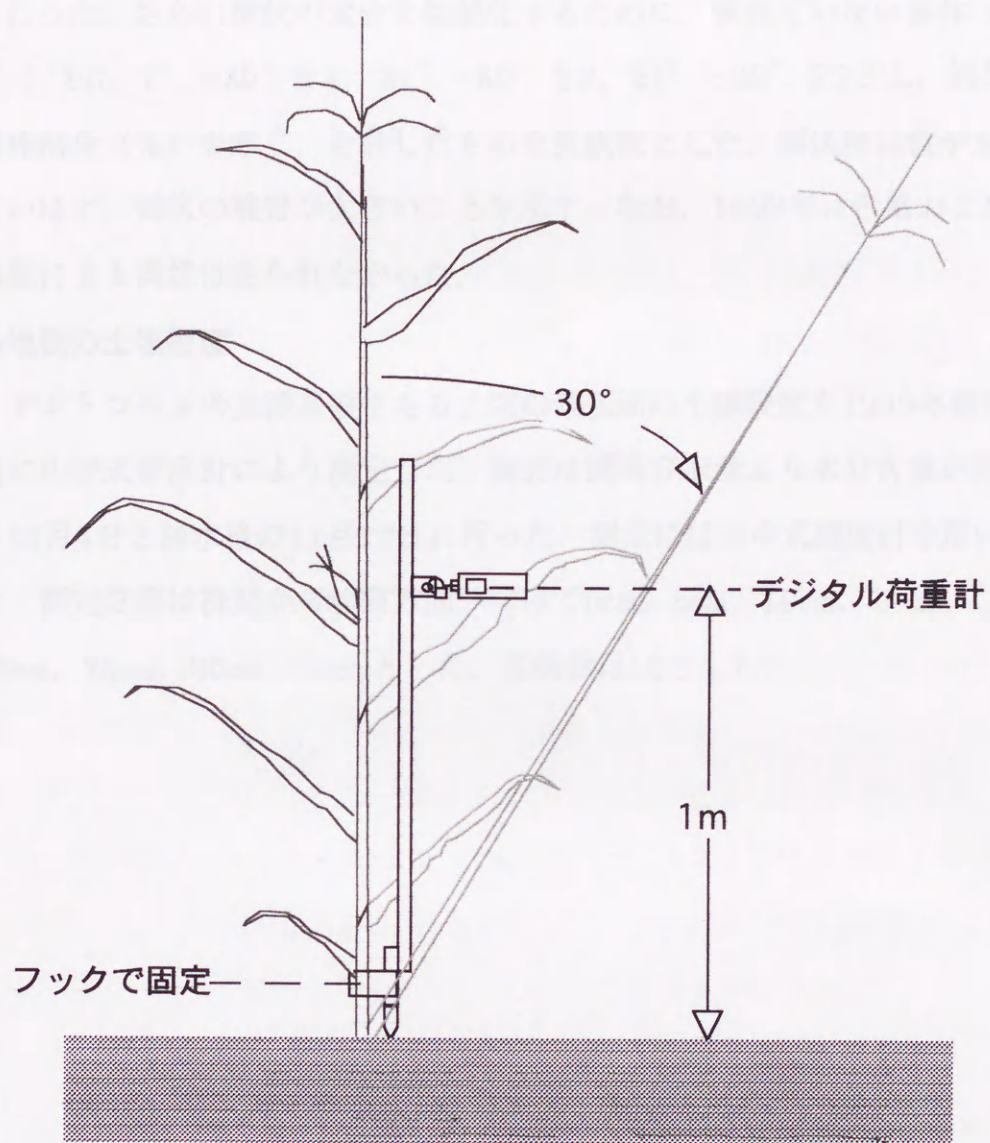


図3.1 引き倒し力の測定方法



を行った。さらに倒伏の度合を数値化するために、倒れていない個体（ $0^\circ$ ）を0、 $1^\circ \sim 30^\circ$ を1、 $31^\circ \sim 60^\circ$ を2、 $61^\circ \sim 90^\circ$ を3とし、倒伏個体割合（%）を乗じ、合計したものを倒伏度とした。倒伏度は値が大きいほど、倒伏の被害が大きいことを示す。なお、1999年は台風および強風による倒伏は見られなかった。

#### ○地表の土壌硬度

デントコーンの支持基盤である土壌の地表面の土壌硬度を1999年栽培後に山中式硬度計により測定した。調査は圃場容水量より水分含量が低い11月4日と降水後の11月17日に行った。測定には山中式硬度計を用いた。測定位置は株間から畦間方向へ向けて0cm、5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、30cm、35cmとした。反復数は10とした。

#### 2) デントコーンの乾物収量

調査地にデントコーンの乾物収量を測定した。乾物収量を測定するときは、1998年、1999年とも不耕起区は耕起区とはけりかきかきのない状態であった。不耕起栽培では乾物や根茎不安定などの原因から乾物収量の低下が懸念されるが、デントコーン栽培では除草剤による雑草防除の効果が期待されており、また肥料施用や灌水を用いることで生育時の水分供給を確保し、効率的に肥料成分を供給したため、不耕起区と比べ乾物収量が同等以上になったと考えられる。

在来種で調査地での乾物収量を測定すると、調査区が1区より1区



### 3.3 結果および考察

#### 1) デントコーンの生育経過

施肥量を増加すると塩類濃度を高め、作物の出芽に影響を及ぼす。出芽率の低下は収量の低下につながるため、高い出芽率を確保することは重要である。表3.1にデントコーンの出芽率を示した。1998年および1999年とも耕起法または株間隔による出芽率の違いはあまり見られなかった。窒素施用量で比較すると、1998年は窒素量標準区で90~96%に対し倍量区では82~87%、1999年は標準区で83~90%に対し倍量区では67~73%と、窒素量を倍にすると出芽率が低下した。肥効調節型肥料の全量基肥・接触施肥では、通常の施肥量では濃度障害は起きにくい。しかし窒素施用量を増加すると種子近傍の塩類濃度を高めやすいため、出芽を抑制もしくは阻害することが考えられる。1998年より1999年で出芽率が低下したのは、播種後の降水量が少なかったためである。

図3.2にデントコーンの草丈の推移を示した。1998年は草丈に大きな違いがなく、どの処理区も順調に生育した。1999年は株間隔を狭めると草丈が低く推移する傾向が見られたものの、順調に生育した。

#### 2) デントコーンの乾物収量

図3.3にデントコーンの乾物収量を示した。耕起法で比較すると有意差はなく、1998年、1999年とも不耕起区は耕起区とほぼ同じかやや高い乾物収量であった。不耕起栽培では雑草や出芽不安定などの理由から乾物収量の低下が懸念されるが、デントコーン栽培では除草剤による雑草防除の体系が確立されており、また肥効調節型肥料を用いることで出芽時の濃度障害を回避し効率的に肥料成分を供給したため、耕起栽培と比べ乾物収量が同等以上になったと考えられる。

株間隔で個体当たりの乾物重を比較すると、標準区が1/2区より1.4~



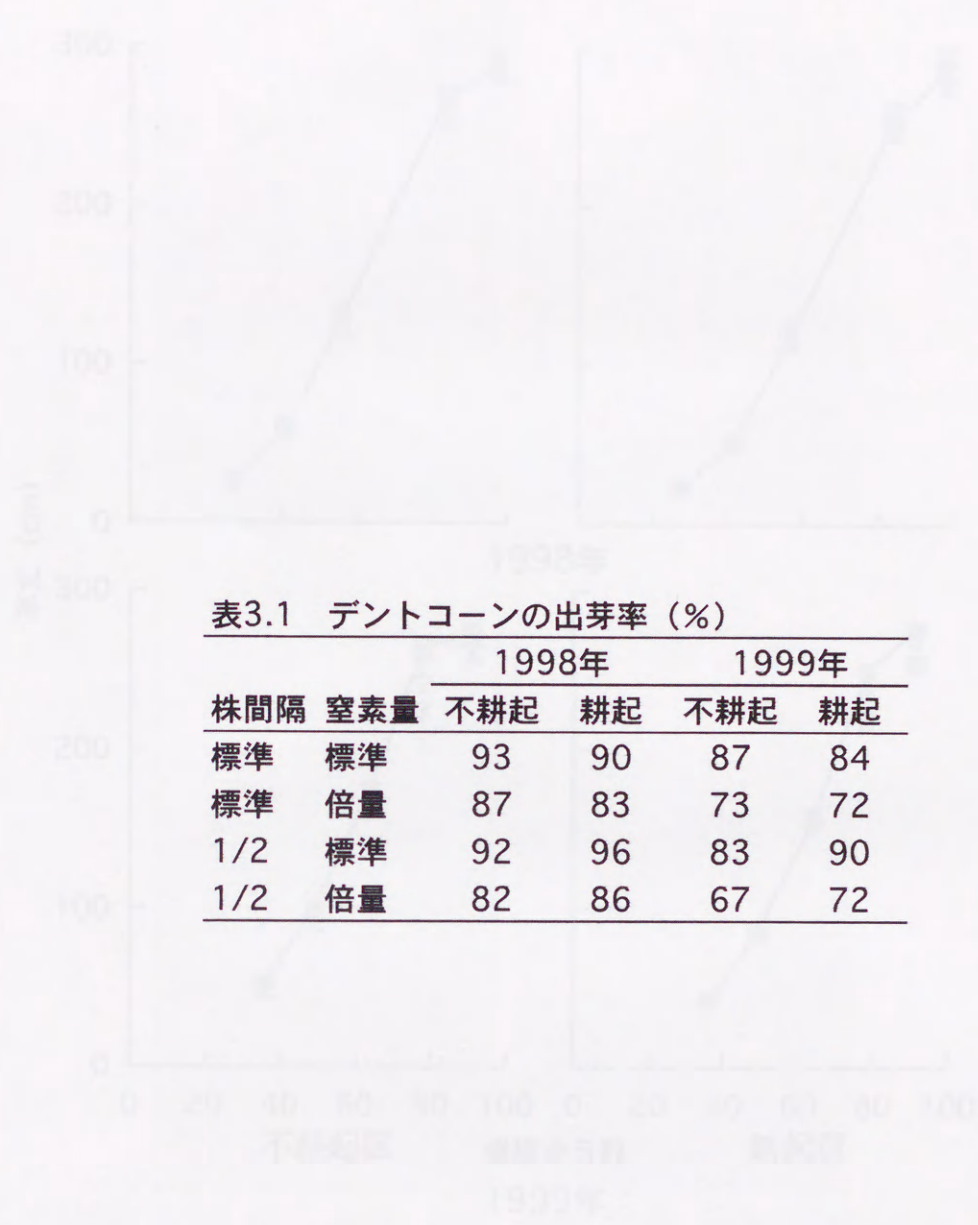


表3.1 デントコーンの出芽率 (%)

株間隔	窒素量	1998年		1999年	
		不耕起	耕起	不耕起	耕起
標準	標準	93	90	87	84
標準	倍量	87	83	73	72
1/2	標準	92	96	83	90
1/2	倍量	82	86	67	72

図3.2 デントコーンの出芽率

○, 株間標準-窒素標準; □, 株間標準-窒素倍量; △, 株間1/2-窒素標準; ◇, 株間1/2-窒素倍量。図中の長短は標準誤差を示す。



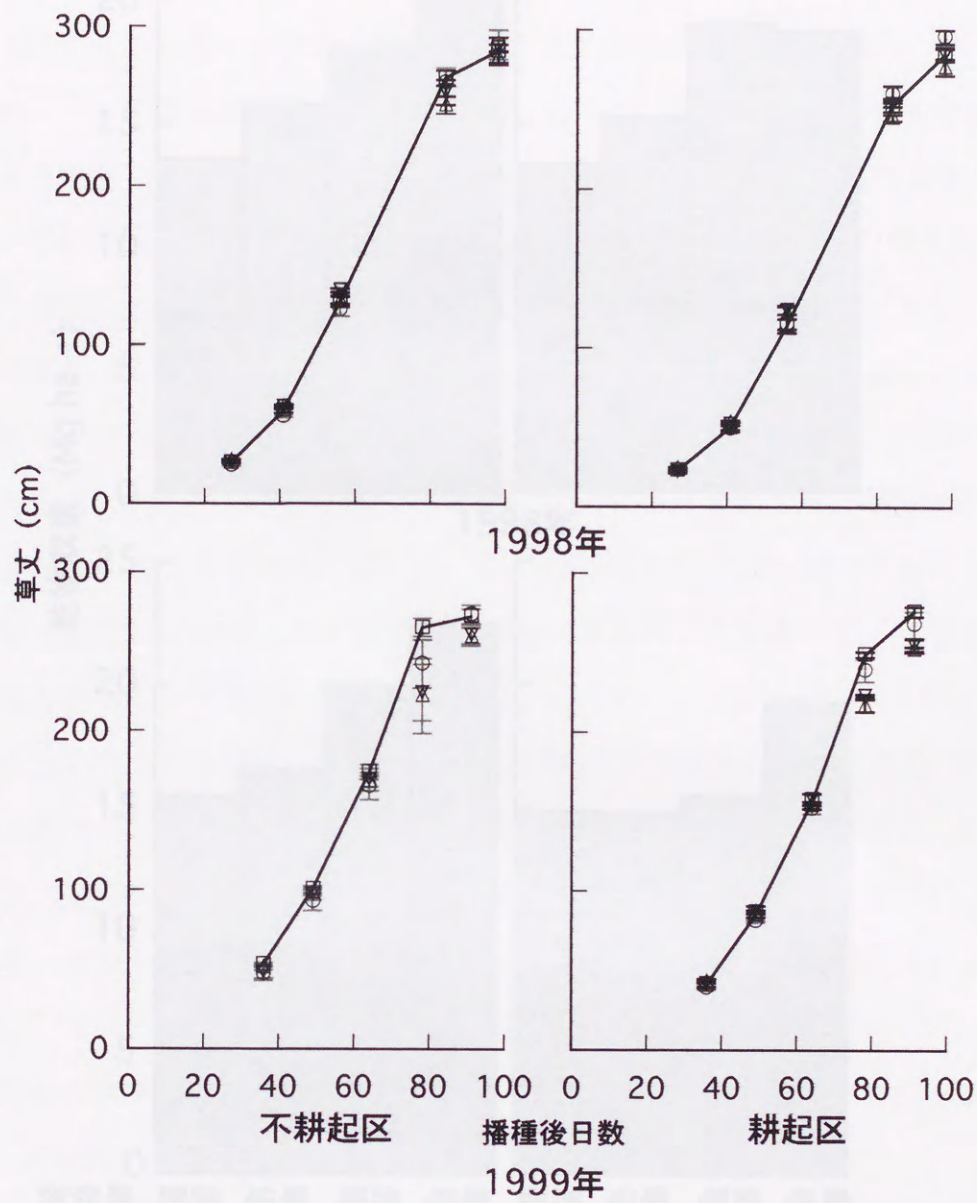


図3.2 デントコーンの草丈の推移

□, 株間標準-窒素標準; ○, 株間標準-窒素倍量; △, 株間1/2-窒素標準; ▽, 株間1/2-窒素倍量. 図中の垂線は標準誤差を示す.



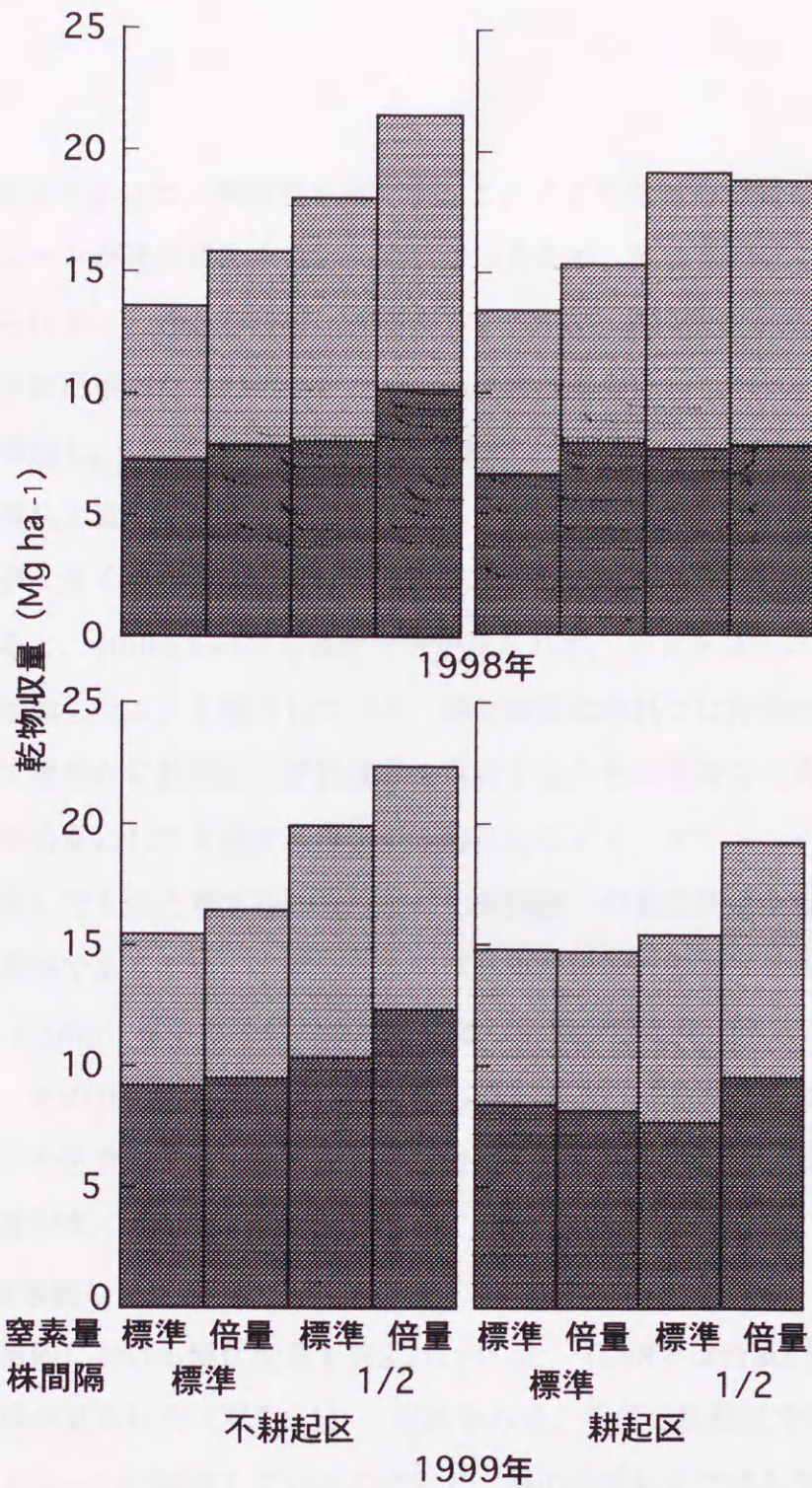


図3.3 デントコーンの乾物収量

■ 茎葉 ■ 雌穂



1.6倍大きかった。株間隔を狭くすることにより光競合が強くなり、デントコーンが光合成を十分に出来なかったため、乾物重が低くなったと考えられる。しかしながら、株間が1/2であると栽植密度が2倍となるので、単位面積当たりのデントコーンの乾物収量では1/2区の方が標準区より増加し、1%水準で有意差がみられた。

窒素施用量で比較すると有意差はないものの、標準区より倍量区で乾物重が大きくなる傾向が見られた。児玉ら(1989)は肥効調節型肥料を用いると、400kg ha<sup>-1</sup>でも濃度障害が見られず、デントコーンの乾物収量が増加したことを報告している。肥効調節型肥料では作物の生育に合わせて緩やかに持続的に肥料成分を供給することが可能なため、窒素施用量を倍量にしても濃度障害を引き起こしにくく、デントコーンの生育を促進したものと考えられる。ただし本試験での施肥法は全量基肥・接触施肥法であるため、出芽率には窒素施用量増加の影響は見られた。田中ら(1969)はトウモロコシ増収の道は密植多肥条件であると結論している。そのため、倒伏による収穫量の低下あるいは濃度障害による密度の低下や生育遅延がなければ、栽植密度が高く窒素施用量が多い方が乾物収量が高くなると考えられる。

### 3) 収穫期における倒伏度合

収穫期における倒伏度合を表3.2に示した。1998年は台風5号通過により倒伏が見られた(写真3.1)。写真からは、手前の耕起区でほとんどのデントコーンが倒伏しているのに対し、奥の不耕起区ではあまり倒伏が見られなかったことが確認できる。1999年は台風や強風による倒伏は見られず、すべて0°となっている。そこで、1998年の結果について検討する。

耕起法で比較すると、0°の個体すなわち倒伏していない個体は不耕



表3.2 収穫期におけるデントコーンの倒伏度合 (1998年\*)

株間隔	窒素量	倒伏度合 (%)					倒伏度**
		0°	1° ~ 30°	31° ~ 60°	61° ~ 90°		
不耕起	標準	23	52	23	2	104	
	倍量	40	38	18	4	86	
	1/2	18	27	52	3	140	
	1/2	13	39	44	4	139	
耕起	標準	2	9	89	0	187	
	倍量	2	37	61	0	159	
	1/2	0	13	85	2	189	
	1/2	2	28	68	1	167	

\*1999年は倒伏が見られず、全て0°であった。

\*\*0°を0, 1° ~ 30°を1, 31° ~ 60°を2, 61° ~ 90°を3として評価した。





写真3.1 台風通過後のデントコーン倒伏の様子（1998年）  
手前は耕起区，奥が不耕起区.



起区で13~40%に対し、耕起区では0~2%と不耕起区で高く、耕起区ではほとんどの個体が倒伏していた。また倒伏したものでも、不耕起区では耕起区に比べ $1^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ の割合が高いのに対し、耕起区ではより倒れている $31^{\circ}$ ~ $60^{\circ}$ の個体割合が61~89%と過半数を占めていた。倒伏度についてみると、不耕起区では耕起区よりどの処理においても値が小さく倒伏の被害が小さかったことが分かる。不耕起栽培では耕起栽培に比べ作物の根系が表層に集中することから倒伏しやすいことが懸念されたが、実際の台風においては逆に耕起栽培よりも倒伏しにくかった。これは、不耕起土壌で耕起土壌より表層の土壌硬度が高く(図3.4)、そこへ作物が根系を発達させることにより、不耕起土壌での作物の支持力がより高くなったためであると考えられる。

株間隔で比較すると、標準区に対し1/2区ではやや倒伏している個体割合が増加した。倒伏度で比較すると、標準区より1/2区で値が高く、被害が大きかったことが分かる。トウモロコシでは、密植にすると倒伏しやすいことが知られており、その理由には、根系発達の不十分が挙げられる(井上&岡部, 1981)。よって、株間を1/2にしたことにより、標準区に比べてデントコーンの根系発達が不十分となり、倒伏しやすくなったと考えられた。

窒素施用量で比較すると、標準区より倍量区の方が倒伏していない個体割合あるいは $1^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ の割合が高かった。倒伏度では、窒素量標準区に比べ倍量区で値が小さくなった。窒素施用量を過度に増加すると過繁茂により倒伏しやすいと言われているが、本試験に於いては、転び型、なびき型の倒伏はほとんど見られなかった。

大型機械の収穫が困難になる倒伏の度合は、機械の種類、倒伏したデントコーンに対する機械の進行方向などによっても変わるため、一概に



はいえない。そこで、倒伏度合が直立状態から $30^\circ$ までなら収穫可能であると仮定すると、台風に直撃しても不耕起区では45~78%収穫可能であるのに対し耕起区では11~39%しか収穫できないことになる。

#### 4) 引き倒し法による耐倒伏性の評価

耐倒伏性の検定には根の引き抜き抵抗などがあるが、多くの労力を必要とする。それに対し、引き倒し力を利用した検定法では比較的簡便に、非破壊的に耐倒伏性を検定できる点で優れている。引き倒し法評価値は、その値が高い程倒れやすいことを示している。表3.3に引き倒し法評価値を示した。

耕起法で比較すると、不耕起区では耕起区に比べ、引き倒し力が同等かやや大きい傾向にあった。稈長および着雌穂高には差がなく、引き倒し法評価値は1998年は不耕起区では耕起区に比べ同じかやや低い値を示し、1999年では低い値を示した。

株間隔で比較すると、引き倒し力では標準区が1/2区より高くなり、稈長は差がないが、着雌穂高は標準区より1/2区で高かった。そのため、引き倒し法評価値は、標準区で1/2区に比べかなり低い値を示した。

窒素施用量で比較すると、1998年では引き倒し力は標準区より倍量区で高く、稈長および着雌穂高には違いがなく、引き倒し法評価値は倍量区で低かった。1999年は株間の標準区または1/2区で傾向が異なっており、株間隔標準区で比較すると引き倒し評価値が同等か窒素倍量区でやや高く、株間隔1/2区では窒素倍量区で引き倒し評価値の値が低くなった。これは、出芽時の濃度障害による生育遅延、あるいは濃度障害による初期の根系発達の不十分のために1998年と1999年で結果が異なったものと考えられる。しかしながら初期に濃度障害を引き起こさない程度



表3.3 引き倒し法による耐倒伏性の評価

	株間隔	窒素量	引き倒し力(N)	稈長 (cm)	着雌穂高 (cm)	引き倒し法評価値	
1998年	不耕起	標準	18.9	251	124	9.3	
		倍量	22.6	253	123	7.8	
		標準	13.2	250	134	13.9	
		1/2	14.9	256	133	12.4	
	耕起	標準	16.7	255	127	10.8	
		倍量	20.5	259	128	8.9	
		標準	13.3	250	133	13.7	
		1/2	15.6	256	136	12.0	
	1999年	不耕起	標準	15.1	243	115	12.6
			倍量	14.8	243	109	12.9
		標準	8.9	238	120	29.0	
		1/2	10.1	239	114	22.5	
耕起		標準	15.0	248	113	14.1	
		倍量	13.3	239	107	16.0	
		標準	6.9	236	120	30.9	
		1/2	8.7	241	114	25.3	



であれば、窒素施用量の多い方が倒伏しにくいと考えられる。

引き倒し法による耐倒伏性調査の結果、耕起法に大きな差はないものの不耕起区でやや耐倒伏性が高く、株間隔は標準の方が、窒素施用量は多い方が倒伏しにくいことが明らかとなった。これらの結果は、台風による倒伏の結果と一致しているものの、耕起法の違いでは、引き倒し法評価値の差と実際の倒伏割合が大きく違っていた。これは、引き倒し力の調査時と台風通過時では、土壌条件が異なっていたためであると考えられる。調査時における土壌水分は圃場容水量付近より乾燥していた条件であったのに対し、台風通過時には強風とともに激しい降雨を伴うため、土壌水分が過剰であったと考えられる。

図3.4に1999年デントコーン収穫後の地表面の土壌硬度を示した。株から5cm～20cmまでは耕起区の方が土壌硬度が低かった。また、降水後はともに土壌硬度が低下した。よって、土壌水分が増加すると土壌硬度が低下すると考えられるが、不耕起土壌は耕起土壌に比べ表層の土壌硬度が高く、降雨により土壌水分が増加しても耕起土壌よりも土壌硬度が高かったため倒伏しにくかったものと考えられる。

以上より、引き倒し法による耐倒伏性の評価からは、不耕起栽培と耕起栽培で大きな違いはないものの、不耕起栽培の方がやや耐倒伏性が高く実際の台風通過時には、不耕起栽培の方が耕起栽培よりもデントコーンの倒伏が少ないことが確認された。また栽植密度を高めると耐倒伏性は低下するが、デントコーンの乾物収量は増加した。栽植密度を高めても不耕起栽培では耕起栽培よりも倒伏が起りにくいことから、不耕起栽培では現在の標準的な栽植密度より密植にしても倒伏の危険性が少なく、収量を増加させることができるものと考えられる。



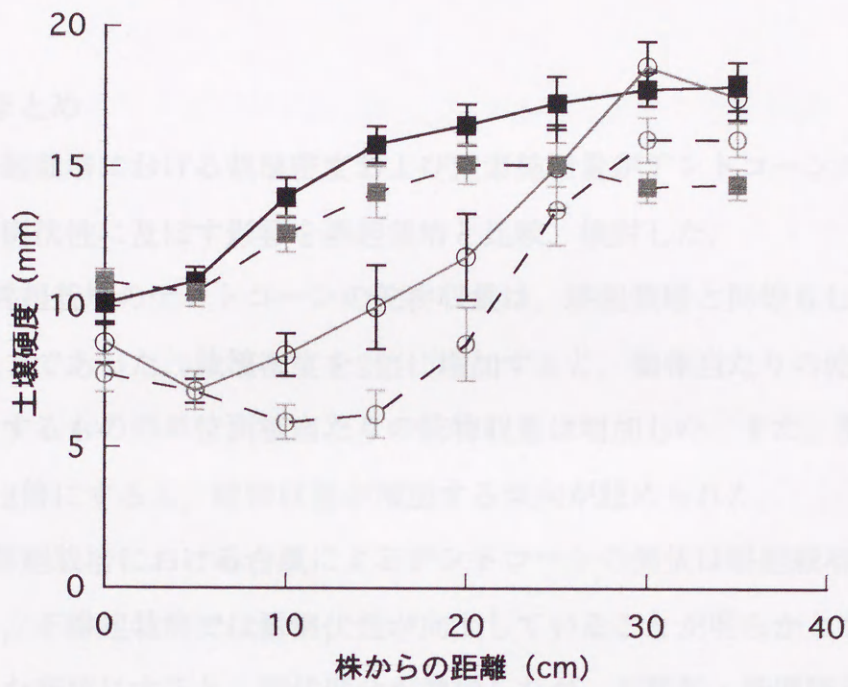


図3.4 地表面の土壌硬度 (1999年)

■, 不耕起; ○, 耕起. 破線および淡色のものは降水後の測定値, 図中の垂線は標準誤差を示す.



### 3.4 まとめ

不耕起栽培における栽植密度および窒素施用量がデントコーンの収量性と耐倒伏性に及ぼす影響を耕起栽培と比較，検討した。

- 1) 不耕起栽培のデントコーンの乾物収量は，耕起栽培と同等もしくはそれ以上であった。栽植密度を2倍に増加すると，個体当たりの乾物重は減少するものの単位面積当たりの乾物収量は増加した。また，窒素施用量を2倍にすると，乾物収量が増加する傾向が認められた。
- 2) 不耕起栽培における台風によるデントコーンの倒伏は耕起栽培より少なく，不耕起栽培では耐倒伏性が向上していることが明らかとなった。また密植にすると，倒伏度合が増加したが，不耕起・株間隔1/2区では耕起・株間隔標準区よりも耐倒伏性が優れていた。
- 3) 耐倒伏性の簡易評価法である，引き倒し法による評価値から，不耕起栽培は耕起栽培に比べ，やや耐倒伏性が高いことが示された。

以上より，デントコーンの不耕起栽培では，耕起栽培に比べ耐倒伏性に優れ，現行の慣行栽培より栽植密度を高めることによって，作物収量が向上する可能性が示された。



## 第4章 デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因解析

### 4.1 はじめに

不耕起栽培では耕耘を省略することにより耕起土壌に比べ土壌特性が変化することが報告されている。土壌の物理性については、Gantzer & Blake (1978) は、Argiudollのトウモロコシ栽培において、不耕起土壌の深さ30cmでは容積重の増加（不耕起土壌，耕起土壌でそれぞれ $1.24 \sim 1.32 \text{ g cm}^{-3}$ ， $1.05 \sim 1.12 \text{ g cm}^{-3}$ ），緻密度の増加，表層での気相の低下，水分含量の増加（不耕起土壌，耕起土壌でそれぞれ $0.35 \sim 0.28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ， $0.31 \sim 0.25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ）を報告している。Izaurrealde et al. (1986) は、ArgiudollとArgiustollのコムギ栽培において、不耕起土壌の深さ84cmより上部の土壌水分は耕起土壌より多かったことを報告している。Lal (1976) は、Alfisolにおいて、トウモロコシの生育期間を通し、不耕起土壌では水分含量が高かったことを報告している。このように不耕起土壌では耕起土壌と比べ、土壌水分含量の増加，土壌硬度の増加，気相率の低下が起こることが知られている。また，土壌の物理性のなかで，土壌硬度の増加や気相率の低下は作物根の伸長を抑制し，作物収量に負の影響を与えることが考えられる。Na Nagara et al. (1976) は，不耕起区の表層ではトウモロコシの根密度が増加したが，15cmより下では逆に耕起区より根密度が減少したと報告している。また矢吹ら (1991) は，不耕起区では土壌貫入抵抗性および固相率が増加し，デントコーンの根は土壌表層に密集したと報告している。このように，不耕起栽培では表層に根系が集中するといわれている。しかしながら，不耕起栽培で必ずしも表層に根が集中することが収量低下には結びつかない。

土壌の化学性について，Lal (1976) は，不耕起土壌ではプラウ耕土



壤に比べ、有機物含量が高く、硝酸態窒素、可給態リン酸、交換性陽イオンの濃度が高いと報告している。Dick (1983) は、Ochraqualfと Fragiudalfで、深さ0~1.25cmにおいて不耕起土壌は耕起土壌の2.2~2.5倍の有機態炭素含量および2倍の有機態窒素含量であり、0~30cmの土壌pHは0.1~0.3低下したことを報告している。Ismail et al. (1994) は、トウモロコシ栽培連続20年の不耕起土壌では、耕起土壌と比べ、深さ0~5cmでは有機態炭素および窒素、可給態リン酸、交換性Ca, Mg, Kが増加することを報告している。このように化学的特性に関しては不耕起土壌では耕起土壌に比べて表層に養分が集積するという報告が多い。

不耕起土壌の生物性について、Doran (1980) は、好気性微生物、一部の嫌気性微生物、土壌表面(0~7.5cm)での脱窒活性は耕起土壌と比べ増加し、7.5cm以下では同じか、傾向が逆転していたことを報告している。Lal (1974) は不耕起土壌におけるミミズの増加を、松崎&板倉 (1991) はミミズや節足動物の増加を報告している。このように、不耕起土壌では耕耘しないことにより小動物や微生物の生育環境を維持し、小動物や微生物が増加するものと思われる。

Unger et al. (1980) は、多くの研究結果を整理し、良好な栽培条件においては不耕起栽培でも減収はしないと結論づけている。その理由として土壌の有効水分の増加によるという報告が多い。Estes (1972) は、生育期間の乾燥により水分保持量の違いが反映され、不耕起区のトウモロコシのサイレージ収量が耕起区より22.5%増加したと報告している。Unger & Wiese (1979) は、Paleustollにおいて、不耕起区とディスク耕区の有効土壌水分含量は深さ1.8mでそれぞれ21.7cm, 15.2cmであり、ソルガムの子実収量はそれぞれ3140kg ha<sup>-1</sup>, 1930kg ha<sup>-1</sup>と不耕起栽培で増収したことを報告している。Izaurrealde et al. (1986) は、乾燥条件



では不耕起区のコムギ収量は耕起区より多い ( $2.37\text{Mg ha}^{-1}$ に対し、 $2.01\text{Mg ha}^{-1}$ ) と報告している。Webber et al. (1987) は、Ochraqualfsにおけるダイズ栽培で、雨量が平年以上の年は耕起区に比べ不耕起区で収量が低く ( $2260\text{kg ha}^{-1}$ に対し $1890\text{kg ha}^{-1}$ )、雨量が平年以下の2年間は不耕起区が多かった ( $1510\text{kg ha}^{-1}$ に対し $2310\text{kg ha}^{-1}$ 、 $1670\text{kg ha}^{-1}$ に対し $1870\text{kg ha}^{-1}$ ) と報告している。これらの多くは水分供給が作物生育にとって制限要因となる乾燥ないし半乾燥気候下の結果であり、湿潤気候下の不耕起栽培における高収量性については明らかではない。

湿潤気候である日本の畑土壌の大半を占める黒ボク土は保水性、透水性、易耕性などの物理的特性に優れた土壌である。そのため、化学的な土壌改良（リン酸改良、酸性矯正）と施肥により養分供給を適切に行えば高い生産力を示す。黒ボク土でデントコーンの不耕起栽培を行うと、収量は耕起栽培と同等もしくはそれ以上であること（三枝ら，1992；三枝，1995）が報告されており、肥効調節型肥料を用いた接触施肥法を適応した本研究で同様の結果が得られたことは第2章で述べた通りである。しかしながら、我が国のような湿潤気候下で、かつ保水性の高い黒ボク土において、不耕起栽培における作物の高収量性について検討した報告は見当たらない。

そこで、本章ではデントコーンの不耕起栽培における高収量性についての原因解析を耕起法との比較で行った。まず最初に耕起土壌との比較において黒ボク土の不耕起土壌の特性を明らかにし、不耕起土壌がデントコーンの養水分吸収に与える土壌の影響を考察した。次に不耕起デントコーンの根の分布、養水分吸収速度および初期、収穫期の養分吸収量から、不耕起栽培デントコーンの収量性の要因解析を行った。なお、本章では乾物収量が安定して高かった被覆尿素30+70施用区を対象とした。



その乾物収量を1999年も含めて表4.1にまとめた。5年間とも不耕起区の乾物収量は耕起区に比べて同等あるいはそれ以上であった。

表4.1 5年間のデントコーンの乾物収量

	乾物収量 (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	不耕起	耕起
1995年	19.6±0.7	15.2±0.6
1996年	16.9±0.8	16.5±0.8
1997年	15.8±0.6	15.3±0.6
1998年	14.6±0.2	13.7±0.5
1999年	15.4±0.9	14.8±1.7
年間平均値		







## 4.2 材料と方法

### 4.2.1 土壌特性

土壌特性は栽培試験を行った圃場において検討した。圃場の履歴を表4.2に示した。本試験圃場は1999年で不耕起栽培7年目、デントコーンの不耕起栽培5年目となる。デントコーンはホールクロップサイレージを想定しており、収穫時には地上部を刈り取り、茎葉を子実とともに圃場から持ち出すので、収穫後の残渣は実取り用トウモロコシと比べ少ない。

#### ○土壌の採取方法

土壌の三相分布を求めるために、1995年のデントコーン収穫後に100mLの円筒コアにて土壌を採取した。採取は株下と畦間それぞれの深さ0~5cm, 5~15cm, 15~30cmの層を代表するコアの中心が深さ2.5, 7.5, 22.5cmとなる位置で行った。反復数は4とした。なお株直下の深さ0~5cmは根量が多く採土が困難なので、株間の0~5cmで採取した。株下と畦間にわけた理由は、畦間では圃場作業による人の往来のため、株間に比べ物理性が変化していると考えたからである。22.5cmでは株下と畦間の人の往来による影響はないと考え、畦間のみで採取した。

土壌の化学性の分析試料は1996年播種前の5月8日に採取した。採取は不耕起土壌、耕起土壌それぞれ4ヶ所において、デントコーンの株を中心とした50cm幅の深さ0~5cm, 5~15cm, 15~30cmごとに行った。深さ0~15cmを作土とし、0~5cmを極表層、15~30cmを下層と考えた。幅を畦間の72cmとせず、50cmとし、深さを30cmまでとしたのはデントコーンの根系の大部分がその範囲内で見られたためである。採取した土壌は均一に混合し、風乾後2mmにて篩別し、分析試料とした。



表4.2 不耕起圃場における栽培作物の履歴

年度	
1989	オオムギ (耕起)
1990	デントコーン
1991	デントコーン (耕起)
1992	デントコーン (耕起)
1993	ダイズ
1994	ダイズ
1995	デントコーン
1996	デントコーン
1997	デントコーン
1998	デントコーン
1999	デントコーン

(耕起) 以外は不耕起栽培を行っている



### ○土壌の物理性

土壌硬度は、三相分布測定のための円筒コア採取時に山中式硬度計により測定した。測定位置は株下、畦間それぞれの深さ5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cmである。採取した円筒コアを用いて、土壌三相計（大起理化工業：DIK-1120）により三相分布を測定した。

1999年に土壌水分張力の推移をエアープール式テンシオメーター（大起理化工業：DIK-3100）により、経時的に調査した。位置は畦間中央（深さ5cmのみ株間中央）とし、深さは5cm, 10cm, 30cmとし、3反復で測定した。

### ○土壌の化学性

土壌pHは試料を、蒸留水で振とうし（抽出比 1：2.5）ガラス電極により測定した。

土壌の全窒素は風乾細土を微粉碎後、サリチル酸-硫酸分解法（ガンニング変法）により分解し、分解液を水蒸気蒸留後、1/100M硫酸で滴定し求めた。

可給態窒素は風乾細土を用い、保温静置法により行った。すなわち30℃、4週間培養したのち無機化した窒素量より求めた。

可給態リン酸はトルオーグ法およびブレイ第二準法により抽出し、分光分析光度計により求めた。

交換性塩基は風乾細土5gを1M酢酸アンモニウム液100mlで抽出後、原子吸光光度法により求めた。

## 4.2.2 根系調査および根の養水分吸収能の評価

### ○根系調査

根系調査は1999年栽培後の10月8日に行った。茎の太さ（主雌穂着生



直下の節間中央の直径) から地上部の生育量がほぼ同じと推定される個体を選んで不耕起区, 耕起区それぞれ3個体ずつを調査した。手順は地上部を刈り取り, 調査個体の横を掘り, 図4.1のように, 切り株を中心とした畦間方向に30cm, 株間方向に10cm, 深さ60cmの土塊ごと根を回収した。回収後の土塊を写真4.1に示す。その後水で土を洗浄し, 根を露出させ, 深さ別に根を切断後, 70℃にて通風乾燥し, 乾物重を測定した。洗浄時には水による根の移動を防ぐために金網をあて, 5cm間隔でくぎにより土塊を固定した(写真4.2)。深さは0~5cm, 5~15cm, 15~30cm, 30~45cm, 45~60cmごとに分別した。また0~5cmでは支持根と支持根からの2次根およびその他に分けた。太い支持根は養水分の吸収にほとんど寄与しないと考えたからである。根系調査時には, デントコーンの畦間の深さ5cmごとに山中式硬度計により土壌硬度を測定した。

### ○根の養水分吸収能の評価

#### a) 窒素吸収速度による評価

耕起法の違いによるデントコーンの根の養分吸収能を比較するため, スポット注入した硝酸態窒素の吸収速度を測定した。測定時期は, デントコーンの根系が下層まで充分発達したと考えられる出穂期(雄穂抽出期)で, 1996年は8月12日, 1997年は8月8日に行った。試験圃場は1996年は不耕起7年目の圃場で, 1997年は不耕起5年目(デントコーン栽培で3年目)の圃場で行った。これらは東北大学農学部附属農場の21号圃場の隣接する別の圃場である。1996年に不耕起7年目の圃場を選んだ理由は, 不耕起年度が進んだ圃場では, 不耕起栽培の影響が土壌特性により強く反映されると考えたからである。1997年は, 第2章の窒素肥料種を検討した圃場で行った。なお, ともに施肥処理は同じ被覆尿素30日タイプと70日タイプを1:2で混合して施与した個体で行った。注入に



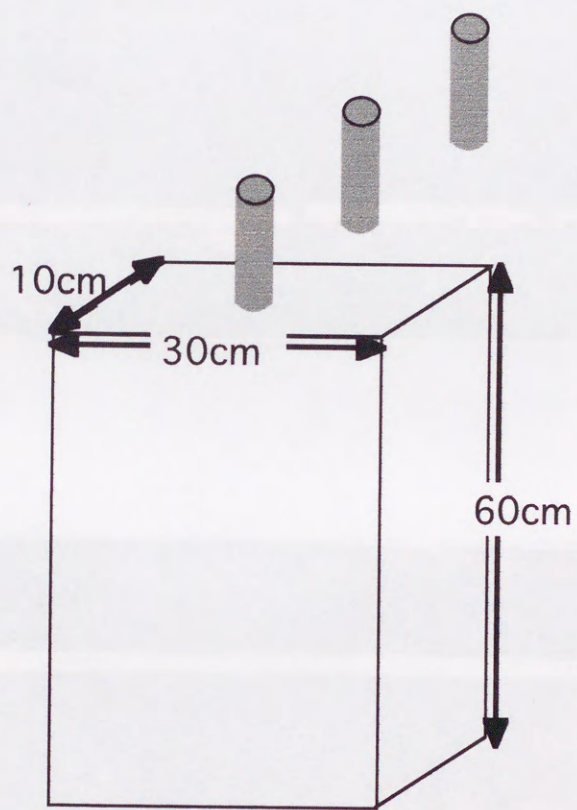


図4.1 デントコーンの根系の採取位置



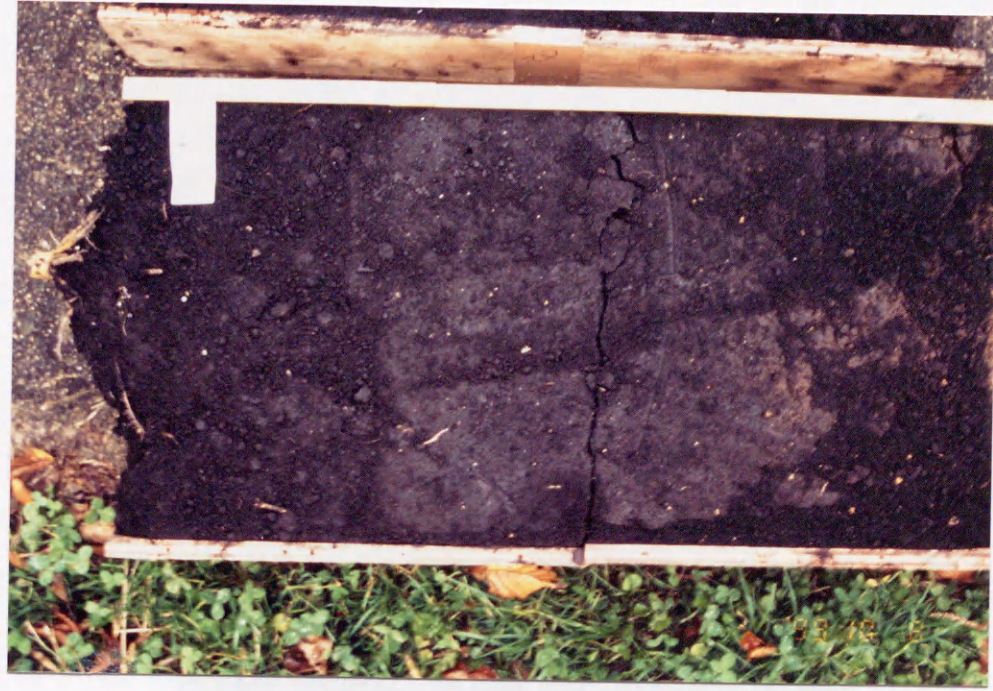


写真4.1 根系調査—土壌ごと根を回収  
左は不耕起区，右は耕起区。



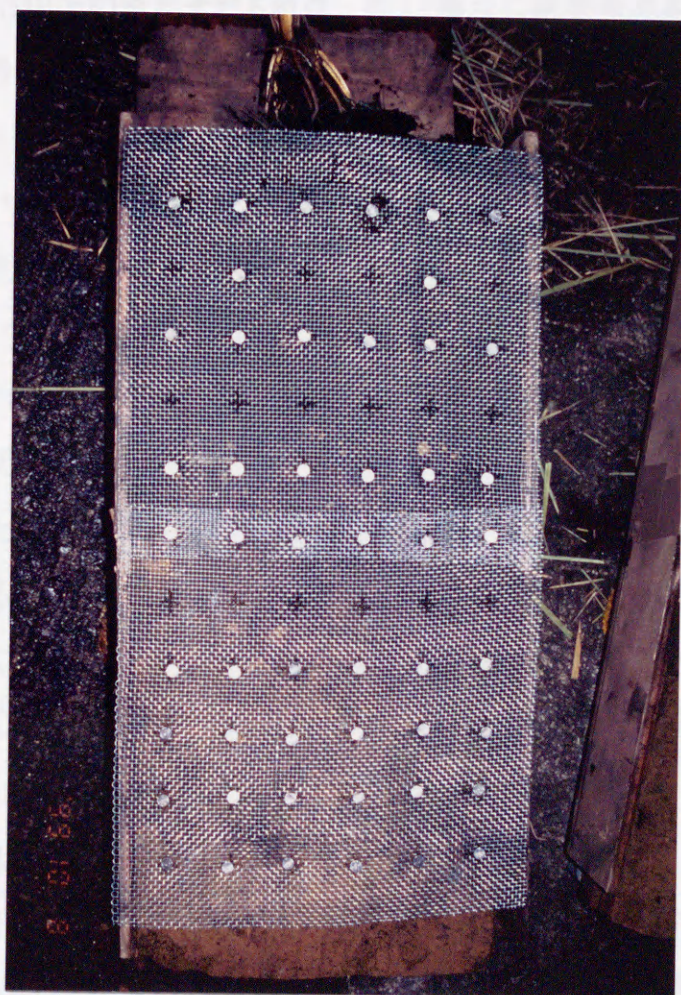


写真4.2 根系調査—洗浄前の様子



用いた硝酸態窒素は $^{15}\text{N}$ ラベルのもので1996年は硝酸カルシウム（50.4Atom%），1997年は硝酸カリウム（50.5Atom%）であり，それを1個体当たり200mgNを120mLの蒸留水に溶解して用いた．調査個体として不耕起区，耕起区において草丈および稈基部の茎周が平均的な個体を選んだ．

注入の方法としては，デントコーンの株を中心とした半径5cmおよび10cmの同心円上のそれぞれ6地点，計12地点に硝酸態窒素溶液を10mLずつ注射器を用いて均一に注入した（図4.2）．用いた注射針は注入時に針の穴に土がつかまらないように横穴のものを用いた．そのため，各注入地点においては注射器を回転し4方向に溶液が出るようにした．注入する前に，注入個体の両隣りの個体は刈り取り，注入窒素が他の個体に吸収されないようにした．深さ別の比較を行うため，深さ0~5cm層の中心2.5cmと深さ15~30cm層の中心22.5cmのそれぞれに注入した処理個体を設けた．反復数は4とした．

注入した個体は5日後に回収した．5日後としたのは，短期間での吸収量を求めるためである．回収後，70℃で通風乾燥し，粉碎，硫酸一過酸化水素法により湿式灰化したのち，発光分光分析法により $^{15}\text{N}$ を測定した．5日間の施用窒素の吸収量により，耕起法および深さ別の根の養分吸収能を比較した．

#### b) 出液速度（石原&平沢，1985）による評価

耕起，不耕起デントコーンの根の養水分吸収能を比較するために，1999年の6月11日と7月2日にデントコーンの出液速度を測定した．6月11日（3~4葉期）は不耕起区と耕起区で深さ0-15cm層の土壤水分張力に差が見られた時であり，7月2日（7~8葉期）は降雨の翌日で土壤水分張力に差がない時である．



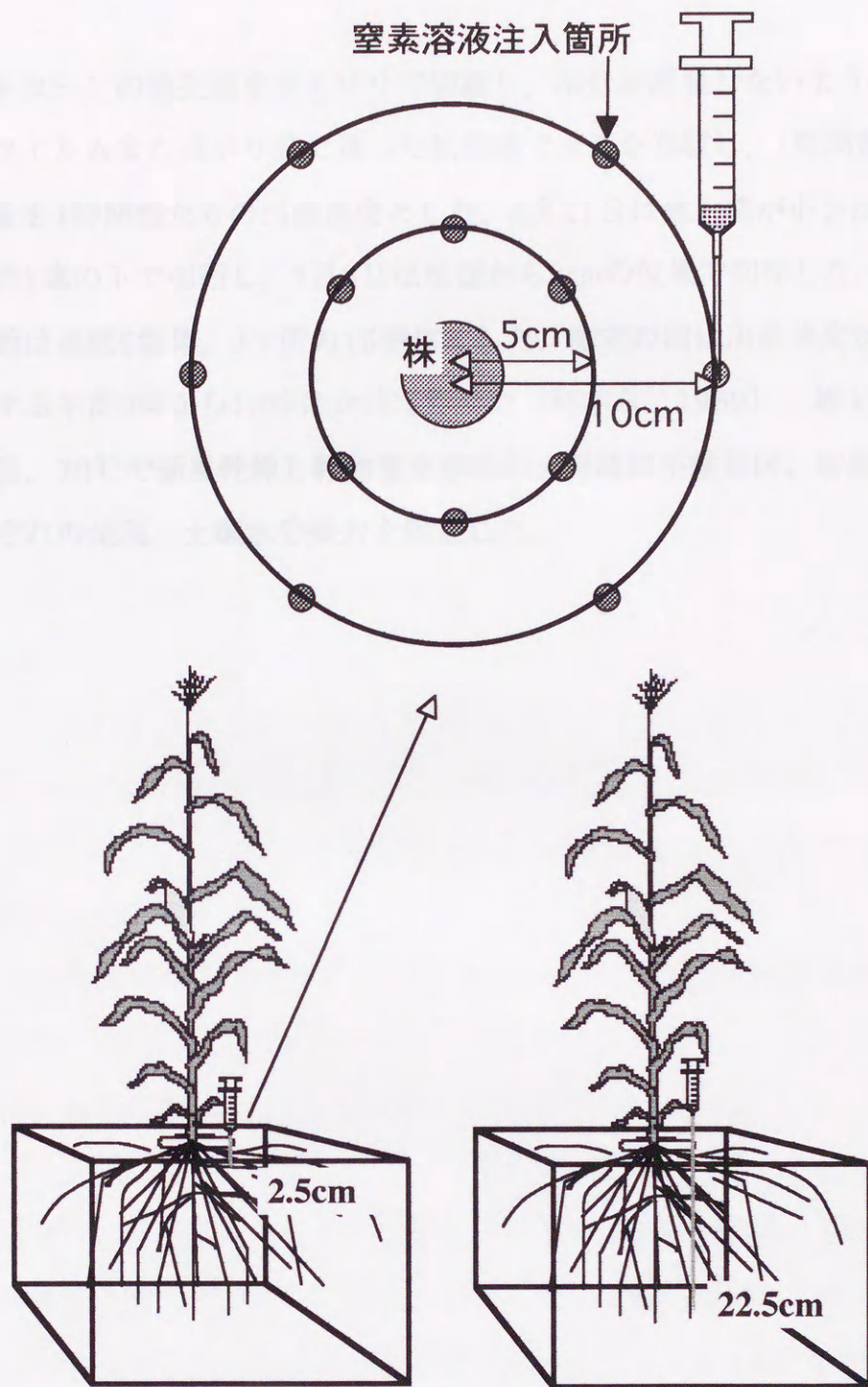


図4.2  $^{15}\text{N}$ ラベル硝酸態窒素の注入方法



デントコーンの地上部をカミソリで切断し、水分が蒸発しないようにラップフィルムまたはポリ袋で覆った脱脂綿で出液を回収し、1時間後の増加量を1時間当たりの出液速度とした。6月11日は地上部が小さかったので第1葉の下で切断し、7月2日は地表から3cmの位置で切断した。測定個体数は連続5個体、3ヶ所の15個体とした。測定時間は出液速度が最大に達する午前9時から10時にかけて行った（岡本ら，1999）。地上部は切断後、70℃で通風乾燥し乾物重を求めた。同時に不耕起区、耕起区のそれぞれの地温、土壌水分張力を測定した。



## 4.3 結果および考察

### 4.3.1 土壌の物理性

#### 1) 三相分布

不耕起栽培では耕耘しないために、耕起土壌と比べ土壌硬度の増加、固相の増加などの特徴を示す。このことは不耕起栽培における作物の根圏環境に大きな影響を与える。そこで土壌の物理的特性のうち最も重要な特性の一つである三相分布から検討した。図4.3にデントコーンの株下と畦間における土壌の三相分布を示した。

#### a) 液相率

耕起法で比較すると、深さ0~5cmでは耕起土壌の株下、畦間でそれぞれ $0.36\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ 、 $0.43\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ に対し、不耕起土壌の株下、畦間でそれぞれ $0.43\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ 、 $0.47\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ と不耕起土壌で高くなった。深さ5~15cmにおいても、耕起土壌は株下、畦間でそれぞれ $0.42\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ 、 $0.44\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ に対し、不耕起土壌は株下および畦間でともに $0.50\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ であり、不耕起土壌で液相率が高かった。深さ15~30cmではほぼ同じであったのは、耕起深が10~15cmであったため、耕起法の違いがみられなかったものと考えられる。コアの採取は圃場容水量に近い水分条件で行った。そのため液相率（水分含量）は圃場容水量に近く、液相率が高いほど作物が吸収可能な有効水が多いと考えることができる。よって作土では、不耕起土壌の方が耕起土壌よりも有効水が多かったと考えられる。不耕起土壌では耕耘しないことにより作土と下層の間の毛管が切断されずに下層土からの水分供給が継続することが考えられる。トウモロコシは蒸散量が少なく、要水量（作物が乾物1gを得るために必要とする水の量）が96（畑地かんがい、1972）と低いため、土壌水分量の違いは収量には比較的影響



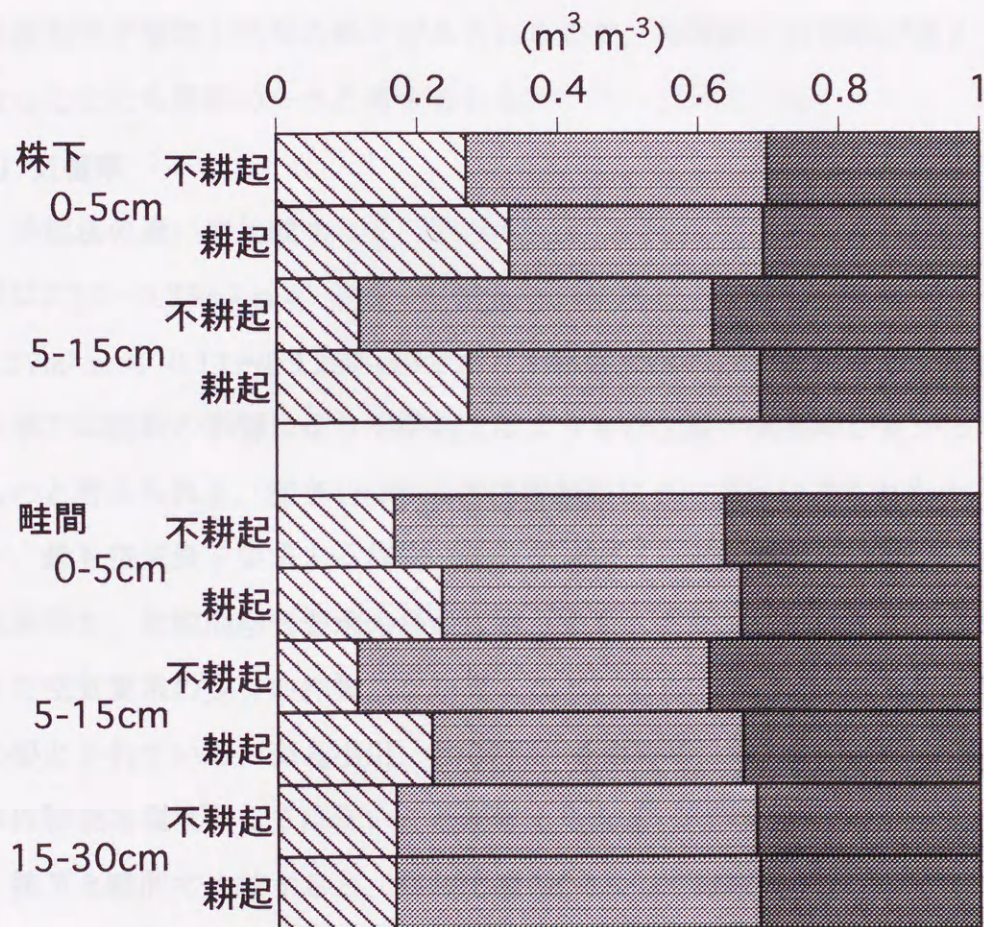


図4.3 三相分布の比較 (1995年)

気相
 液相
 固相



を与えにくいと考えられる。しかしながら強い乾燥を経過した場合は、土壌水分の差が生育に顕著に表れると考えられる。

株下と畦間の液相率を比較すると、深さ0~5cmにおいて株下より畦間の方が $0.04 \sim 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 高かった。株下の0~5cmでは播種溝および植物根の影響によりやや低い値となっていたと思われる。畦間では圧縮を受け固相率が増加し気相の低下がみられるので、相対的に液相率が高くなったことも要因の一つと考えられる。

#### b) 気相率

耕起法の違いで比較すると、深さ0~5cm、5~15cmではそれぞれ耕起土壌は $0.23 \sim 0.33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 、 $0.22 \sim 0.27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ に対し、不耕起土壌は $0.17 \sim 0.27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 、 $0.11 \sim 0.12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ であり不耕起土壌の方が低かった。耕起土壌では耕耘の影響により不耕起土壌よりも作土層の気相率が高かったものと考えられる。深さ15~30cmでは耕起法による違いはみられなかった。最も空気量を要求する作物（インゲンマメなど）では $0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ の気相率を、比較的空気要求の多い作物（オオムギなど）では $0.20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 、また空気要求の少ない作物（ソルガムなど）でも $0.15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ の気相率が必要とされている（森&小川，1967）。そのため、不耕起土壌の気相率は作物栽培環境としては低いことが考えられる。

株下と畦間で比較すると、耕起土壌の0~15cmでは畦間の方が気相率が低い割合であった。畦間で気相率が低下するのは農作業における人の往来により土壌が圧縮を受け、固相と液相が相対的に増加したためである。それに対し不耕起土壌の5~15cmでは株下と畦間で違いはなかった。不耕起土壌ではすでに圧縮を受けているために気相率が低く、人の往来などによる土壌の圧縮を受けにくかったと考えられる。不耕起土壌の0~5cmで株下の気相率が高かったのはデントコーンの根により孔隙が増えたた



めと考えられる。

### c) 固相率

黒ボク土は軽しゅうであるため、全体的に固相率が低く、耕起土壌では $0.31\sim 0.34\text{m}^3\text{m}^{-3}$ に対し、不耕起土壌では $0.30\sim 0.39\text{m}^3\text{m}^{-3}$ であった。作土 $0\sim 15\text{cm}$ では、播種溝および作物根の影響を受けやすい株下の $0\sim 5\text{cm}$ を除き、不耕起土壌の方が耕起土壌より固相率が高かった。耕起区では毎年耕耘することにより、作土層で気相が増加し固相が低くなるのに対し、不耕起土壌では圧縮を受け、固相率が増加したと考えられる。

以上をまとめると、不耕起土壌では耕起土壌と比較し作土 $0\sim 15\text{cm}$ において有効水分が多く、気相率がやや低く、固相率がやや高かった。 $15\sim 30\text{cm}$ では違いが認められなかった。これらの結果は耕耘の影響をあらわしているものと考えられる。本研究の結果では不耕起土壌で固相率が最大でも $0.39\text{m}^3\text{m}^{-3}$ であり、洪積土壌の $0.50\text{m}^3\text{m}^{-3}$ や沖積土壌の $0.40\sim 0.50\text{m}^3\text{m}^{-3}$ （川口，1977）に比べ低い値を示していた。このことは、有機物含量が高く団粒構造が発達しているために、作物根の生育に良好な物理性を保つ黒ボク土の特徴を示しているといえる。

### 2) 土壌硬度

根系発達には土壌硬度が大きく関わってくる。土壌硬度が増加すると作物の根系発達は抑制され、山中式硬度計による土壌硬度の値が $22\sim 23\text{mm}$ を越えると根伸長が阻害される（三好，1972）と報告されている。図4.4に深さ別の土壌硬度を示した。

株下の土壌硬度は深さ $5\text{cm}$ から $20\text{cm}$ まで耕起区より不耕起区で高くなっている。深さ $10\text{cm}$ および $15\text{cm}$ で不耕起区は $18\text{mm}$ 、 $21\text{mm}$ に対し耕起区はそれぞれ $10\text{mm}$ 、 $11\text{mm}$ と低くなっており、不耕起区と耕起区の間で有意差が認められた。 $25\text{cm}$ の深さではともに $20\sim 21\text{mm}$ で、耕起法に



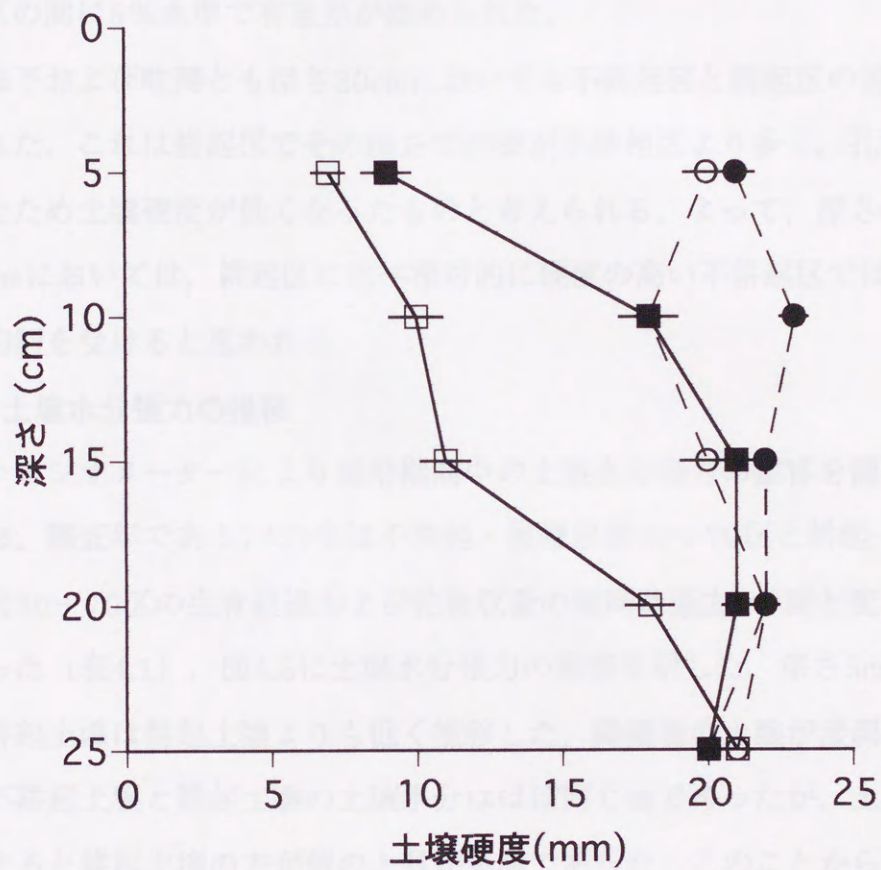


図4.4 深さ別の土壌硬度 (1995年)

■, 不耕起株下; □, 耕起株下; ●, 不耕起畦間;  
○, 耕起畦間. 図中の水平線は標準誤差を示す.



よる差はみられなかった。

畦間では5cmから20cmまで全体的に株下よりも硬度が増加しており、人間の往来により圧縮を受けたと考えられる。不耕起区は耕起区に比べ20cm以上では硬度が増加した。深さ10cmおよび15cmにおいて、不耕起区は23mm、22mmに対し、耕起区は18mm、20mmであり不耕起区と耕起区の間で5%水準で有意差が認められた。

株下および畦間とも深さ20cmにおいても不耕起区と耕起区の差が認められた。これは耕起区でその深さでの根が不耕起区より多く、孔隙が増えたため土壌硬度が低くなったものと考えられる。よって、深さ0～20cmにおいては、耕起区に比べ相対的に硬度の高い不耕起区では根伸長が抑制を受けると思われる。

### 3) 土壌水分張力の推移

テンシオメーターにより栽培期間中の土壌水分張力の推移を調べた。なお、調査年である1999年は不耕起・被覆尿素30+70区と耕起・被覆尿素30+70区の生育経過および乾物収量の傾向は過去4年間と変わらなかった(表4.1)。図4.5に土壌水分張力の推移を示した。深さ5cmでは不耕起土壌は耕起土壌よりも低く推移した。降雨後の土壌が湿潤な時には不耕起土壌と耕起土壌の土壌水分はほぼ同じ値であったが、土壌が乾燥すると耕起土壌の方が値の上昇が急激であった。このことから不耕起区では土壌が乾燥しにくく、水分の保持に優れることが明らかである。この理由には二つのことが挙げられる。一つは不耕起区の地表面で耕起区に比べ植物残渣が比較的多いため土壌が乾燥しにくかったこと、もう一つは不耕起土壌では植物根による下層から表層への連続した孔隙が多く、その孔隙をつたって下層から水分が供給されやすいことである。このうち、第一の理由は、本実験においては作物の地上部を全て取



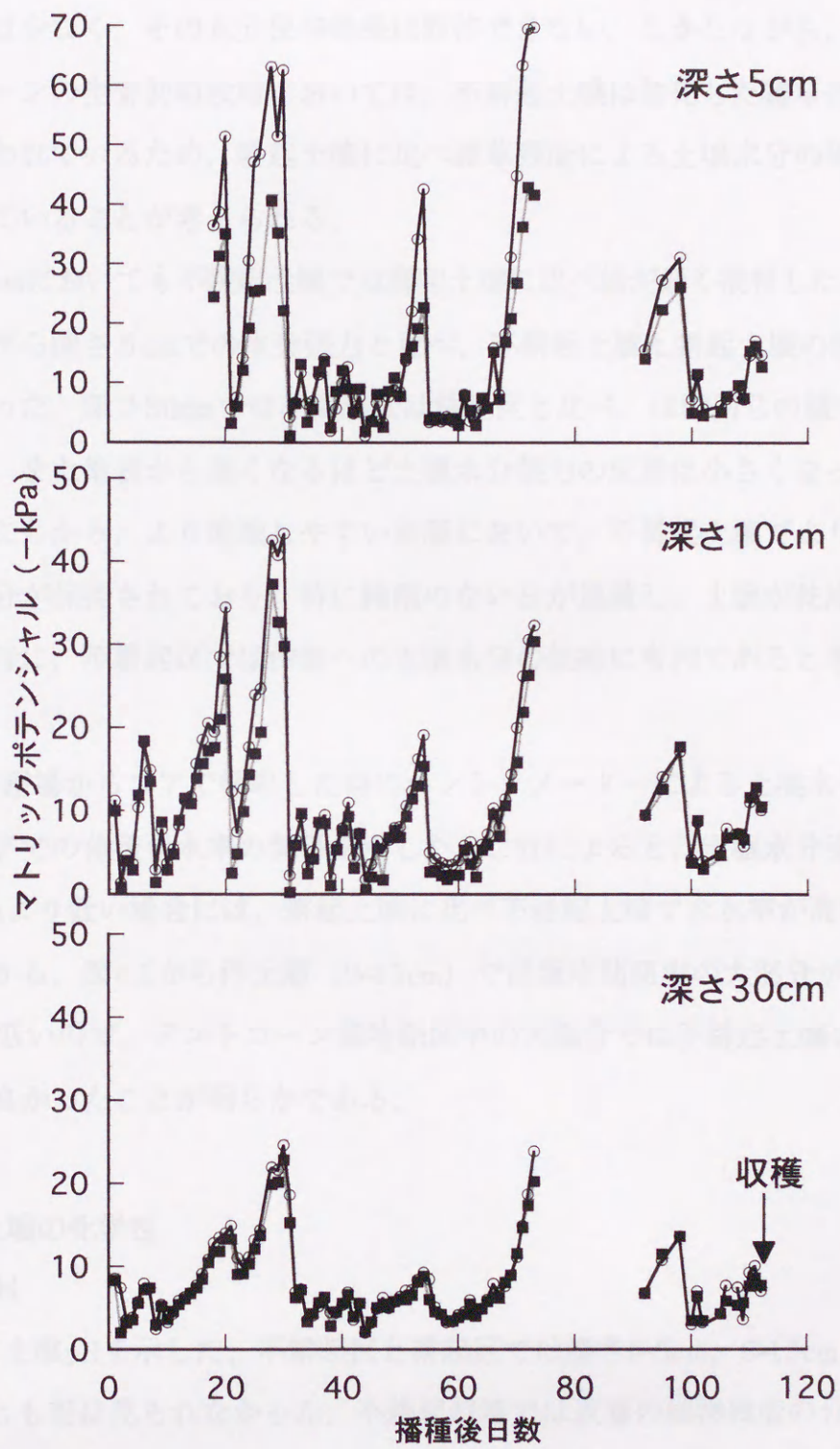


図4.5 土壤水分張力の推移 (1999年)

■, 不耕起 ; ○, 耕起.



穫して、圃場外へ持ち出しているのです。実取りトウモロコシと比べると作物残渣は少なく、その水分保持効果は期待できない。しかしながら、デントコーンの生育初期段階においては、不耕起土壌は枯死した雑草の残渣に覆われているため、耕起土壌に比べ雑草残渣による土壌水分の保持に優れていることが考えられる。

深さ10cmにおいても不耕起土壌では耕起土壌に比べ値が低く推移した。しかしながら深さ5cmでの水分張力と比べ、不耕起土壌と耕起土壌の差は少なかった。深さ30cmでは不耕起区は耕起区と比べ、ほぼ同じの値で推移した。また地表から深くなるほど土壌水分張力の変動は小さくなった。このことから、より乾燥しやすい表層において、不耕起土壌でより多くの水分が保持されており、特に降雨のない日が連続し、土壌が乾燥しやすい時に、不耕起区では作物への土壌水分の供給に有利であると考えられる。

図4.6に圃場からコアで採取した時のテンシオメーターによる土壌水分張力とコアでの体積含水率の関係を示した。これによると、土壌水分張力が-5kPaより低い場合には、耕起土壌に比べ不耕起土壌で含水率が高いことが分かる。図4.5から作土層(0~15cm)では栽培期間中の大部分が-5kPaより低いので、デントコーン栽培期間中の大部分では不耕起土壌の含水率が高かったことが明らかである。

#### 4.3.2 土壌の化学性

##### 1) 土壌pH

図4.7に土壌pHを示した。不耕起区と耕起区では深さ0~5cm, 5~15cm, 15~30cmとも差は見られなかった。不耕起栽培では表層の植物残渣の分解の際に有機酸が放出されたり、表面施肥によりアンモニウム態窒素の



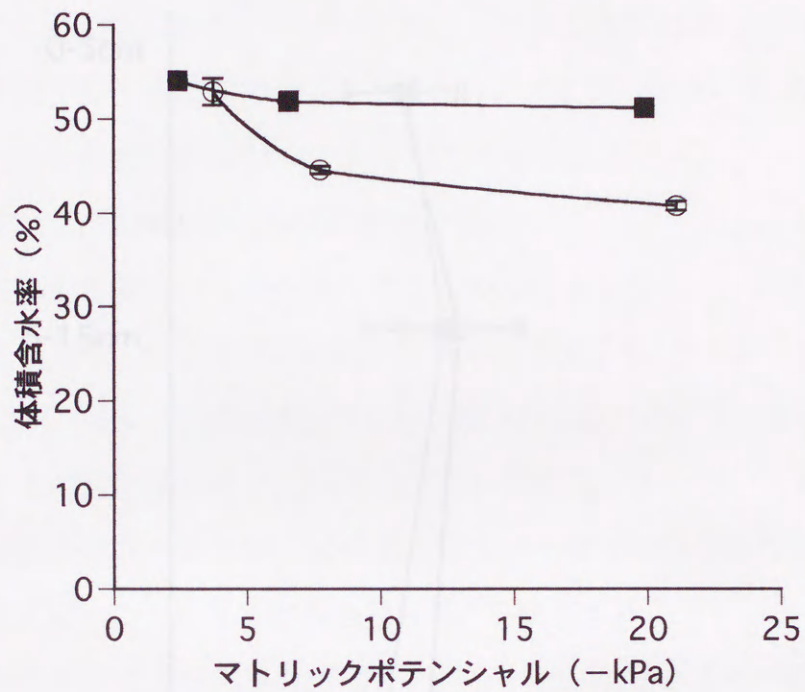


図4.6 土壤水分張力と体積含水率の関係

■, 不耕起; ○, 耕起. 図中の垂線は標準誤差を示す.

図4.7 土壤pHの比較 (1996年)

■, 不耕起; ○, 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.



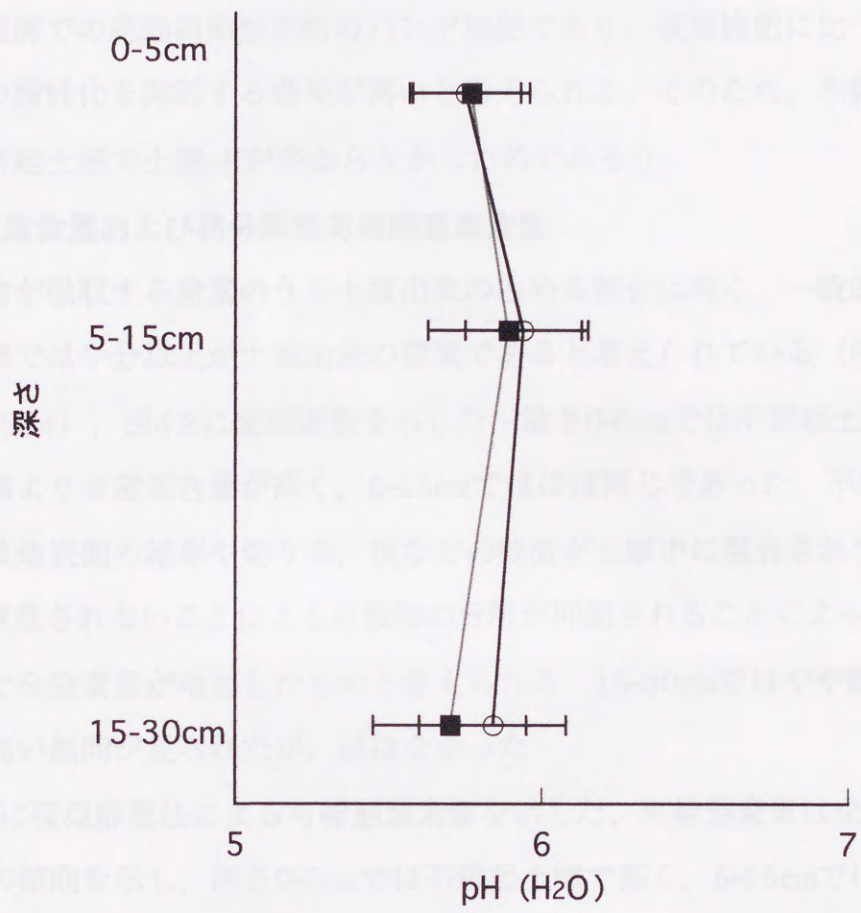


図4.7 土壌pHの比較 (1996年)

■, 不耕起 ; ○, 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.



硝酸化成の過程で $H^+$ が放出されることにより、表層の土壌pHが低下することが報告されている（金沢，1995）。本試験においてはデントコーンは地上部全体を収穫するため、地表面に残される作物残渣はほとんどない。よって、分解による有機酸の放出も少ないと思われる。さらに施肥法は播種溝での肥効調節型肥料のバンド施肥であり、表面施肥に比べ地表面での酸性化を抑制する効果が高いと考えられる。そのため、不耕起土壌と耕起土壌で土壌pHが変わらなかったのであろう。

## 2) 全窒素含量および易分解性有機態窒素含量

畑作物が吸収する窒素のうち土壌由来の占める割合は高く、一般的な耕起栽培では半分以上が土壌由来の窒素であると考えられている（庄子 & 前，1984）。図4.8に全窒素量を示した。深さ0~5cmでは不耕起土壌で耕起土壌より全窒素含量が高く、5~15cmではほぼ同じであった。不耕起栽培では地表面の雑草や切り株、根などの残渣が土層中に混合されないことや攪乱されないことによる有機物の分解が抑制されることによって、極表層で全窒素量が増加したものと考えられる。15~30cmではやや耕起土壌で高い傾向が見られたが、差はなかった。

図4.9に保温静置法による可給態窒素量を示した。可給態窒素は全窒素と同様の傾向を示し、深さ0~5cmでは不耕起土壌で高く、5~15cmでは不耕起土壌と耕起土壌でほぼ同じであった。このことは、不耕起土壌の0~5cmでは可給態窒素のポテンシャルが高いことを表わしている。実際の圃場条件では、耕起土壌では耕耘することにより土壌に酸素が多く取り込まれると好氣的微生物の活動が活発化することや攪乱効果により、有機物の分解が促進され窒素無機化が促進されると考えられる。保温静置法では、土壌を風乾してから水分を調整したのち培養するため、不耕起土壌で起こる微生物反応を反映しにくい。したがって、不耕起土壌の



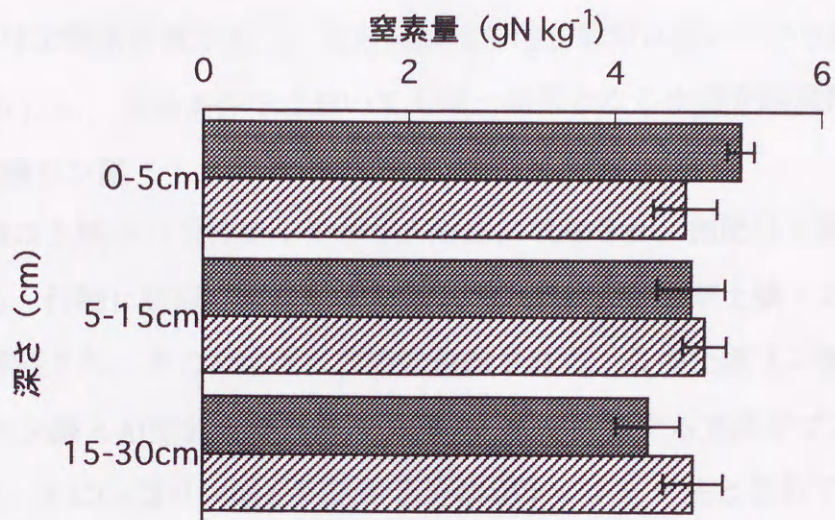


図4.8 全窒素量の比較 (1996年)

■ 不耕起 ■ 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.

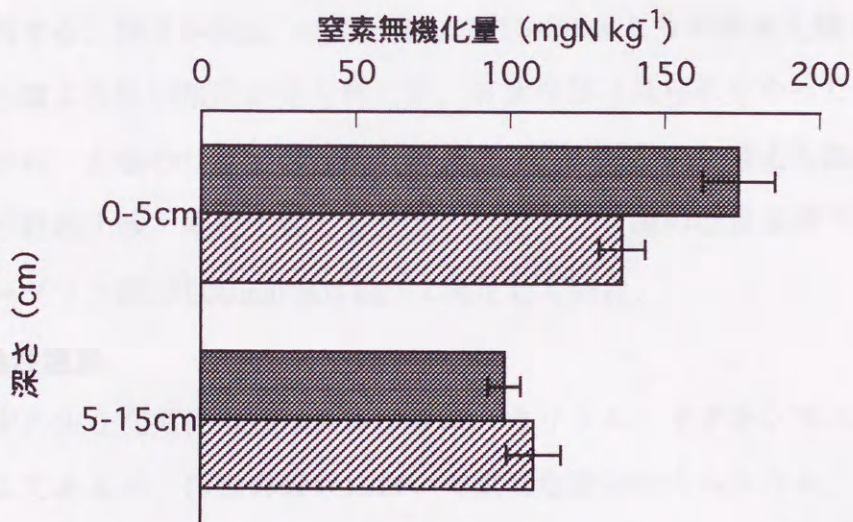


図4.9 窒素無機化量\*の比較 (1995年)

■ 不耕起 ■ 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.

\*保温静置法による (30°C, 4週間培養)



0~5cmでは全窒素含量が高く、窒素無機化の潜在能力は高いという結果が得られたが、圃場条件下においても同一結果となるか否かは疑問である。

### 3) 可給態リン酸

リン酸は土壌中の活性アルミニウムや鉄に収着され、施肥リン酸は難溶化する。作物に吸収されなかった施肥リン酸は大部分が土壌リン酸となって蓄積され、その後徐々に作物に供給される。この土壌リン酸のうちCa型リン酸とAl型およびFe型リン酸の一部を評価する方法がブレイ第2準法で、主にCa型リン酸を評価する方法がトルオーグ法とされている(伊藤, 1993)。

図4.10にブレイ第2準法とトルオーグ法による可給態リン酸含量を示した。2つの値は大きく違うが傾向はほぼ同じであった。そこで黒ボク土では無機態リン酸の主要な形態はAl型であるので、主にブレイ第2準法で説明する。深さ0~5cm, 5~15cmおよび15~30cmとも不耕起土壌でやや耕起土壌より低い傾向が見られたが、有意な差は見られなかった。このことから、土壌のリン酸の供給量に大きな違いはないと考えられる。なお、不耕起土壌、耕起土壌とも土壌の可給態リン酸の改良基準であるトルオーグリン酸が $100\text{mgP}_2\text{O}_5\text{ kg}^{-1}$ は満足していた。

### 4) 交換性塩基

土壌中の主な交換性塩基はカルシウム、カリウム、マグネシウム、ナトリウムであるが、作物の吸収において重要な養分はカルシウム、カリウム、マグネシウムである。そこでその3種の交換性塩基について図4.11に示した。

#### a) カリウム

カリウムについてみると、深さ0~5cmでは不耕起土壌は耕起土壌より低かった。不耕起区では表層に根が多く、表層での養分吸収能が高いこ



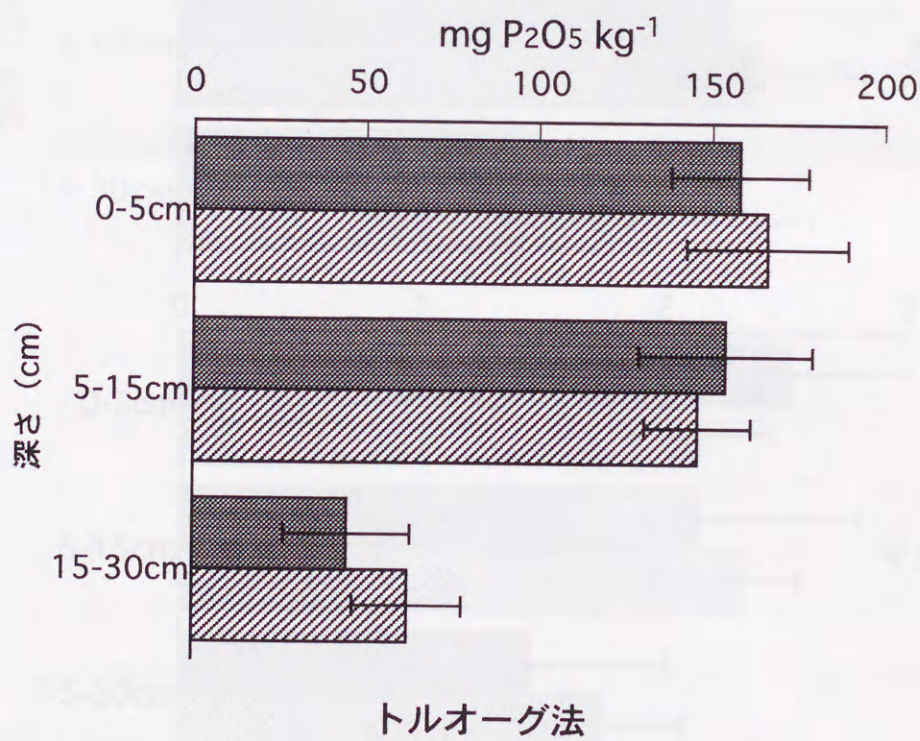
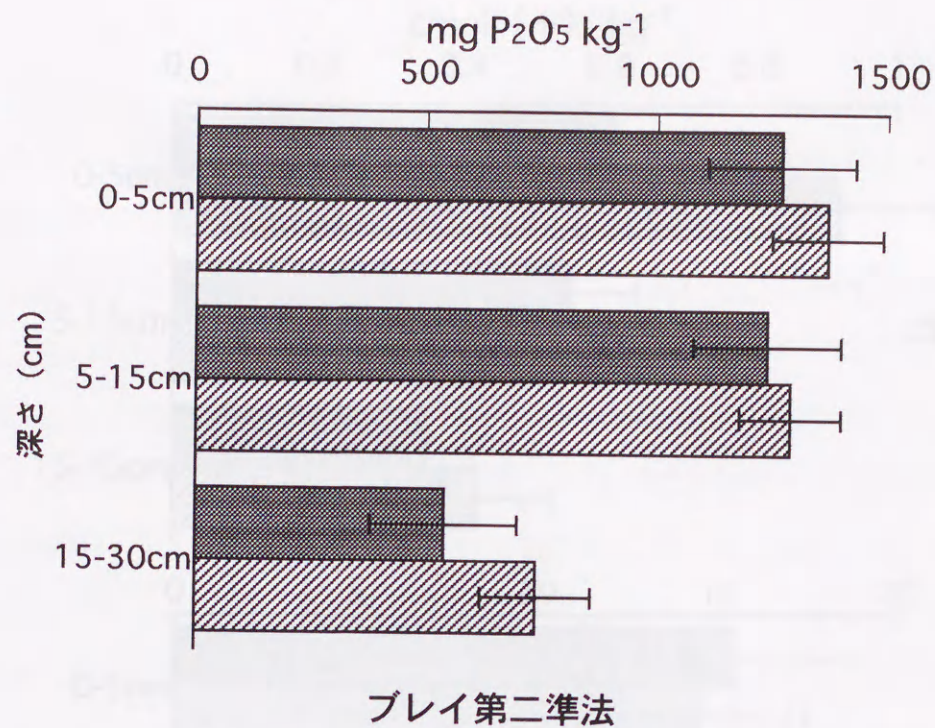


図4.10 可給態リン酸含量の比較 (1996年)

■ 不耕起 □ 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.



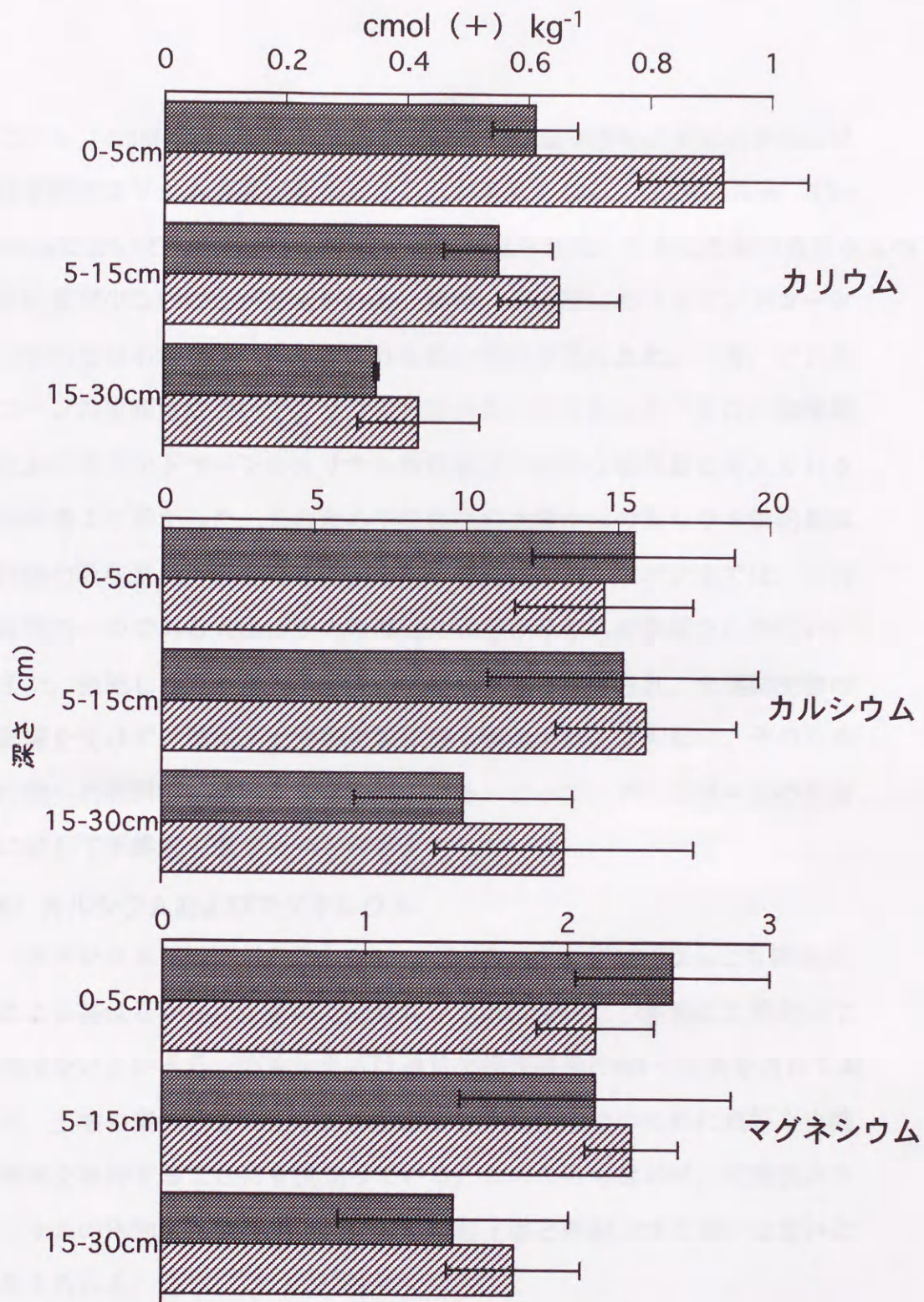


図4.11 交換性塩基含量の比較 (1996年)

■ 不耕起 □ 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.



とから (4.3.3で述べる) , 表層での養分吸収量が多いために, 0~5cmでは交換性カリウム含量が低かったことが考えられる. 深さ5~15cm, 15~30cmにおいても不耕起土壌で低い傾向が見られた. このことからカリウムの供給量が少ないことが考えられる. 実際, 収穫期におけるデントコーンの吸収量は不耕起区で耕起区よりも低い傾向が見られた. 一方, デントコーンの生育中においてカリウム欠乏はみられなかった. また, 収穫期におけるデントコーンのカリウム吸収量は一般的な吸収量と考えられる施肥量より多かった. そのため不耕起区の土壌からのカリウム供給量は作物の吸収量に対して充分であったと考えられる. 黒ボク土では, その母材の一つである火山ガラスの風化によりカリウムが供給されやすい. また, 施肥したカリウムは土壌に交換態として保持され, 土壌微生物の影響を受けず, 黒ボク土では土壌に強く吸着することもない. そのため作物への利用率は高いと考えられている. よって, デントコーンの生育に対して不耕起土壌で不利とは考えられない.

#### b) カルシウムおよびマグネシウム

カルシウムについてみると0~5cm, 5~15cmおよび15~30cmとも耕起法による差はなかった. そのためカルシウムの供給に不耕起区と耕起区で差はないといえる. カルシウムは通常交換性塩基の60~80%を占めており, 土壌の酸性化を防止し, 作物および土壌微生物のために良好な土壌環境を維持することにも役立っている. このことも合わせ, 交換性カルシウムの作物生育に対する効果は不耕起土壌と耕起土壌で違いはないと考えられる.

マグネシウムは値は異なるもののカルシウムと同じ傾向を示した. カルシウムとマグネシウムの土壌中での動態は類似している. そのため, 交換性マグネシウムは交換性カルシウムと同じ傾向を示したものと考え



られる。マグネシウムに関しても、作物生育への影響は不耕起土壌と耕起土壌で変わらないことが考えられる。

以上、土壌の化学性についてまとめると、不耕起土壌は耕起土壌に比べ、土壌pH、土壌窒素の無機化、可給態リン酸および交換性塩基については作物生育に対する障害性、有利性は見い出せず、不耕起栽培で耕起栽培と同等以上のデントコーン収量が得られた理由として、土壌の化学性は考えられないと判断した。

#### 4.3.3 デントコーンの根の養水分吸収能

耕耘の目的の一つに土壌の物理性を改良することがある。それにより、作物の根系を十分に発達させ、作物生育を促進させる。不耕起栽培では耕耘しないため、土壌の物理性が耕起土壌と異なる。図4.12に1999年根系調査時のデントコーンの畦間における深さ別土壌硬度を示した。不耕起土壌では深さ10cm、15cmで耕起土壌に比べ土壌硬度が有意に高かった。土壌硬度の増加は作物の根伸長に影響を与えることにより、不耕起栽培と耕起栽培でデントコーンの根系および根の養水分吸収能が異なることが考えられる。

##### 1) デントコーンの根系発達

写真4.3、写真4.4に1999年収穫期におけるデントコーンの根系を示した。土塊ごと採取して土を洗い流すことにより、比較的簡便に下層の根を回収することができた。図4.13に収穫期（1999年）における深さ別根乾物重を示した。地上部の乾物重は、これまで（1995年～1998年）の傾向と同じであり（表4.1）、この根のデータが過去の栽培年でも同様であったと推定する。深さ0-5cmでは、有意差はないものの不耕起区は耕起区よりも総根量が多く、二次根（細根）の量は2.1倍であった。



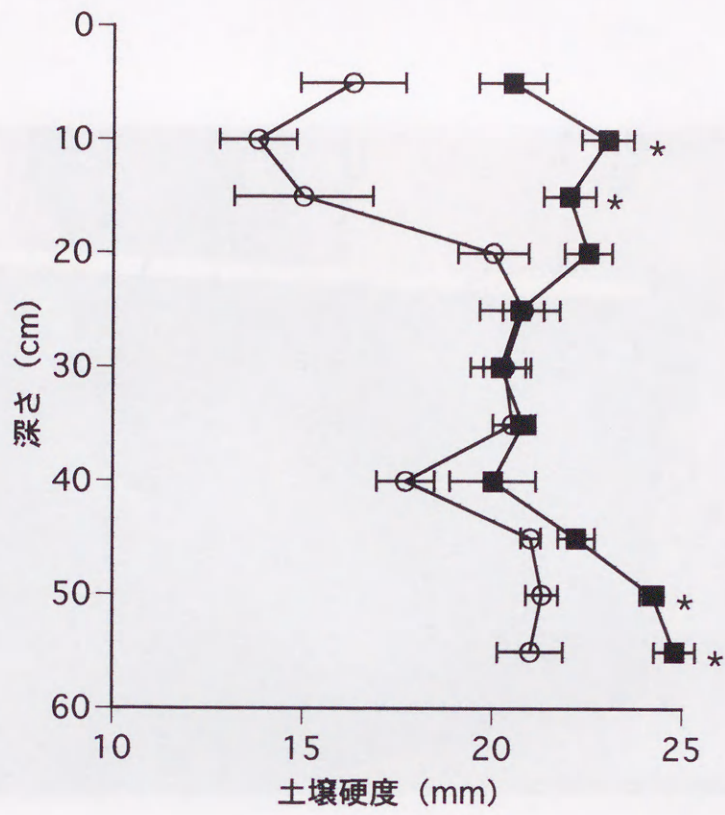


図4.12 根系調査時の畦間の土壌硬度 (1999年)

■, 不耕起; ○, 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.

\*は, 5%水準で有意差があることを示す.



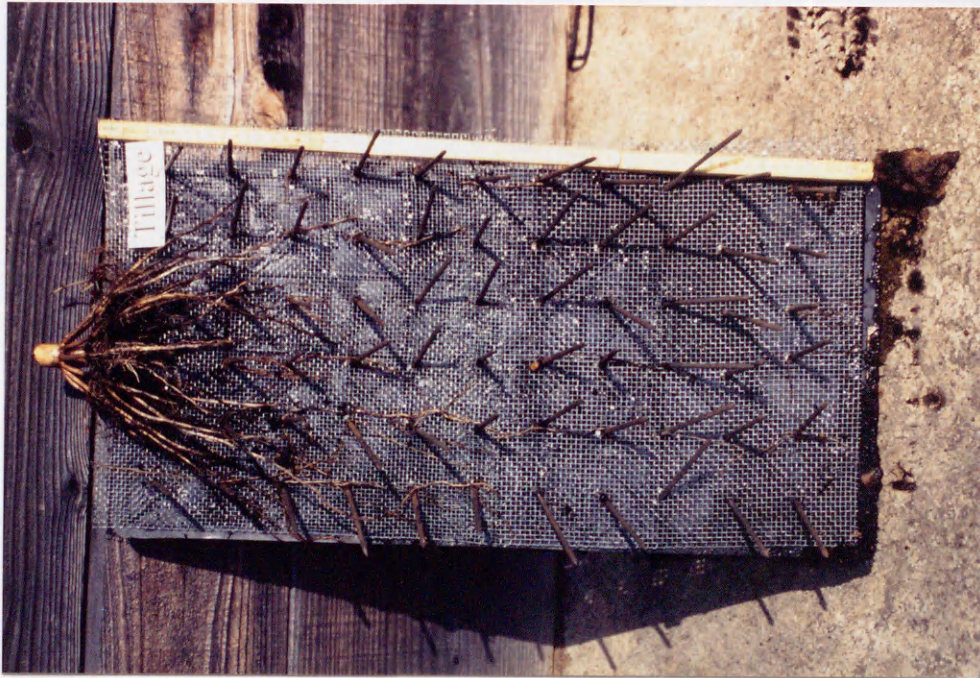
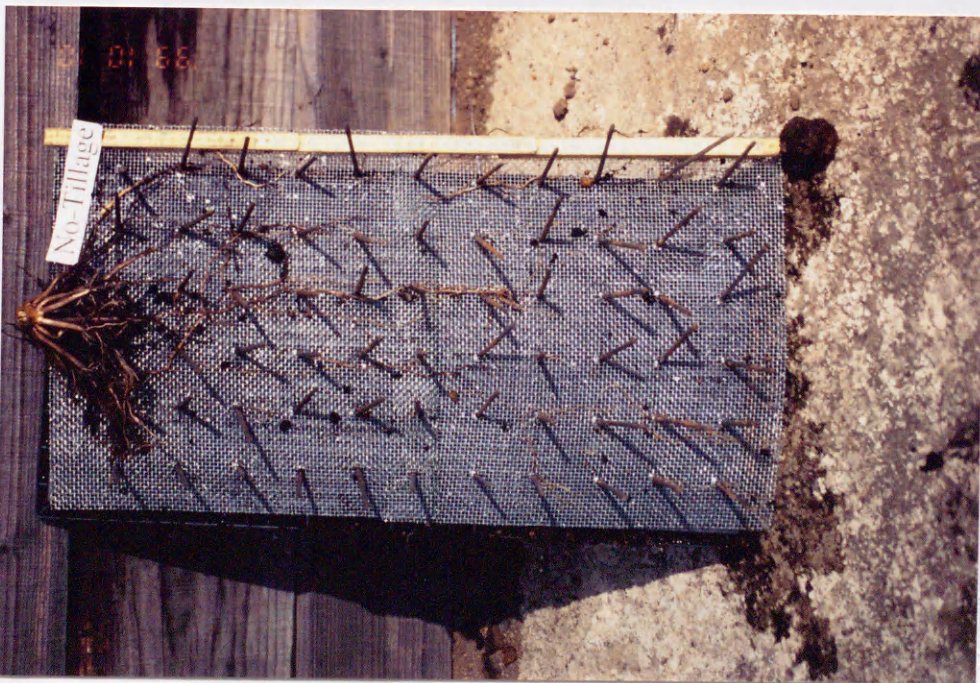


写真4.3 デントコーンの根系  
左は不耕起区，右は耕起区。



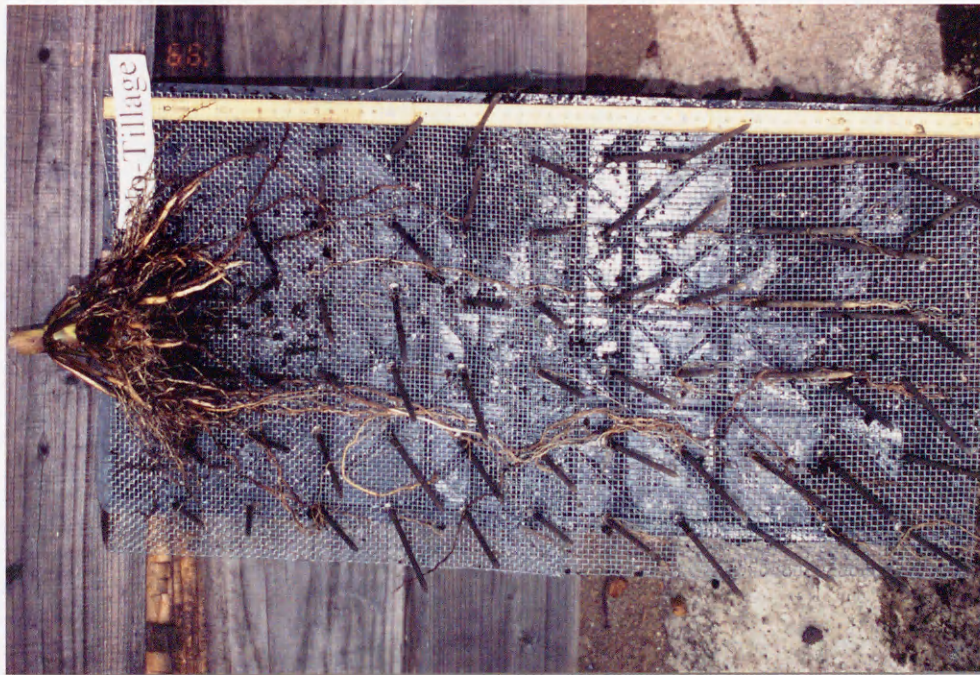
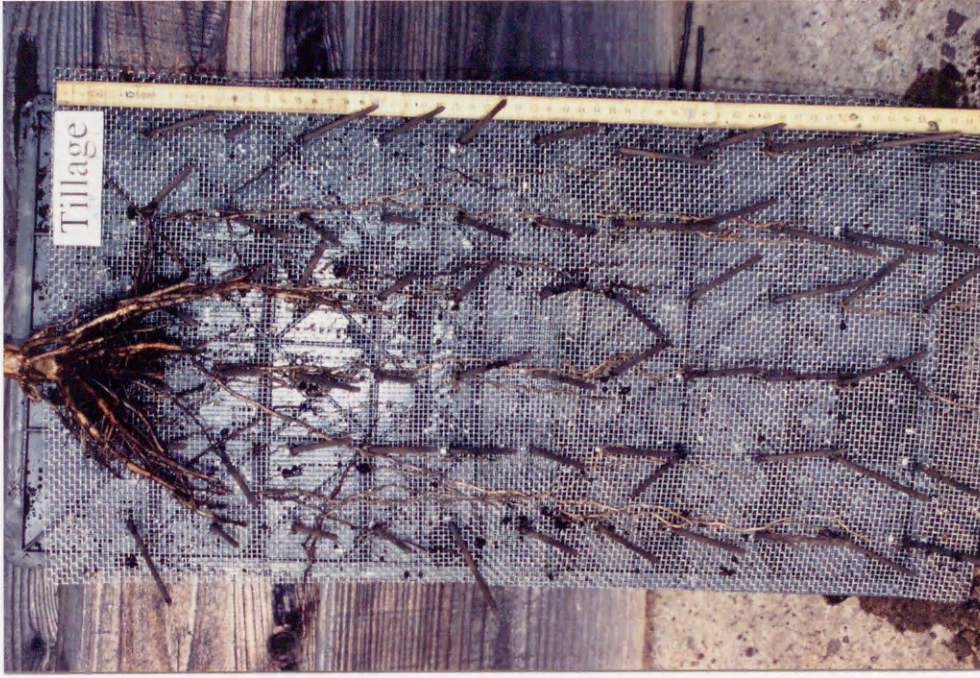


写真4.4 デントコーンの根系  
左は不耕起区, 右は耕起区.



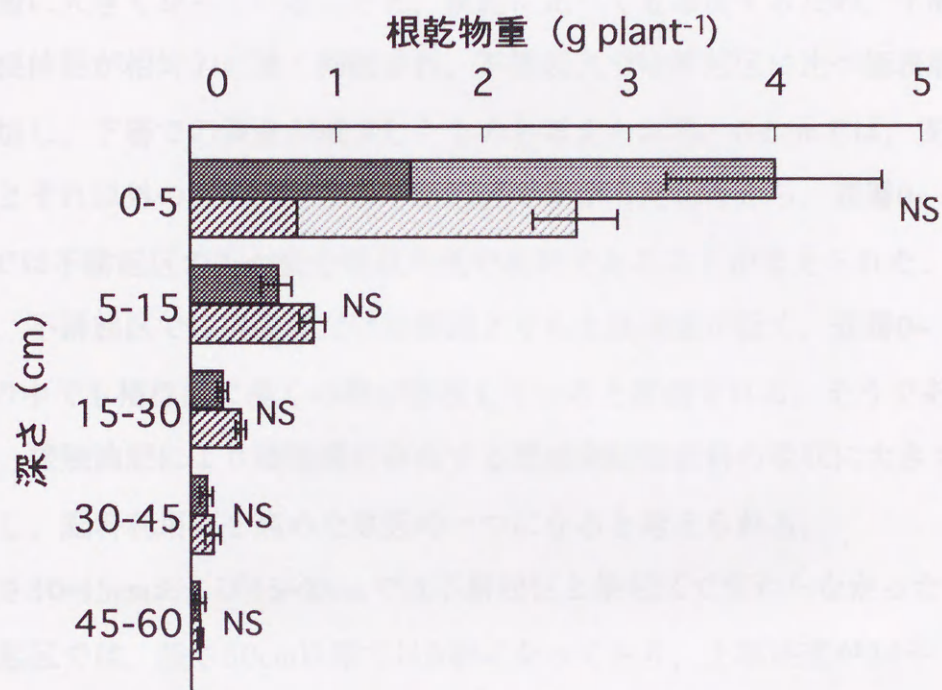


図4.13 収穫期における深さ別根乾物重 (1999年)

■ 不耕起 ▨ 耕起. 0-5cmの淡色部は支持根を示す.

図中の水平線は標準誤差を, NSは有意差のないことを示す.



深さ5~15cmおよび15~30cmでは有意差はないものの耕起区の方が多かった。不耕起区では株下の深さ10~20cmの土壤硬度が5cmの層に比べて急激に大きくなっていることと、耕起に比べても増加するため、下層への根伸長が相対的に強く抑制され、不耕起区では耕起区に比べ極表層で増加し、下層での根量が減少したものと考えられる。0~5cmでは、支持根とそれ以外の根の両方とも不耕起区で多かったことから、表層0~5cmでは不耕起区の方が養分吸収の点で有利であることが考えられた。また、不耕起区では播種溝だけは周囲よりも土壤硬度が低く、表層0~5cmの中でも播種溝に多くの根が存在していると推測される。そうであれば、接触施肥により播種溝に存在する肥効調節型肥料の吸収に大きく寄与し、肥料利用率を高めた原因の一つになると考えられる。

深さ30~45cmおよび45~60cmでは不耕起区と耕起区で変わらなかった。不耕起区では、深さ50cm以深ではB層になっており、土壤硬度が24~25mmに達していたが、デントコーンの根伸長はB層においても認められた(写真4.5)。このことから不耕起区では耕起区と比べ、5~30cmでは根量が減少するものの、深い位置へも耕起区と同様に根が伸長していたことが分かる。不耕起土壌では耕耘しないため、前作の植物根の跡やミミズなどの小動物による粗孔隙が耕起土壌に比べ増加し、下層へ連続した粗孔隙を利用して根伸長したもの(中元, 1998)と考えられる。辻ら(1997)は、淡色黒ボク土でトウモロコシを栽培した場合、不耕起ではロータリー耕に比べて表層10cmに分布する根の割合が高く、10~20cmでは低かったが、30~40cmではほとんど差がないことを報告している。これは、本研究の結果と一致しており、デントコーンの不耕起栽培では表層で根が増加し、表層以深の作土層では耕起栽培より少なくなるものの、より深いところの根量は変わらないといえる。また、不耕起土壌では表



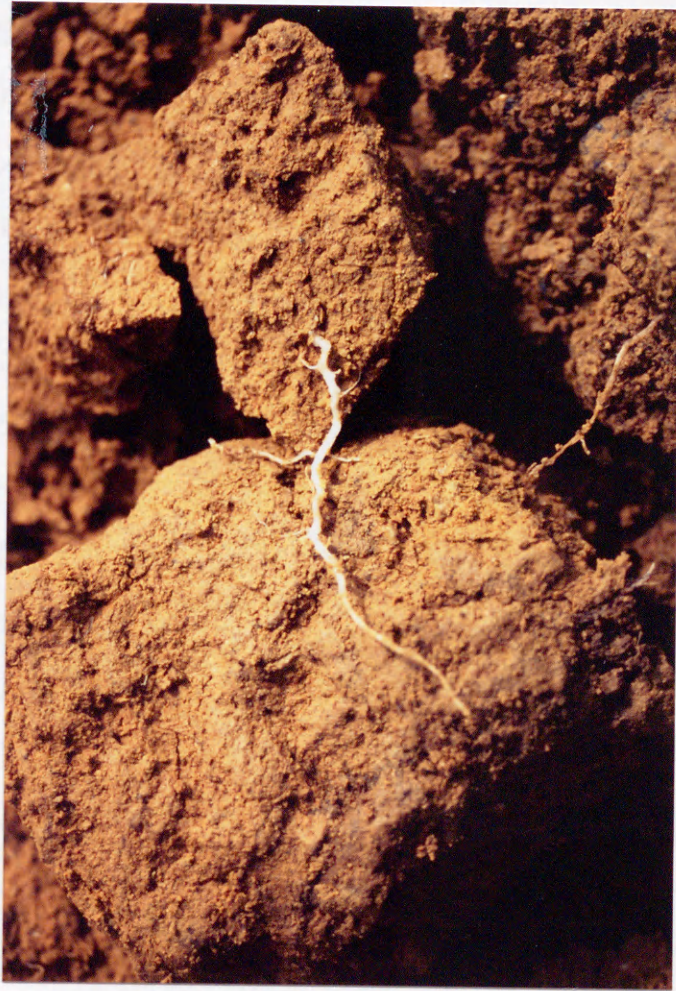


写真4.5 不耕起区下層でのデントコーンの根の存在



層から下層へかけて連続して土壌硬度が高く、硬度の変化は少ない。このため、耕起土壌に比べデントコーンの根がある程度高い土壌硬度に適応することにより、下層へ根が伸長することも考えられる。

## 2) デントコーンの出液速度

出液速度により、能動的吸水量の推定が可能である（石原&平沢，1985）。また出液速度は土壌水分と関係があり（福井ら，1963），根量と相関があること（山口ら，1995）が知られている。

そこで土壌水分張力の違いがデントコーンの出液速度にどのように影響するかを検討するため、図4.14にデントコーンの出液速度を示した。不耕起区で耕起区より土壌水分張力の値が低い時（A），出液速度は不耕起区で増加した。不耕起土壌での有効水分が多いために作物による養水分の吸収が増加し、出液速度が増加したものと考えられる。降雨後の土壌水分張力が変わらない場合（B）は、不耕起区と耕起区で出液速度に差はなく、根量には差がないと思われる。本実験はデントコーンの生育初期に行っており、まだ十分には下層へ根が伸長していない。そのため、生育中後期の根系が下層まで発達し、下層の土壌水分を吸収できる場合には、表層の土壌水分張力の違いによる水分吸収速度の差は小さくなることが予想される。とはいえ、少なくともデントコーンの生育初期においては、不耕起土壌と耕起土壌で土壌水分張力に差が現れた場合、不耕起区のデントコーンは養水分の吸収に有利であることは明らかである。

以上より、不耕起土壌では土壌水分の保持量が多く、特に降雨がない日が続いた場合、耕起土壌に比べ作物への水分供給に有利であることが明らかとなった。湿潤気候下でかつ要水量の少ないデントコーンの栽培においては、乾燥および半乾燥気候での栽培に比べ、土壌水分が多いこ



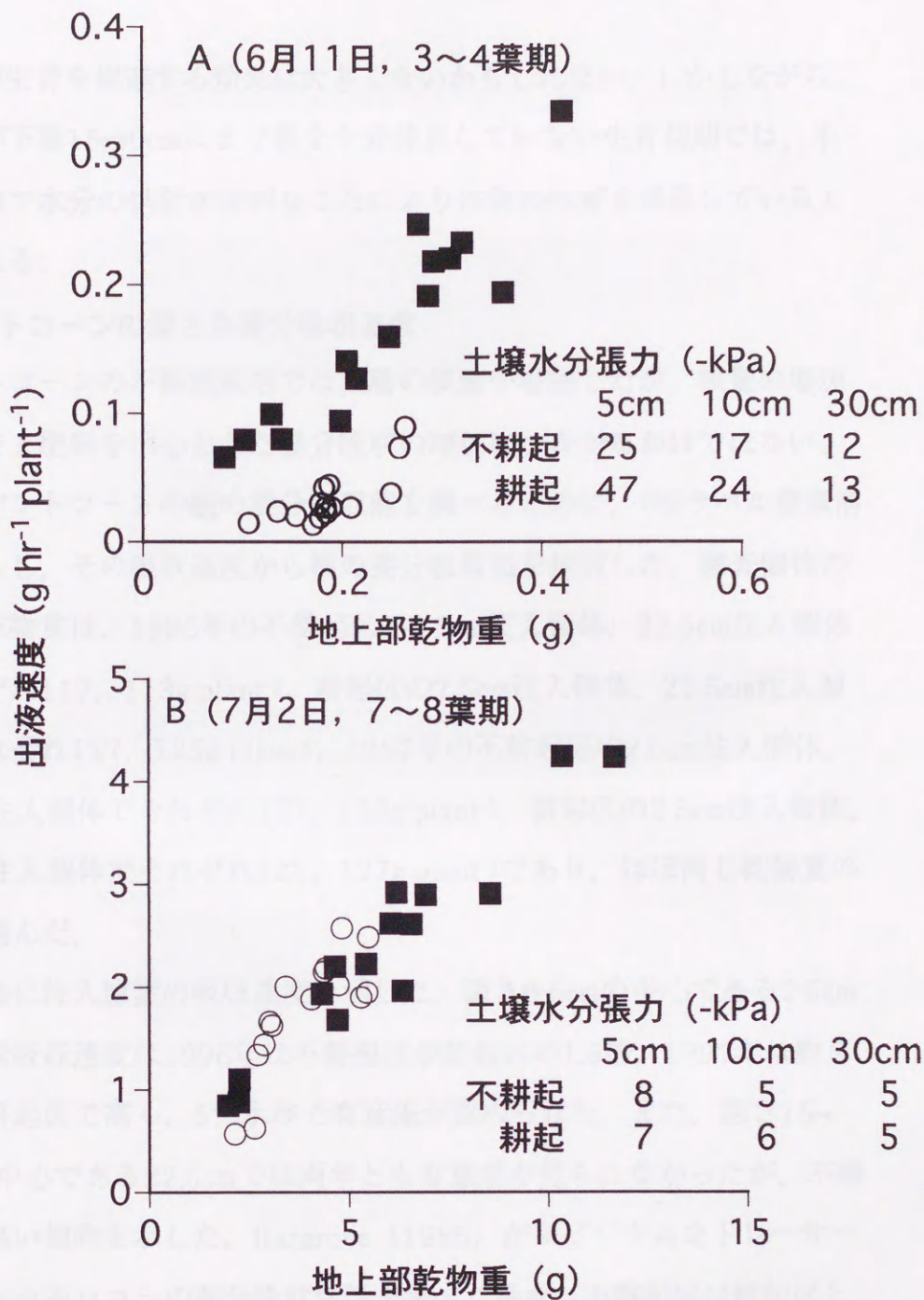


図4.14 デントコーンの出液速度の比較 (1999年)

■, 不耕起 ; ○, 耕起.



とが作物生育を促進する効果は大きくないかもしれない。しかしながら、作物根が下層15~30cmにまで根を十分伸長していない生育初期では、不耕起土壌で水分の供給が有利なことにより作物の生育を促進していると考えられる。

### 3) デントコーンの深さ別養分吸収速度

デントコーンの不耕起栽培では表層の根量が増加したが、根量の増加がそのまま肥料を中心とした養分吸収の増加につながるわけではない。そこでデントコーンの根の養分吸収能を調べるために、 $^{15}\text{N}$ ラベル窒素溶液を注入し、その吸収速度から根の養分吸収能を検討した。調査個体の平均の乾物重は、1996年の不耕起区の2.5cm注入個体、22.5cm注入個体でそれぞれ117, 113g plant<sup>-1</sup>、耕起区の2.5cm注入個体、22.5cm注入個体でそれぞれ117, 125g plant<sup>-1</sup>、1997年の不耕起区の2.5cm注入個体、22.5cm注入個体でそれぞれ127, 122g plant<sup>-1</sup>、耕起区の2.5cm注入個体、22.5cm注入個体でそれぞれ127, 127g plant<sup>-1</sup>であり、ほぼ同じ乾物重の個体を選んだ。

図4.15に注入窒素の吸収速度を示した。深さ0~5cmの中心である2.5cmでの窒素吸収速度は1996年は不耕起区が耕起区の1.5倍、1997年は約2倍と不耕起区で高く、5%水準で有意差が認められた。また、深さ15~30cmの中心である22.5cmでは両年とも有意差が見られなかったが、不耕起区で高い傾向を示した。Hargrove (1985) がルビジウムをトレーサーとしてトウモロコシの養分吸収活性を調べた場合、不耕起区は耕起区と比べ、表層での吸収量が増加し深さ60cmにおいてもルビジウムの吸収量は劣らなかったことを報告している。不耕起区では耕起区と比較し、下層では少なくとも養分吸収能が劣らないことが考えられる。この結果より、不耕起区では表層の養分吸収能が高く、肥料および土壌養分の吸収



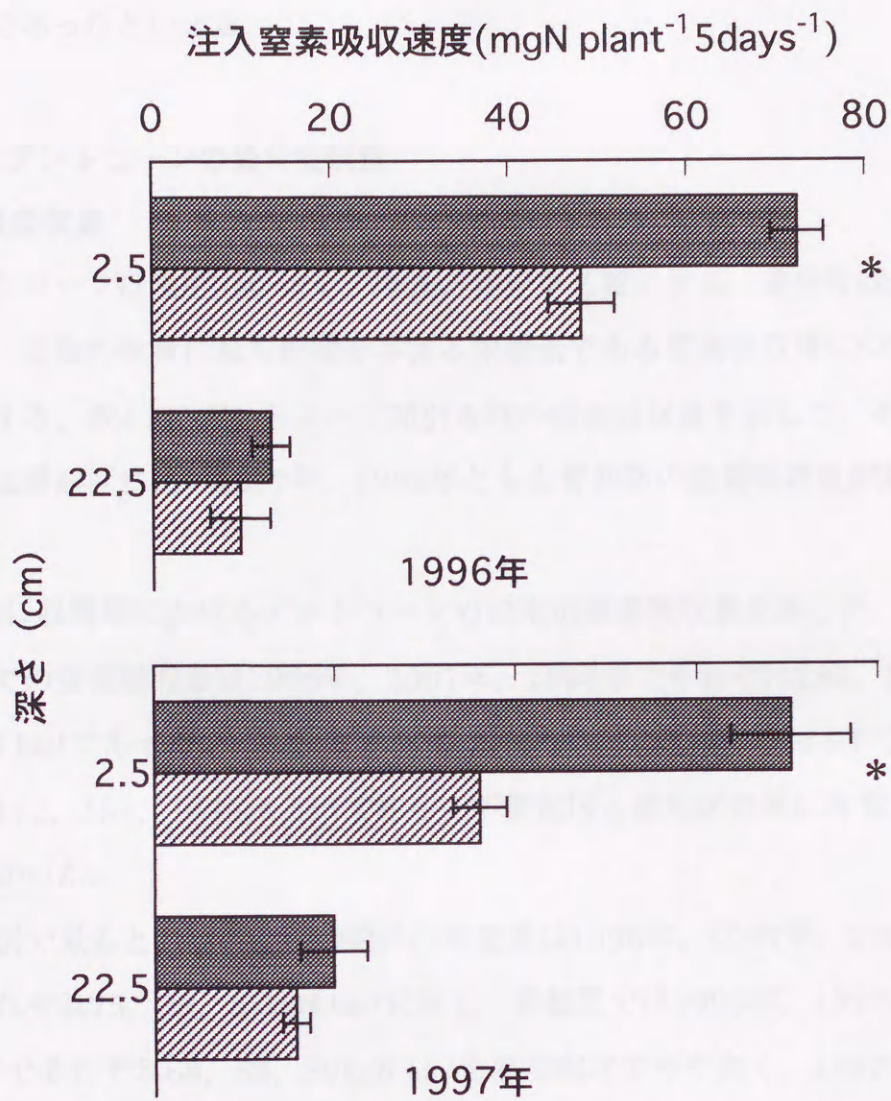


図4.15 出穂期における注入窒素の吸収速度

■ 不耕起 □ 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す.

\*は耕起法の間で5%水準で有意差があることを示す.



に有利であったといえる。

#### 4.3.4 デントコーンの養分吸収量

##### 1) 窒素吸収量

デントコーンは吸肥力が強く、多量の養分を必要とする。養分吸収量のうち、作物の生育に最も影響を与える栄養素である窒素吸収量について説明する。表4.3にデントコーン間引き時の窒素吸収量を示した。不耕起区では耕起区に比べ1997年、1998年とも生育初期の窒素吸収量が高かった。

表4.4に収穫期におけるデントコーンの由来別窒素吸収量を示した。不耕起区での窒素吸収量は1996年、1997年、1998年でそれぞれ180、168、146kgN ha<sup>-1</sup>であった。一方、耕起区では1996年、1997年、1998年でそれぞれ173、157、148kgN ha<sup>-1</sup>であり、不耕起区と耕起区の間には有意な差はなかった。

由来別で見ると、不耕起区の肥料由来窒素は1996年、1997年、1998年でそれぞれ75、89、87kgN ha<sup>-1</sup>に対し、耕起区では1996年、1997年、1998年でそれぞれ68、58、59kgN ha<sup>-1</sup>と不耕起区でやや高く、1997年には有意差が見られた。土壌由来窒素は不耕起区では1996年、1997年、1998年でそれぞれ105、79、59kgN ha<sup>-1</sup>に対し、耕起区では1996年、1997年、1998年でそれぞれ105、99、89kgN ha<sup>-1</sup>と有意差はないものの不耕起区でやや低かった。

不耕起栽培では耕耘しないために攪乱効果による土壌有機態窒素の無機化促進が起こらないこと (Franzluebbers et al., 1995) が報告されている。Utomo et al. (1990) は、土壌の全窒素は耕起土壌に比べ不耕起土壌で多いが、耕起土壌では耕耘による窒素の急激な無機化が起こり、



表4.3 デントコーン間引き時の乾物重と養分吸収量

	乾物重 (mg plant <sup>-1</sup> )	窒素吸収量 (mgN plant <sup>-1</sup> )	リン酸吸収量 (mgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> plant <sup>-1</sup> )	カリウム吸収量 (mgK <sub>2</sub> O plant <sup>-1</sup> )
1997年 不耕起	254	10	2.6	—
耕起	181	6.7	1.5	—
1998年 不耕起	119	6.3	1.9	5.3
耕起	93	5	1.3	4.4



表4.4 デントコーンの由来別窒素吸収量

	窒素吸収量 (kgN ha <sup>-1</sup> )		土壌由来窒素 (kgN ha <sup>-1</sup> )		肥料由来 (kgN ha <sup>-1</sup> )	
	不耕起	耕起	不耕起	耕起	不耕起	耕起
1996年	180 a	173 a	105 a	105 a	75 a	68 a
1997年	168 a	157 a	79 a	99 a	89 a	58 b
1998年	146 a	148 a	59 a	89 a	87 a	59 a

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。



耕起後6週間での土壌の無機態窒素量が、不耕起土壌よりも多いことを報告している。そのため、不耕起区では耕起区よりも土壌由来窒素吸収量が低い傾向にあったものと考えられる。また、不耕起土壌では耕起土壌に比べ、脱窒による窒素ロスが大きいことが報告されている (Doran, 1980; Rice & Smith, 1982)。Rice & Smith (1984) は、硫安の固定を3土壌 (Typic Paleudalf, Typic Fragiudult, Aeric Ochraqult) で測定した結果、ともに不耕起土壌で多く有機化したことを報告している。Kitur et al. (1984) も不耕起土壌の表面で有機化が増加することを報告している。McMahon & Thomas (1976) はTypic Hapludalf, Typic Paleudalfで不耕起で耕起に比べ溶脱が大きいことを報告している。このように、不耕起土壌では土壌の窒素無機化が少ないことと肥料窒素のロスが大きいことが考えられる。しかしながら、本試験では不耕起区で耕起区より肥料由来窒素吸収量が多い傾向にあった。本試験では、肥効調節型肥料の接触施肥を行っているために、肥料窒素の有機化、溶脱、脱窒などは起こりにくく、窒素肥料のロスを最小限にしたことが考えられる。さらに、不耕起区のデントコーンの表層での養分吸収能が高いことにより、表層に施肥された肥料吸収に有利であったため、肥料由来の窒素吸収量が増加したと考えられる。

## 2) リン酸およびカリウム吸収量

表4.3に間引き時のリン酸およびカリウム吸収量を、図4.16に間引き時におけるデントコーンのリン酸濃度を示した。1997年および1998年とも不耕起区では耕起区に比べリン酸濃度が高く、リン酸吸収量も増加した。初期のリン酸濃度は、子実収量に影響を与える (Barry & Miller, 1989; 菅野ら, 1996)。そのため、不耕起区で初期のリン酸濃度が高いことが、収量の結果の一因となったことが考えられる。不耕起区で初



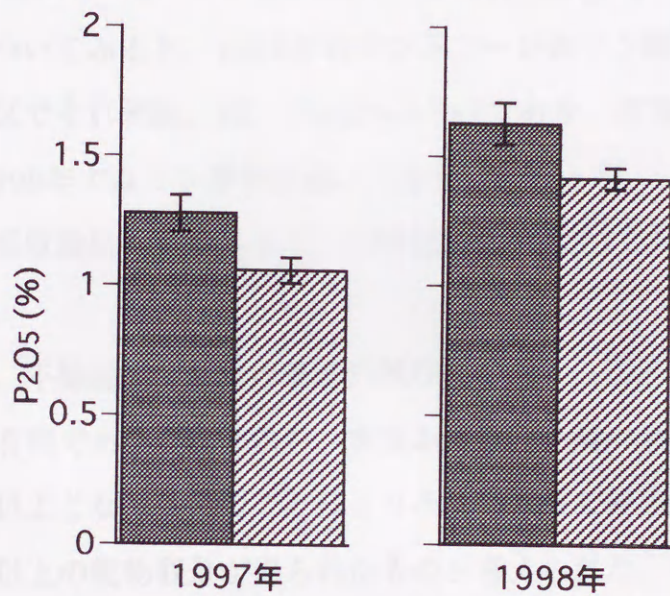


図4.16 間引き時におけるデントコーンのリン酸濃度

■ 不耕起    ▨ 耕起    図中の垂線は標準誤差を示す.



期にリン酸吸収量およびリン酸濃度が高かった理由としては、不耕起区で表層の土壌水分が多くリン酸吸収に有利であったこと、碎土された土壌により接触面積が増加した耕起区に対し不耕起区では相対的に黒ボク土壌によるリン固定を受けにくかったことにより肥料のリン酸を吸収するのに有利であったことなどが考えられる。

表4.5に収穫期におけるリン酸およびカリウムの吸収量を示した。リン酸吸収量についてみると、1996年のデントコーンのリン酸吸収量は不耕起区と耕起区でそれぞれ、82, 70kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>であり、有意差が見られた。1997年と1998年ではリン酸吸収量に有意差はなかった。

カリウム吸収量についてみると、不耕起区と耕起区に3年とも有意差はなかった。

以上より、不耕起区で表層の養水分吸収能が高く、肥料および土壌養分の吸収に有利であったことから、窒素およびリン酸の吸収量が耕起区に比べ同等以上となり、そのことにより不耕起栽培で耕起栽培と同等もしくはそれ以上の乾物収量が得られたものと考えられた。

#### 4.3.5 不耕起栽培でのデントコーンの収量性に対する総合解析

不耕起栽培で収量をもとめる上で有利な点としては、次のことが挙げられる。

##### ○初期生育が良い

黒ボク土の不耕起栽培において、作物の初期生育が良いことが報告されている（辻ら、1995）。しかし理由については分かっていない。本実験では、不耕起区の表層で土壌水分の供給に優れ、デントコーンの根が耕起土壌に比べ表層で増加することが明らかとなった。この結果、不耕起区で施肥リン酸の吸収に有利となり、リン酸吸収量が高まったことが



表4.5 デントコーンのリン酸およびカリウム吸収量

	リン酸吸収量(kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )		カリウム吸収量(kgK <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> )	
	不耕起	耕起	不耕起	耕起
1996年	82 a	70 b	208 a	217 a
1997年	78 a	76 a	189 a	196 a
1998年	68 a	65 a	178 a	186 a

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。



デントコーンの初期生育が良い原因と考えられる。

○表層で土壤水分が多い

本試験は、土壤の圧縮を受けにくい黒ボク土で行ったため、不耕起栽培において、土壤の物理性が作物収量の制限要因とはならず、土壤水分が多いことにより耕起栽培よりも作物生産に有利であったことが推定された。

○表層で根が多く、養水分吸収能が高い

不耕起栽培では耕起栽培に比べ、作物の根が表層で多くなり、出液速度、注入窒素吸収速度の結果から養水分吸収能に優れていたことが明らかとなった。そのため、表層の養分、特に肥料の吸収に有利となり、施肥窒素利用率の増加につながったものと推定できた。

不耕起区で不利な点としては、土壤由来窒素吸収量が少ないことが挙げられる。これは不耕起土壤の窒素無機化量が少ないことに起因すると考えられる。しかしながら、土壤窒素の無機化量の差は、肥料窒素の吸収量が高いことによりカバーできる。

本試験では、作物残渣を圃場に残さないために、不耕起土壤で表層に養分が集積する (Ral, 1976; Hargrove et al., 1982; Dick, 1983; Hargrove, 1985; Ismail et al., 1994) という多くの報告とは一致しなかった。表層への養分を集積が作物収量にどのように影響するかは不明であるが、本試験では耕起土壤に比べ不耕起土壤で表層への養分を集積がなく、土壤の化学性が不耕起栽培での高収量性に影響したとは考えられなかった。

よって、不耕起栽培では表層で根の分布が多く、土壤水分が表層で多いことから、窒素およびリン酸の吸収に有利で初期生育を促進し、表層での養水分吸収能が高いことから、肥料および表層の土壤養分の吸収に



有利で、作物生育後期の土壤窒素供給の少なさをカバーすることにより、不耕起栽培で耕起栽培と同等以上の収量が得られたと結論できる。

アントコーンの不耕起栽培における養分吸収の要因について、土壌の養分供給能と根系発達および根の養水分吸収能を比較することにより検討した。

1) 不耕起土壌では、耕起土壌に比べ、発根率が高く、土壌水分張力が低く推移した。その結果、発根が少ない日が短くと耕起土壌に比べ作物への水分の供給が優れているものと考えられた。発根率は不耕起土壌で低くなったが、根長率に大きな差はなかった。

2) 不耕起土壌における化学性 (pH、土壤窒素の無機化、可溶性リン酸および交換性陰基) について、耕起土壌と比較検討したが、栄養性を説明できる有意な差は認められなかった。

3) 不耕起区では耕起区に比べ、表層0~5cmの供量が増加したが、15~45~60cmでは供量に差が認められなかった。アントコーンの生育期における注水窒素の吸収量は、表層0~5cmでは不耕起区で耕起区よりも1.5~2.0倍高く、また下層15~30cmでは不耕起区と耕起区は同等であった。

4) 不耕起区では耕起区に比べ、アントコーンの土壌由来窒素吸収量が少ない傾向にあったが、肥料由来窒素吸収量が多く、収穫期における最終吸収量は同等もしくはそれ以上であった。

以上より、不耕起区では表層の供量が多く、根の養水分吸収能が高いことから、肥料および表層の土壌養分の吸収に有利であると考えられた。その結果、耕起栽培に比べ土壌からの窒素無機化量が少ないと考えられる不耕起栽培でも、施肥窒素利用率が向上することにより、アントコーンの窒素吸収量が耕起栽培と同等もしくはそれ以上になったものと考えられた。さらに不耕起栽培では、耕起栽培に比べ、土壌水分が作物生産に対して有利に働いたものと考えられた。よって、アントコーンの不耕



#### 4.4 まとめ

黒ボク土の不耕起土壌の養分供給能の特徴を耕起土壌と比較し、デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因について、土壌の養分供給能と根系発達および根の養水分吸収能を比較することにより検討した。

- 1) 不耕起土壌では、耕起土壌に比べ、液相率が高く、土壌水分張力が低く推移した。その結果、降雨がない日が続くと耕起土壌に比べ作物への水分の供給が優れているものと考えられた。気相率は不耕起土壌で低くなったが、固相率に大きな差はなかった。
- 2) 不耕起土壌における化学性（pH、土壌窒素の無機化、可給態リン酸および交換性塩基）について、耕起土壌と比較検討したが、高収量性を説明できる有意な差は認められなかった。
- 3) 不耕起区では耕起区に比べ、表層0~5cmの根量が増加したが、下層45~60cmでは根量に差が認められなかった。デントコーンの出穂期における注入窒素の吸収速度は、表層0~5cmでは不耕起区で耕起区よりも1.5~2.0倍高く、また下層15~30cmでは不耕起区と耕起区は同等であった。
- 4) 不耕起区では耕起区に比べ、デントコーンの土壌由来窒素吸収量が少ない傾向にあったが、肥料由来窒素吸収量が多く、収穫期における窒素吸収量は同等もしくはそれ以上であった。

以上より、不耕起区では表層の根量が多く、根の養水分吸収能が高いことから、肥料および表層の土壌養分の吸収に有利であると考えられた。その結果、耕起栽培に比べ土壌からの窒素無機化量が少ないと考えられる不耕起栽培でも、施肥窒素利用率が向上することにより、デントコーンの窒素吸収量が耕起栽培と同等もしくはそれ以上になったものと考えられた。さらに不耕起栽培では、耕起栽培に比べ、土壌水分が乾物生産に対して有利に働いたものと考えられた。よって、デントコーンの不耕



起栽培では、初期から養水分の吸収が有利であり、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥・不耕起栽培において、デントコーンの乾物収量が耕起栽培と同等もしくはそれ以上になったものと結論された。

不耕起栽培の適用範囲は、原則として、降雨量が1000mm以上、不耕起栽培では播種前に耕起しないため、肥料が土壌表面に集まりやすくなることが出ないこと、その外、地味質等に耕起し、肥料を土壌中により養分濃度が増加し、養分濃度がより高くなる。また、播種期は高温、播種後の降雨量の減少を抑制するために耕起前の耕起が必要である。その結果、不耕起栽培に比べ、肥料の肥料効率が減少することになる。ドゥモロコシ栽培においては、肥料体系が重要であり、播種時の施肥と播種後の施肥性除草剤（アトランター・アトランター）の施用によって、ほぼ完全な除草効果が得られる。しかしながら、肥料効率が地域環境の汚染源とならないようとするためには、肥料の特性や施用方法の改善により肥料量を削減することが重要である。

近年我が国で開発された肥効調節型肥料は、播種と同時に肥料成分が放出するので、作物の生育に合わせて肥料成分を供給できる。また、種子と肥料を同時施用して、播種時を引越せしにくく、肥料をもつ。この肥料を高い種子と実用とで、不耕起に適用する場合は、作物による肥料の放出がなく、肥料成分の供給が抑制されることが知られている (Tajima & Ogawa, 1992; Tajima, 1994)。この肥料施用法で、作物への肥料成分を効果的に供給すれば、播種時の肥料成分の吸収が抑制となり、その生育を抑制できると考えられる。Tajima (1995) は、いよりの中で、播種時の肥料の放出による不耕起での全量基肥に比べ、作物収量が増加し、播種の生育が抑制されることを報告している。



## 第5章 全量基肥・接触施肥法を活用した雑草防除法の改善

### 5.1 はじめに

不耕起栽培の栽培管理上問題の一つに雑草防除がある。不耕起栽培では播種前に耕耘しないため、雑草および雑草種子を土中に埋め込むことが出来ない。そのため地表面に増加した雑草種子の出芽により雑草量が増加し、雑草防除がより困難となる。また、播種精度を高め、出芽後の雑草との競合を抑えるためには播種前の雑草防除が必要である。その結果、耕起栽培に比べ除草剤の使用量が増加することになる。トウモロコシ栽培においては除草体系が確立しており、播種前の耕耘と播種後の選択性除草剤（アトラジン+アラクロールなど）の散布によって、ほぼ完全な雑草防除が可能である。しかしながら、農耕地が地域環境の汚染源とならないようにするためには、除草剤の特性や施用方法の改善により施用量を削減することが重要である。

近年我が国で開発された肥効調節型肥料は、温度に依存して肥料成分が溶出するので、作物の生育に合わせて肥料成分を供給できる。また、種子と肥料を接触施用しても濃度障害を引き起こしにくい特長をもつ。この肥料を用い種子と接触させ、バンド状に施肥する接触施肥では、作物による肥料利用率が高く、肥料成分の溶脱が抑制されることが知られている（Shoji & Gandeza, 1992; Shoji & Kanno, 1994）。この接触施肥法で、作物へ肥料成分を効率的に供給すれば、畦間の雑草は肥料養分の吸収が困難となり、その生育を抑制できると考えられる。Tomaso（1995）はレビューの中で、雑草根の到達が少ない深層バンド施肥では全層施肥に比べ、作物収量が増加し雑草の生育が抑制されることを報告している。







## 5.2 材料および方法

### 5.2.1 除草剤処理回数の比較

#### 1) 栽培条件

栽培試験は東北大学農学部附属農場において1996年から1998年に行った。供試土壌は農耕地土壌分類第3次改訂版（農耕地土壌分類委員会，1995）では普通非アロフェン質黒ボク土に分類される。試験圃場は前作としてデントコーンの耕起栽培を2年間行っており，1996年栽培前の時点では雑草の種類および量に大きな変異がなかった。供試作物はデントコーン（*Zea mays* L.var. *Indentata* Sturt.），品種はパイオニア3352（RM118）を用いた。

圃場試験は一区画3.6m×2.88mで1996年は2反復，1997年と1998年は3反復の乱塊法により行った。なお，1997年および1998年は前年と同じ除草剤処理を継続して試験区を配置した。

#### ○耕起処理

不耕起区および耕起区を設けた。不耕起区は耕耘・整地作業は行っていない。耕起区は，栽培前にロータリー（ニプロLX2202-4L）により耕耘（耕作深度10～15cm）を行った。なお中耕および栽培後の耕耘作業は行っていない。

#### ○除草剤処理

除草剤処理として，播種前にグリフォサート（0.5ml m<sup>-2</sup>）を全面散布し，播種後にアトラジン（0.15g m<sup>-2</sup>）とアラクロール（0.5ml m<sup>-2</sup>）を混合して全面散布した慣行的な除草体系である2回散布区の外に，播種前のみグリフォサートを散布した播種前散布区，および全く除草剤を処理していない無散布区を設けた。播種前の除草剤散布は1996年は5月4日に，1997年は4月27日に，1998年は4月30日に行った。播種後の除草剤散布



は1996年は6月5日に、1997年は5月29日に、1998年は5月28日に行った。方法は共に背負い式の動力噴霧器で行った。

#### ○施肥処理

施肥処理は全量基肥で行い、速効性肥料である燐硝安加里の表面施肥区と、肥効調節型肥料の被覆燐硝安加里を用いた施肥幅5cmの接触施肥区を設定した。耕起区の表面施肥区は、施肥後に歩行用の耕耘機により土壌と肥料を混合し、全層施肥区とした。なお、被覆燐硝安加里は40日タイプと70日タイプを1:2になるように混合して用いた。これは、主に生育初期は40日タイプで、中後期は70日タイプで肥料成分を供給することを狙いとしたためである。なお40日タイプとは25℃水中で肥料成分を80%溶出するのに40日間必要とするものである(藤田, 1995)。施肥量はha当たり成分でN 150kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150kg, K<sub>2</sub>O 150kgとした。

#### ○播種方法

播種は1996年は5月16日に、1997年は5月19日に、1998年は5月19日に行った。不耕起区の施肥および播種の手順としては、自作の作溝機を連結した歩行用の耕耘機により5cm幅で深さ3cmの溝を作り、接触施肥区では溝に施肥し肥料の上に直接播種し、覆土、鎮圧を行い、表面施肥区では溝に播種し、覆土、鎮圧を行い、その後表面に均一に施肥した。耕起区では、ホー(hoe)により5cm幅で深さ3cmの溝を作り、接触施肥区では不耕起区と同様に、全層施肥区では施肥後土壌を混合し、その後溝を切り、播種し覆土および鎮圧を行った。栽植密度は72cm×18cmとした。播種は3粒播きとし間引きすることにより1本立てとした。間引きは1996年は6月14日に1997年は6月18日に、1998年は6月8日に行った。

#### ○収穫

収穫はサイレージ用トウモロコシの収穫適期である黄熟期に行った。



1996年は9月25日に、1997年は9月25日に、1998年は9月18日に行った。1996年の不耕起・除草剤無散布・表面施肥区および1997年の不耕起区はクマあるいは他の動物による食害を受け収穫皆無であった。そのためデータはない。

## 2) 調査法および分析法

### ○デントコーンと雑草の被度

播種後61日の1997年7月19日に、デントコーンと各雑草種の被度を調べた。ここでの被度とは一区画2.88m×3.6mの面積に対するデントコーン、各雑草および裸地それぞれの地表を覆う割合を10%ごと（0%と10%の間には5%を含む）に目視で判断したものである。

### ○収量調査および雑草のサンプリング方法

収量は一区画10個体の地上部を刈り取り、生重量を計り、平均的な2個体を選び70℃で通風乾燥して乾物率を求め、生重量に乗ずることにより乾物収量を求めた。デントコーン収穫後、株を中心とした幅20cmを畦、残り52cmを畦間として1m幅で雑草の地上部を採取した。畦を20cm幅としたのは、デントコーンの根が株を中心とした20cmに多く、その位置でのデントコーンと雑草との養分競合が最も強く起こると考えたためである。採取した雑草は70℃で通風乾燥したのち乾物重を求めた。

### ○養分分析

70℃で通風乾燥しデントコーンと雑草は、秤量後粉碎して、硫酸-過酸化水素分解法（水野ら、1980）により湿式灰化した。その後、窒素は水蒸気蒸留法、リン酸はモリブデン青法、カリウムは原子吸光光度法により分析した。



## 5.2.2 除草剤畦散布の効果

### 1) 栽培条件

栽培試験は東北大学農学部附属農場において1998年と1999年に行った。供試土壌は農耕地土壌分類第3次改訂版（農耕地土壌分類委員会，1995）では普通非アロフェン質黒ボク土に分類される。試験圃場は実験前は休閑地で，1998年栽培前の時点では雑草の種類および量に大きな変異がなかった。供試作物はデントコーン（*Zea mays* L.var. *Indentata* Sturt.），品種は1998年はパイオニア3352（RM118）1999年はパイオニア33G26（RM118）を用いた。栽培法は不耕起栽培である。

圃場試験は一区画2.88m×2.7mで3反復の乱塊法により行った。なお，2年目である1999年は前年と同じ処理を継続して試験区を配置した。

分散分析で有意差があり，除草剤処理間と施肥処理間で交互作用がないものについてはチューキー法により処理内の検定を行った。なお除草剤処理と施肥処理の交互作用がみられたものは，処理区ごとにチューキー法により検定を行った。

### ○除草剤処理

除草剤処理として，播種前にグリフォサート（0.5ml m<sup>-2</sup>）を全面散布し，播種後にアトラジン（0.15g m<sup>-2</sup>）とアラクロール（0.5ml m<sup>-2</sup>）を混合して散布した全面散布区の他に，畦散布区，無散布区を設けた。除草剤の全面散布区は慣行的な除草体系と同じである。畦散布区の散布幅は20cmとし，その施用量は全面散布区の28%になる。播種前の除草剤散布は1998年は4月30日に，1999年は5月6日に行った。播種後の除草剤散布は1998年は5月28日に，1999年は5月26日に背負い式の動力噴霧器で行った。除草剤畦散布区では，小型噴霧器により一定量を畦に均一に散布した。



### ○施肥処理

施肥処理は5.2.1の不耕起区と同じで、速効性肥料である燐硝安加里の表面施肥区と、肥効調節型肥料である被覆燐硝安加里の接触施肥区を設定した。

### ○播種

播種は1998年は5月19日に、1999年は5月17日に行った。方法は前述の不耕起区と同じである。

### ○収穫

収穫は1998年は9月18日に、1999年は9月13日に行った。

## 2) 調査法および分析法

### ○収量調査および雑草のサンプリング方法

5.2.1に準ずる。

### ○養分分析

5.2.1に準ずる。



## 5.3 結果および考察

### 5.3.1 除草剤処理回数の比較

#### 1) デントコーンの生育経過

不耕起区におけるデントコーンの草丈の推移を図5.1に示した。除草剤処理で比較すると、1996年、1997年および1998年とも不耕起・除草剤2回処理区では順調に草丈が推移したのに対し、不耕起・除草剤無散布区では草丈が低く推移し、1997年と1998年では不耕起・播種前散布区でやや低く推移した。耕起区におけるデントコーンの草丈の推移を図5.2に示した。耕起区では1996年は除草剤処理による草丈の差はほとんどなかったが、1997年では除草剤2回散布区に比べ、播種前散布区および無散布区で低く推移した。不耕起栽培では播種前に存在している雑草を防除しないと、出芽直後から雑草の影響を受けやすい。そのため不耕起・除草剤無散布区では草丈が低く推移したが、耕起栽培では耕耘により雑草が防除されるため、耕起・除草剤無散布区と耕起・播種前散布区で草丈にあまり差が見られなかったものと考えられる。

施肥処理で比較すると、不耕起区では接触施肥区で表面施肥区よりデントコーンの草丈が高く推移した。また耕起区では接触施肥区で全層施肥区より草丈が高く推移した。

耕起法で比較すると、1996年、1997年とも除草剤2回散布では草丈に大きな違いは見られないが、除草剤無散布区では不耕起区の方が耕起区より草丈が低く推移した。これは、前述のように、播種前から存在した雑草の影響を受けたためであろう。

#### 2) 雑草の種類および被度

雑草の地上部の形態には叢生型、ほふく型、直立型、ロゼット型など様々あり、また雑草種により、作物に対する光競合あるいは養水分競合



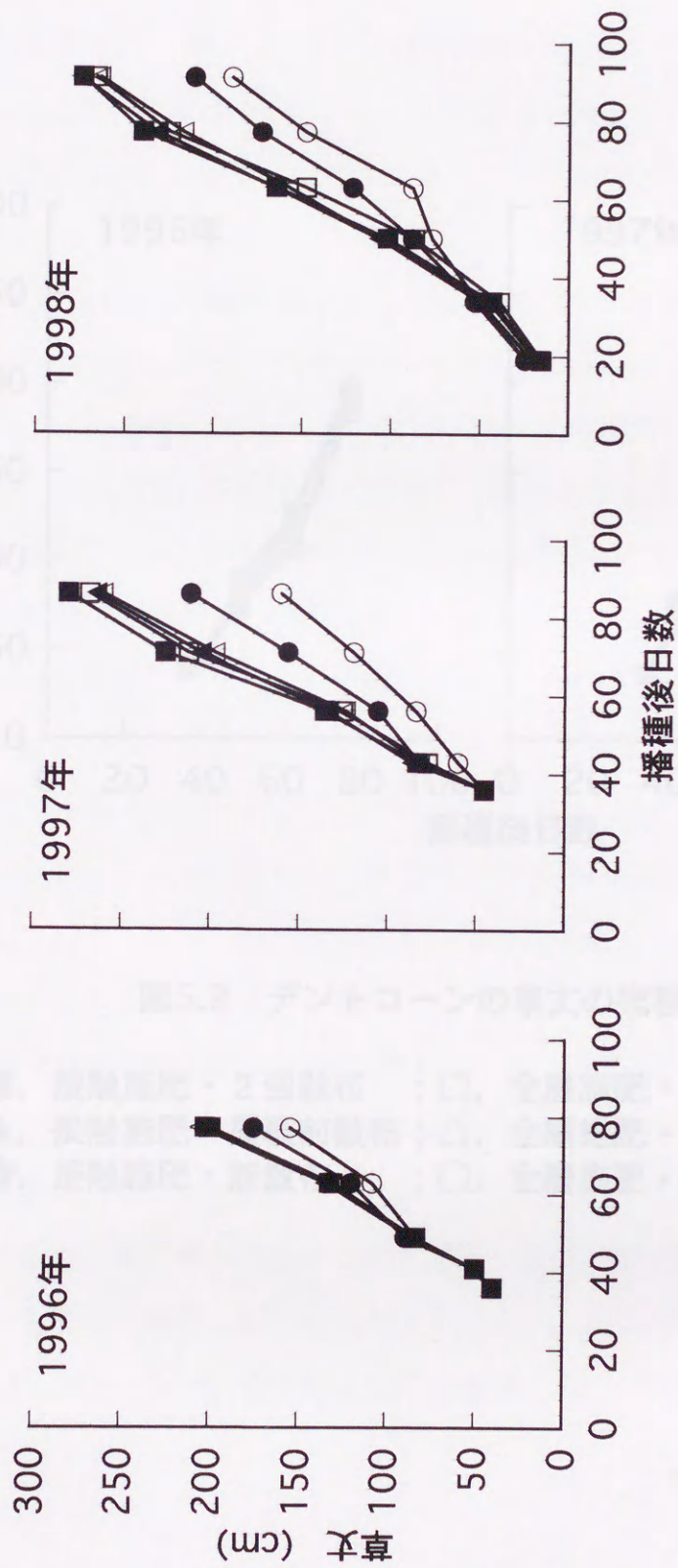


図5.1 デントコーンの草丈の推移 (不耕起)

■, 接触施肥・2回散布; □, 表面施肥・2回散布; ▲, 接触施肥・播種前散布;  
 △, 表面施肥・播種前散布; ●, 接触施肥・無散布; ○, 表面施肥・無散布.



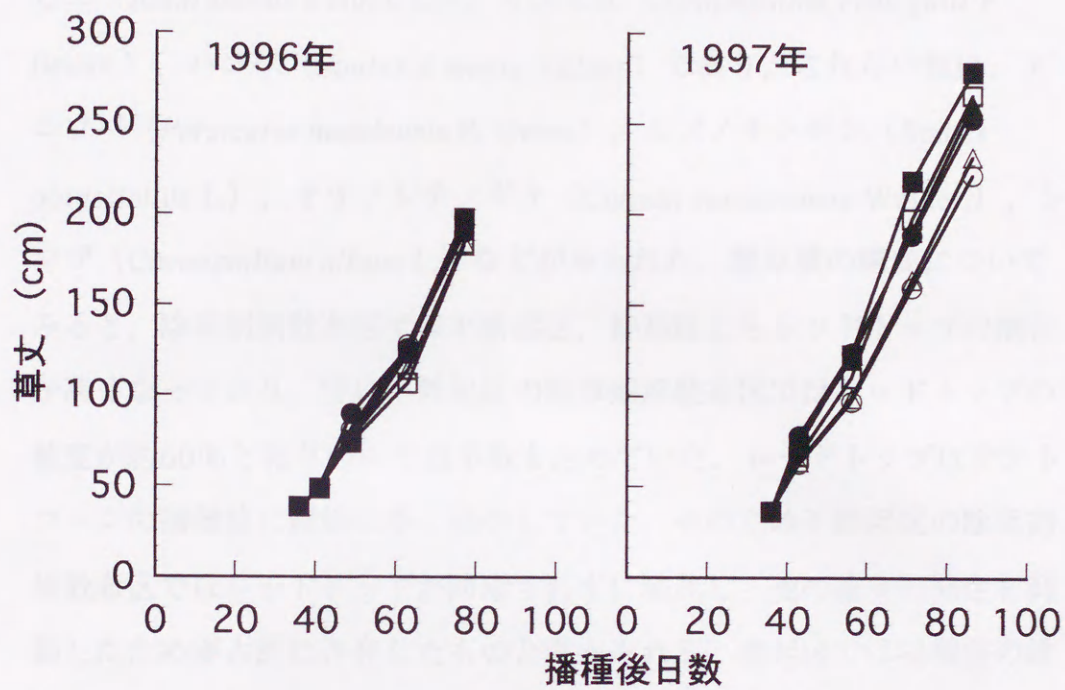


図5.2 デントコーンの草丈の推移（耕起）

- , 接触施肥・2回散布 ; □, 全層施肥・2回散布 ;
- ▲, 接触施肥・播種前散布 ; △, 全層施肥・播種前散布 ;
- , 接触施肥・無散布 ; ○, 全層施肥・無散布.



などの問題が異なる。そのため、雑草種に除草剤処理あるいは施肥処理の影響が見られるかどうかを1997年の播種後61日に調査した。図5.3にデントコーンの生育中期におけるデントコーンと雑草の被度を示した。

主な雑草種は、レッドトップ (*Agrostis alba* L.) , メヒシバ (*Digitaria ciliaris* Koeler) , ツユクサ (*Commelina communis* L.) , イヌビユ (*Amaranthus lividus* L.) , イヌビエ (*Echinochloa crus-galli* P. Beauv.) , ハコベ (*Stellaria media* Villars) であり、これらの他に、タニソバ (*Persicaria nepalensis* H. Gross) , エゾノギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.) , オオアレチノギク (*Conyza sumatrensis* Walker.) , シロザ (*Chenopodium album* L.) などがみられた。雑草種の構成についてみると、除草剤無散布区では不耕起区、耕起区ともレッドトップの割合が高くなっており、特に不耕起区の除草剤無散布区ではレッドトップの被度が約60%と雑草の中で過半数を占めていた。レッドトップはデントコーンの播種前に圃場に多く発生していた。そのため不耕起区の除草剤無散布区ではレッドトップが防除されずに繁茂し、他の雑草の発生を抑制したため優占的に存在したものと考えられる。耕起区では播種前の耕耘によりレッドトップが防除されるが、除草剤無散布区では植物体は完全に枯死していなかったため再生し、除草剤を散布した処理区よりも被度が増加したものと考えられる。

除草剤播種前散布区および2回散布区では雑草種に大きな違いはなかった。除草剤処理で雑草の被度の合計を比較すると、播種前散布区および無散布区ではあまり変わらないが、2回散布区では被度が低く裸地が見られた。またデントコーンの被度は、除草剤2回散布区、播種前散布区、無散布区の順に低くなる傾向が見られ、雑草の被度が増加するほど、デントコーンの生育が遅れることが分かる。



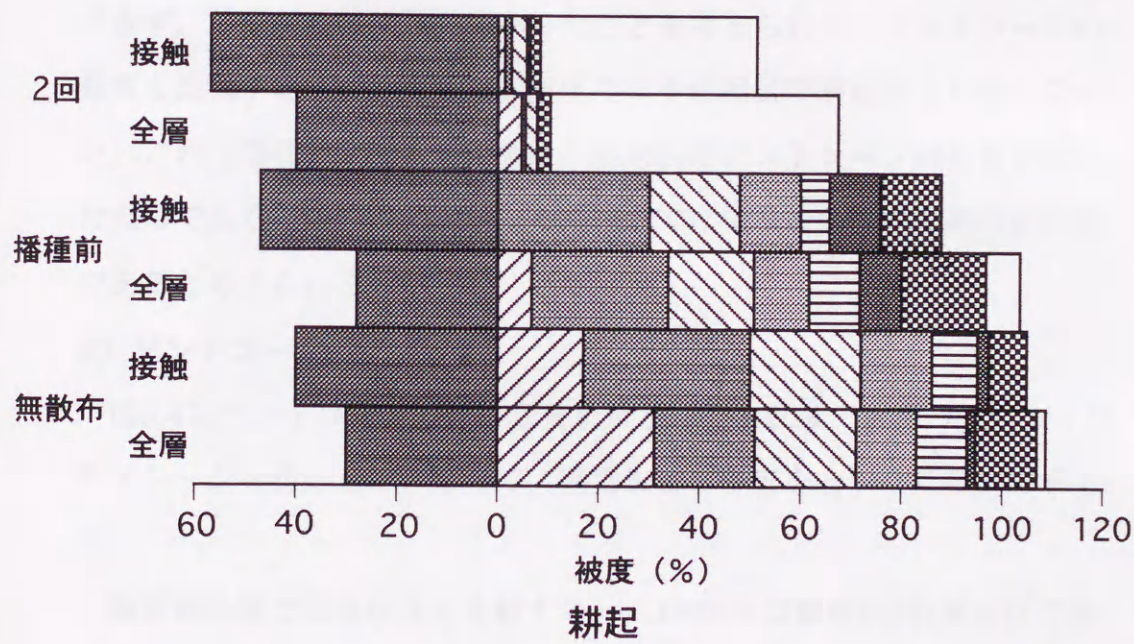
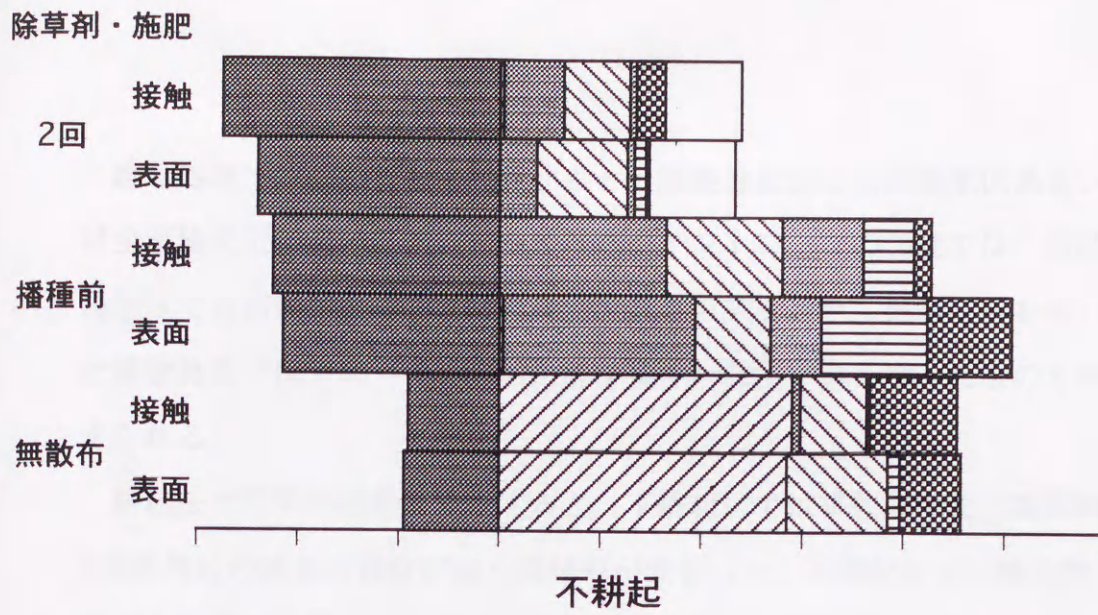
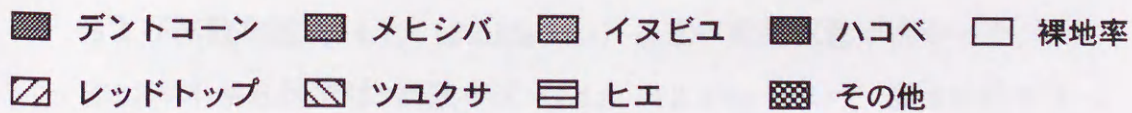


図5.3 生育中期におけるデントコーンと雑草の被度 (1997年)





施肥処理で雑草の被度を比較すると、接触施肥区と表面施肥区あるいは全層施肥区に違いは見られなかった。デントコーンの被度では、接触施肥区で表面施肥区あるいは全層施肥区より高かった。被覆肥料を用いた接触施肥ではデントコーンの生育が良く、被度が高くなったものと考えられる。

耕起法で雑草の被度を比較すると、不耕起区では耕起区に比べ除草剤2回散布区の雑草の被度が高く裸地率が低かった。不耕起区では雑草種子が土壌表面に多く、そのため雑草の発生量も多いと考えられるので、耕起区よりも被度が高くなったものと考えられる。あるいは不耕起区では耕起区より植物残渣が地表面に多いため、土壌に除草剤が均一に散布できず、除草剤の効果が低くなったことも考えられる。デントコーンの被度を比較すると、除草剤無散布区では不耕起区で耕起区より低くなった。これは播種前の雑草量が多い不耕起区でデントコーンの生育が劣ったためである。このことから、不耕起区では播種前の除草剤処理が必要であると考えられる。

### 3) デントコーンの乾物収量

図5.4にデントコーンの乾物収量を示した。本試験ではホールクロップサイレージを想定しているため、茎葉および子実を合わせた合計で示した。

除草剤処理で乾物収量を比較すると、1996年は除草剤2回散布区で播種前散布区あるいは無散布区より高い傾向が見られた。1997年耕起区の2回散布区 (17.5, 14.9Mg ha<sup>-1</sup>) では播種前散布区 (13.2, 12.2Mg ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (14.1, 12.5Mg ha<sup>-1</sup>) に比べ乾物収量が高かった。

1998年不耕起区では2回散布区 (14.8, 13.3Mg ha<sup>-1</sup>)、播種前散布区 (11.6, 9.3Mg ha<sup>-1</sup>)、無散布区 (7.1, 4.8Mg ha<sup>-1</sup>) の順に乾物収量が低



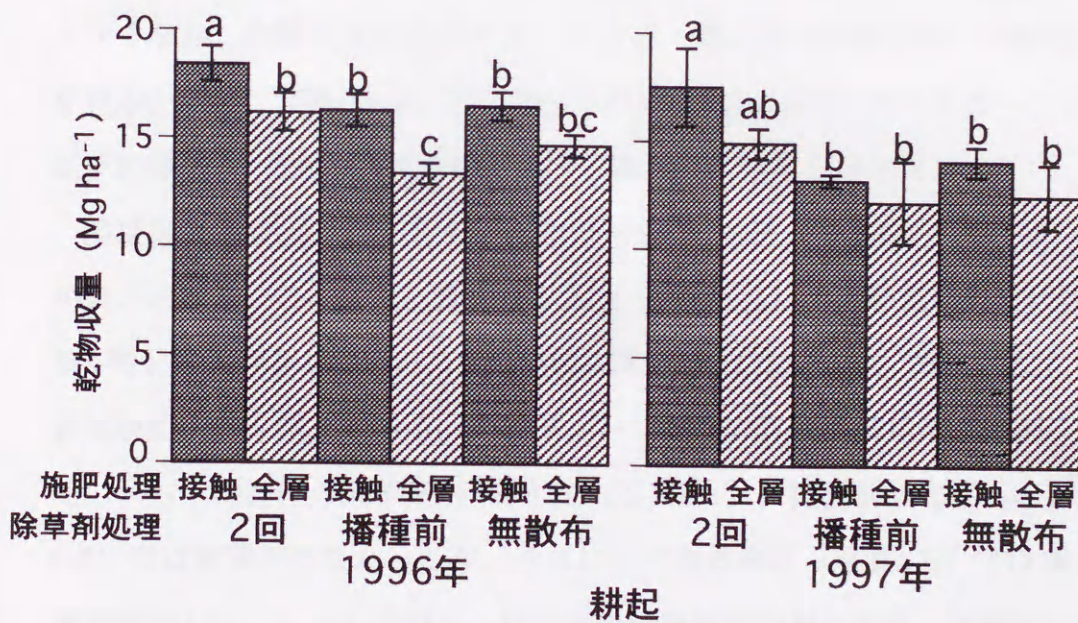
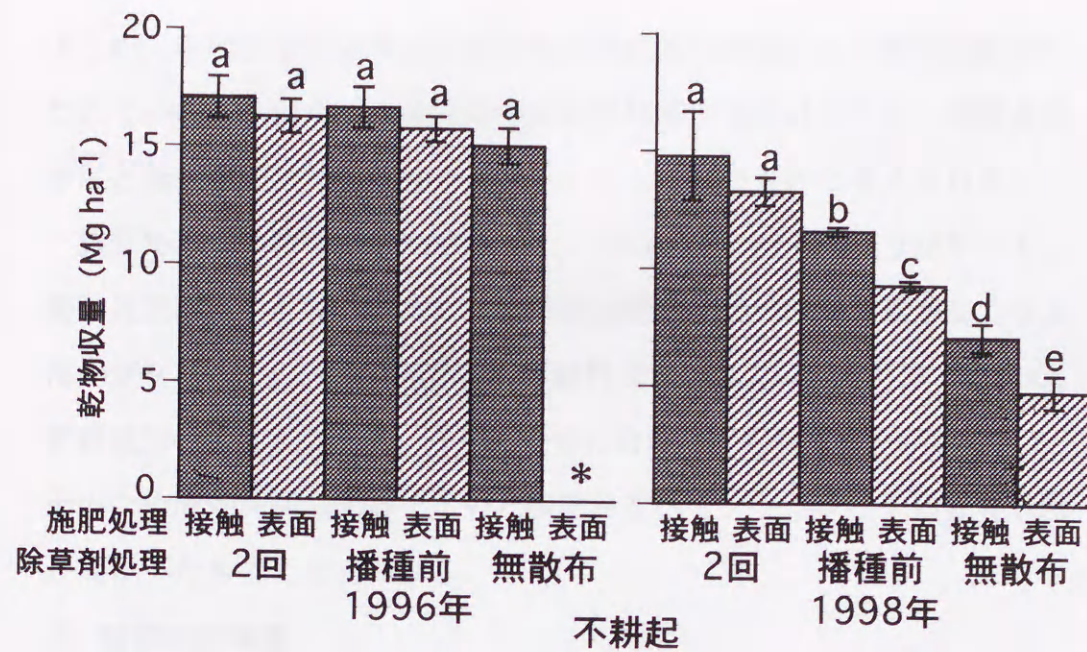


図5.4 デントコーンの乾物収量

\*動物の食害によりデータなし。図中の垂線は標準誤差を，異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。



下した。耕起区では播種前に除草剤処理以外に耕耘による雑草防除が行われている。そのため、播種前の除草剤処理の効果は少なく、播種前散布区と無散布区に乾物収量の差が見られなかったものと考えられる。

施肥処理で乾物収量を比較すると、1996年、1997年、1998年とも、接触施肥区は表面施肥区あるいは全層施肥区に比べ乾物収量が高くなる傾向がみられた。肥効調節型肥料は肥料成分が温度依存で溶出するため、肥料成分のロスが少なく、作物の生育に合わせて肥料成分を供給できる。そのため肥効調節型肥料を用いた接触施肥区でデントコーンの乾物収量が高かったものと考えられる。

#### 4) 雑草の乾物重

雑草量が増加すると、作物と雑草との光競合や養水分に対する競合が大きくなり、作物収量が減少する。そこで、雑草量の作物収量への影響を見るために、写真5.1～5.6に1996年の播種後46日でのデントコーンと雑草の様子を、図5.5に収穫期における雑草の乾物重を示した。

播種後46日における不耕起区の除草剤2回散布区（写真5.1）では雑草がほとんどないのに対し、播種前散布区（写真5.2）の接触施肥区では雑草が畦に多く存在していた。また無散布区（写真5.3）では、接触施肥区、表面施肥区とも雑草が多く、デントコーンが他の処理区に比べ小さかった。一方、耕起区の除草剤2回散布区（写真5.4）、播種前散布区（写真5.5）では雑草が少なかったが、それに比べ無散布区（写真5.6）では雑草が増加した。しかしながら、耕起区の除草剤無散布区では、不耕起区の無散布区に比べ雑草が少なく、耕起区の除草剤2回散布区、播種前散布区に比べデントコーンの生育は、播種後46日においてはあまり違いは見られなかった。

除草剤処理で雑草乾物重を比較すると、不耕起区では1996年、1998





写真5.1 1996年播種後46日での除草剤2回散布区（不耕起区）  
上が接触施肥区，下が表面施肥区。



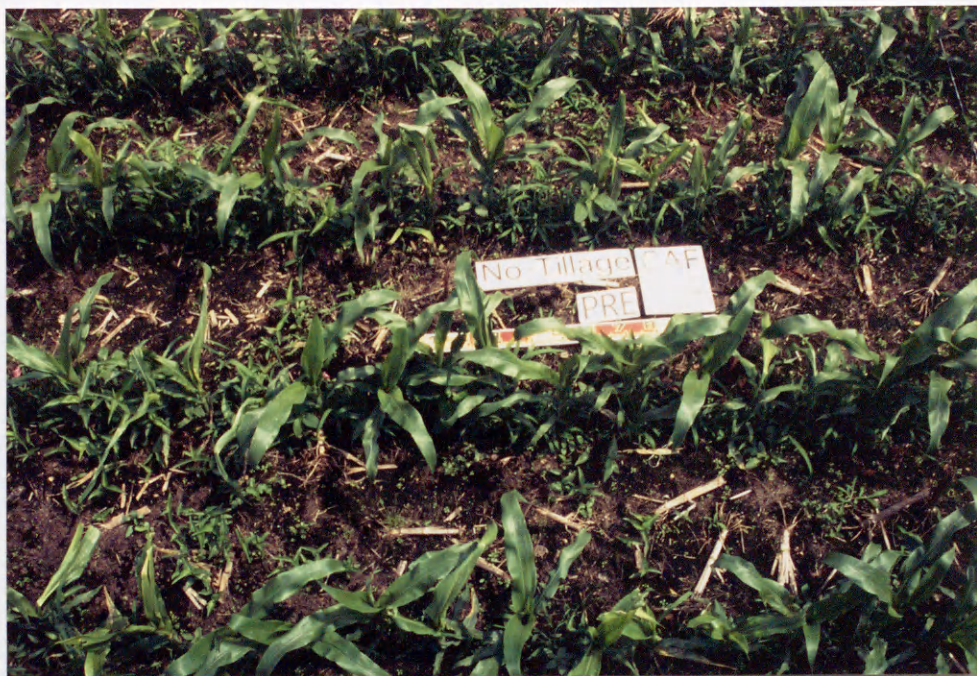


写真5.2 1996年播種後46日での除草剤播種前散布区(不耕起区)  
上が接触施肥区, 下が表面施肥区.





写真5.3 1996年播種後46日での除草剤無散布区（不耕起区）  
上が接触施肥区，下が表面施肥区。





写真5.4 1996年播種後46日での除草剤2回散布区（耕起区）  
上が接触施肥区，下が全層施肥区。





写真5.5 1996年播種後46日での除草剤播種前散布区（耕起区）  
上が接触施肥区，下が全層施肥区。





写真5.6 1996年播種後46日での除草剤無散布区（耕起区）  
上が接触施肥区，下が全層施肥区。



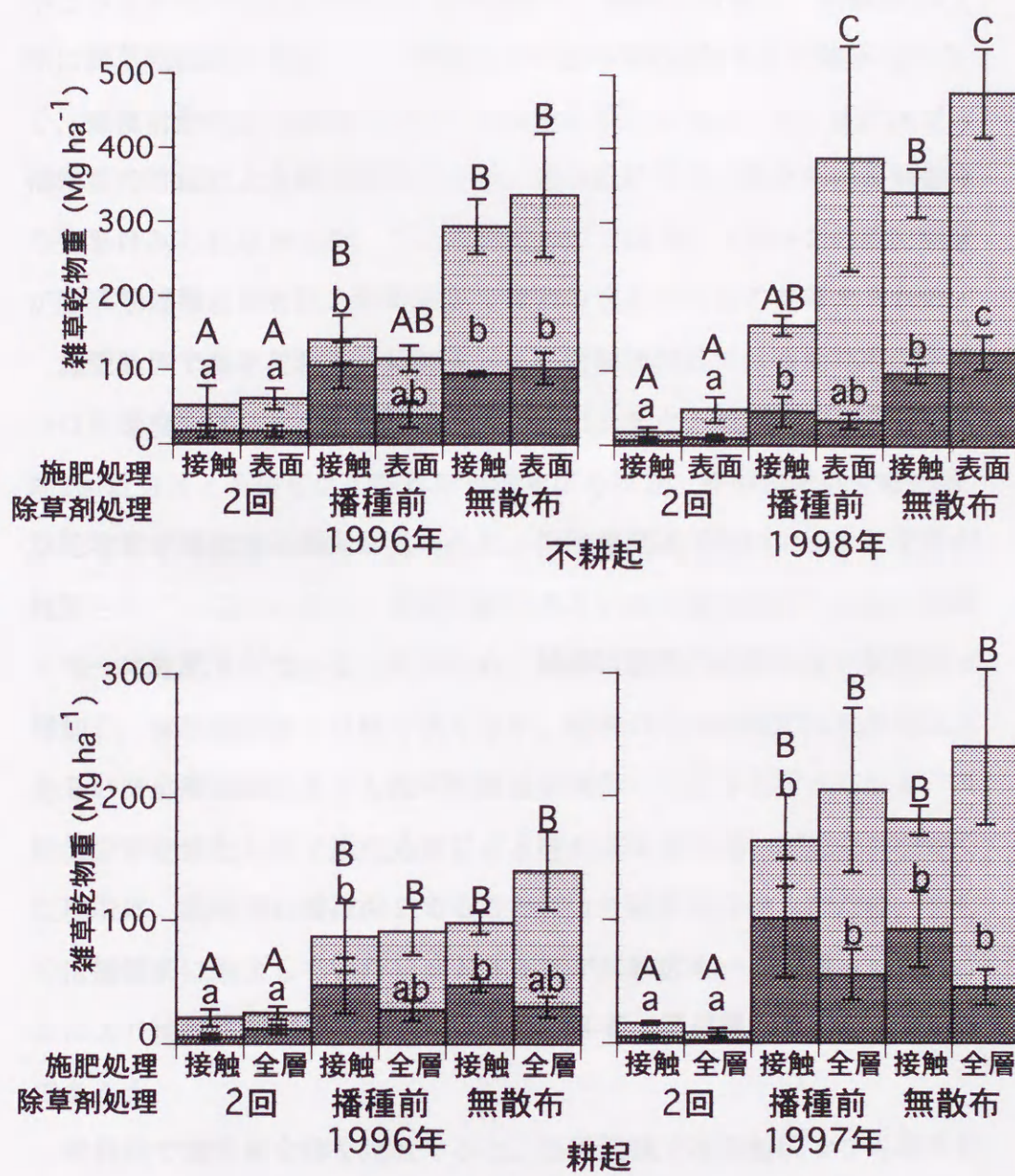


図5.5 収穫期における雑草の乾物重

全体
  畦
 図中の垂線は標準誤差を示す。異なる文字（大文字，全体；小文字，畦）は5%水準で有意差があることを示す。



年とも除草剤2回散布区で雑草量が少なく、播種前散布区、無散布区の順に雑草乾物重が増加した。耕起区では除草剤2回散布区で雑草は少なく、播種前散布区と無散布区では雑草量に違いはなかった。耕起区では播種前の耕耘による雑草防除のため、雑草量に対する除草剤播種前散布の効果はみられなかった。このため耕起区ではデントコーンの乾物収量が除草剤播種前散布区と無散布区で変わらなかったものと考えられる。

施肥処理で雑草乾物重を比較すると、接触施肥区では表面施肥区あるいは全層施肥区に比べ、同等か少なかった。また、雑草量の少ない除草剤2回散布区と不耕起区の除草剤無散布区を除き、接触施肥区で畦の雑草乾物重が増加する傾向が見られた。接触施肥区ではバンド上に肥料が施肥されているのに対し、表面施肥区あるいは全層施肥区では畦と畦間で均一に施肥されている。そのため、雑草は肥料の存在により乾物重が増加し、接触施肥区では畦で多くなり、肥料のない畦間では表面施肥区あるいは全層施肥区よりも雑草乾物重が減少したものと考えられる。不耕起除草剤無散布区で施肥処理による畦の雑草量の違いが見られなかった理由は、栽培前に播種溝を切ることにより雑草を防除したため、もしくは播種前に繁茂していたレッドトップが試験区を一面に覆っていたことにより他の雑草が侵入もしくは発生できず、差が現れにくかったからであろう。

耕起法で雑草量全体を比較すると、不耕起区では耕起区よりも雑草乾物重が多い傾向が見られた。不耕起栽培では表面に散布された雑草種子がそのまま存在するのに対し、耕起栽培では土壌に混合される。そのため耕起栽培では土中に埋められた雑草種子によっては発芽できないものもあり、不耕起栽培よりも雑草量が少なくなったと考えられる。



## 5) デントコーンと雑草の養分吸収量

デントコーンと雑草の養分に対する競合を見るために、不耕起区では1998年の収穫期における養分吸収量を図5.6に、耕起区では1997年の収穫期における養分吸収量を図5.7に示した。養分としては、多量必須元素のうち、特に重要な窒素、リン酸およびカリウムについて図示した。

### ○窒素吸収量

1998年の不耕起区での窒素吸収量を除草剤処理で比較すると、デントコーンの窒素吸収量は除草剤2回散布区<sup>接触施肥 表面施肥</sup> (150, 136kgN ha<sup>-1</sup>)、播種前散布区 (111, 86kgN ha<sup>-1</sup>)、無散布区 (69, 57kgN ha<sup>-1</sup>) の順に低くなり、雑草の窒素吸収量は逆に除草剤2回散布区 (4.0, 9.6kgN ha<sup>-1</sup>)、播種前散布区 (27.1, 40.8kgN ha<sup>-1</sup>)、無散布区 (65.9, 93.2kgN ha<sup>-1</sup>) の順に増加した。1997年の耕起区ではデントコーンの窒素吸収量が除草剤2回散布区 (203, 174kgN ha<sup>-1</sup>) で播種前散布区 (143, 139kgN ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (152, 139kgN ha<sup>-1</sup>) に比べ多く、雑草の窒素吸収量は除草剤2回散布区 (4.1, 1.8kgN ha<sup>-1</sup>) で播種前散布区 (30.4, 37.3kgN ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (36.0, 41.6kgN ha<sup>-1</sup>) より低かった。よって、除草剤散布回数を減らすと雑草の窒素吸収量が増加し、デントコーンの窒素吸収量が減少したといえる。

施肥処理で不耕起区の窒素吸収量を比較すると、表面施肥区に比べ接触施肥区でデントコーンの窒素吸収量が増加し、雑草の窒素吸収量が減少した。耕起区の接触施肥区では全層施肥区に比べデントコーンの窒素吸収量が増加する傾向が見られた。また接触施肥区では全層施肥区に比べ畦の雑草の窒素吸収量が増加するものの、畦間の雑草の窒素吸収量が減少することにより雑草全体の窒素吸収量が減少する傾向が見られた。接触施肥では畦間には施肥されていないので、表面施肥あるいは全層施



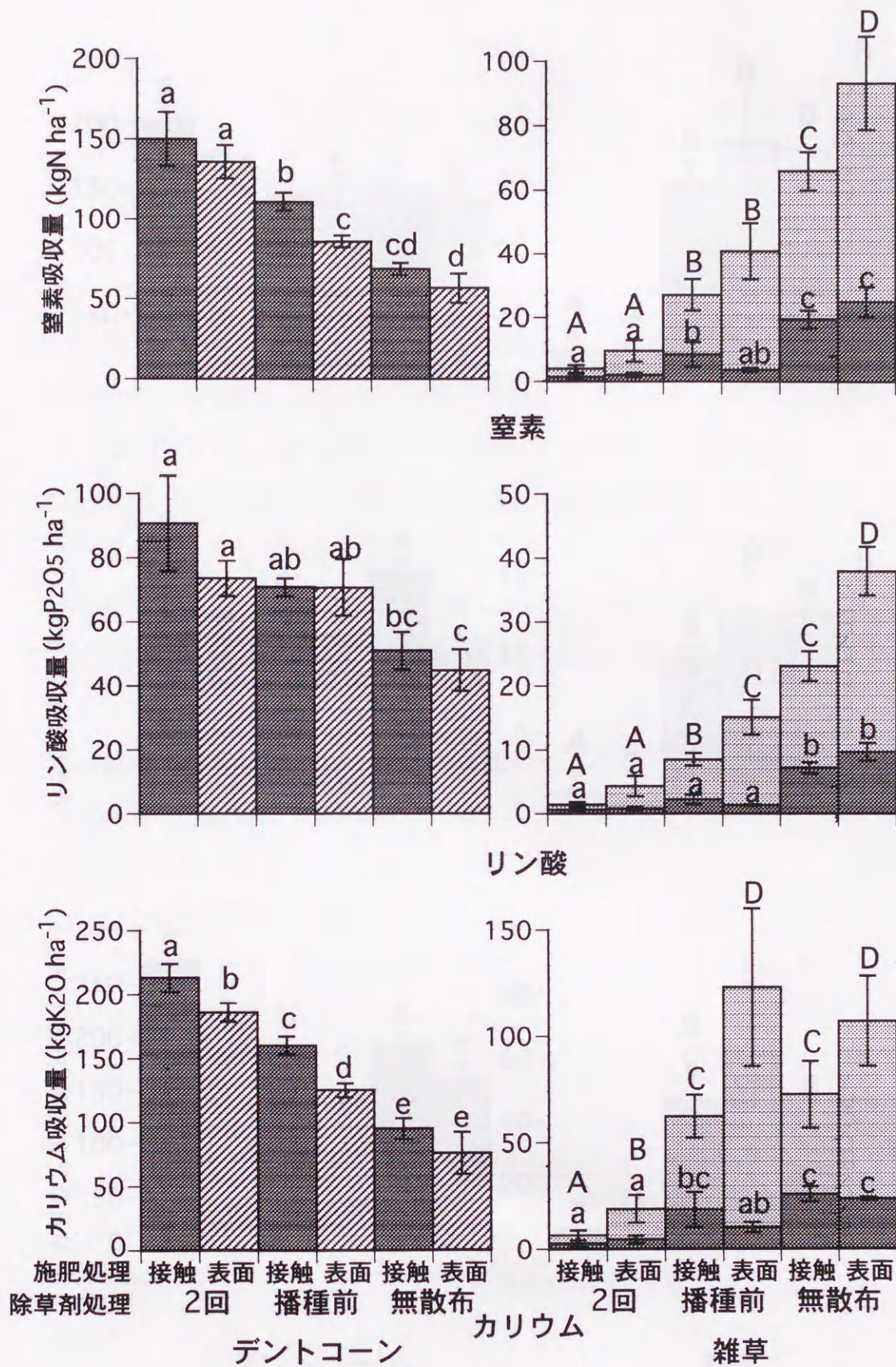


図5.6 収穫期におけるデントコーンと雑草の養分吸収量 (1998年, 不耕起)

全体
  畦
 図中の垂線は標準誤差を示す。異なる文字 (大文字, 全体; 小文字, 畦) は5%水準で有意差があることを示す。



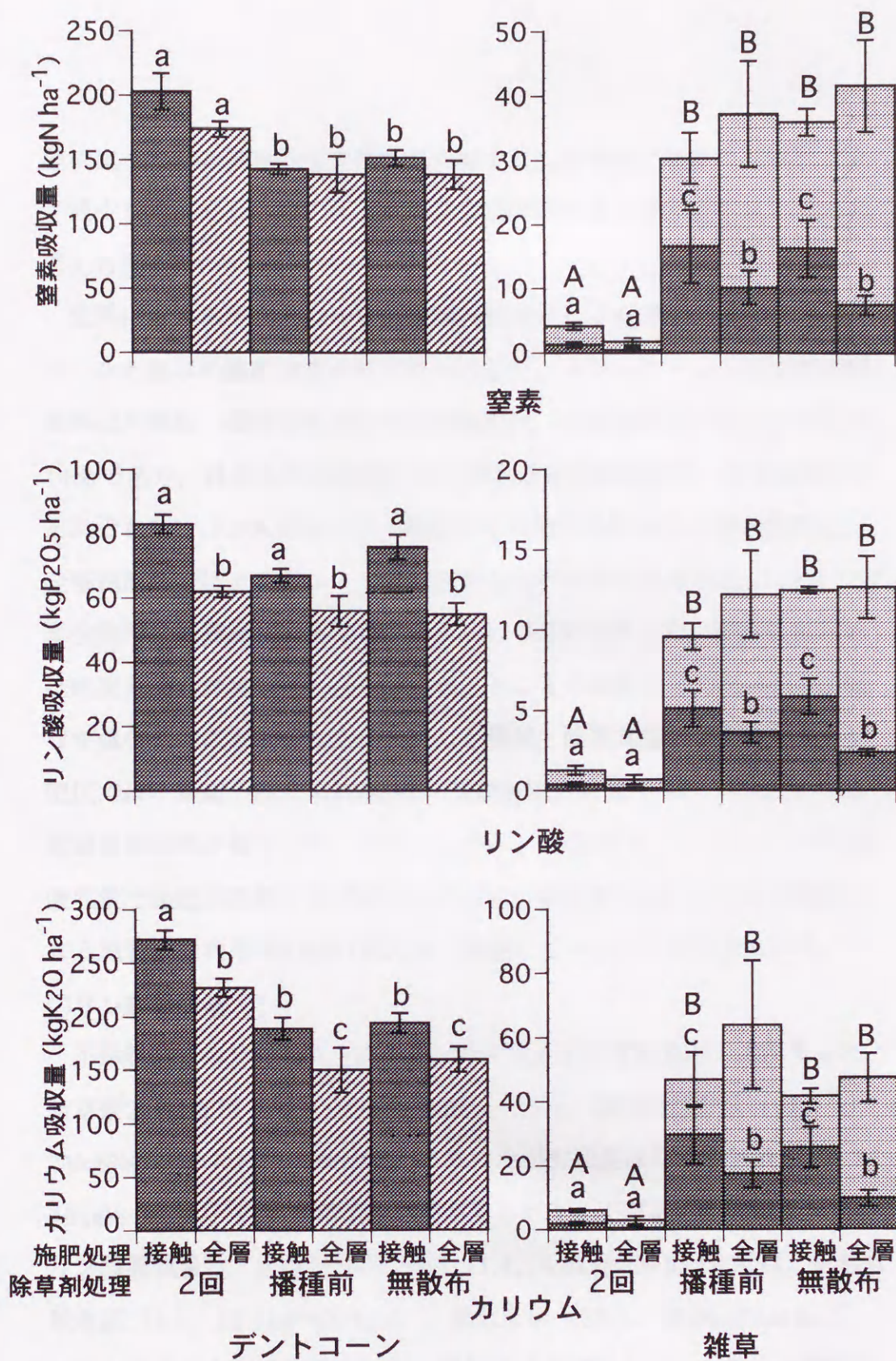


図5.7 収穫期におけるデントコーンと雑草の養分吸収量 (1997年, 耕起)

■ 全体 ■ 畦 図中の垂線は標準誤差を示す。異なる文字 (大文字, 全体; 小文字, 畦) は5%水準で有意差があることを示す。



肥に比べ畦間の雑草の窒素吸収量が減少し、全体的に雑草の窒素吸収量が減少した。そのためデントコーンの窒素吸収量に差が見られたものと考えられる。

肥料に対するデントコーンと雑草の競合を見るために、表5.1にデントコーンと雑草の施肥窒素の利用率を示した。デントコーンの施肥窒素利用率は不耕起・播種前散布区の接触施肥区、表面施肥区ではそれぞれ31、14%であり、雑草全体の施肥窒素利用率では接触施肥区、表面施肥区でそれぞれ5.5、7.0%であった。耕起区での播種前散布区の接触施肥区、全層施肥区ではデントコーンの施肥窒素利用率がそれぞれ22、13%、雑草全体の施肥窒素利用率はそれぞれ4.4、6.0%であった。接触施肥区では畦間雑草の施肥窒素吸収を減らすことにより雑草全体の肥料窒素の吸収が減少したことが分かる。また、不耕起・除草剤播種前散布・接触施肥区では不耕起・除草剤2回散布・表面施肥区に比べデントコーンの施肥窒素利用率が高かった。このことから、1998年でデントコーンの窒素吸収量で施肥処理間に差が見られたのは、雑草量の違いよりも施肥法による施肥窒素利用率の違いが大きく影響していることが考えられる。

#### ○リン酸吸収量

不耕起区でのデントコーンのリン酸吸収量を除草剤処理で比較すると、除草剤2回散布区 (91, 74kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) では、播種前散布区 (71, 71kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) に比べ多い傾向にあったが有意差はなく、無散布区 (51, 45kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) に比べ多く有意差が見られた。不耕起区での雑草全体のリン酸吸収量は、除草剤2回散布区 (1.4, 4.3kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) では、播種前散布区 (8.5, 15.1kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>)、無散布区 (23.1, 38.0kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) に比べ少なく有意差が見られた。耕起区でのデントコーンのリン酸吸収量は、除草剤2回散布区 (83, 62kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) では播種前散布区 (67,



表5.1 デントコーンと雑草の施肥窒素利用率 (1998年)

耕起法	除草剤処理	施肥処理	施肥窒素利用率 (%)			
			デントコーン	雑草 (畦)	雑草 (畦間)	雑草全体
不耕起	全面散布	表面施肥	24.4	0.2	0.4	0.6
	播種前散布	接触施肥	31.4	2.3	3.3	5.5
	播種前散布	表面施肥	13.7	1.1	7.0	7.7
耕起	全面散布	全層施肥	17.5	—*	—*	0.1
	播種前散布	接触施肥	21.7	0.6	3.8	4.4
	播種前散布	全層施肥	12.5	0.8	5.2	6.0

\*0.1%未満



56kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (76, 55kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) に比べやや高い値であったが有意差はなかった。耕起区での雑草全体のリン酸吸収量は、除草剤2回散布区 (1.3, 0.7kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) では播種前散布区 (9.6, 12.2kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (12.5, 12.7kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) に比べ低かった。リン酸吸収量についても、窒素吸収量と同様、除草剤散布を減らすことによる雑草の増加により、雑草のリン酸吸収量が増加し、デントコーンのリン酸吸収量が減少した。

不耕起区でのリン酸吸収量を施肥処理で比較すると、接触施肥区では表面施肥区に比べ、デントコーンのリン酸吸収量が高い傾向にあり、雑草全体のリン酸吸収量は少なかった。また、有意な差はないものの不耕起・除草剤播種前散布区では接触施肥区での畦雑草のリン酸吸収量が表面施肥区に比べ高い傾向にあった。耕起区でのデントコーンのリン酸吸収量は接触施肥区で全層施肥区より有意に高かった。また除草剤播種前散布区および無散布区では畦雑草のリン酸吸収量が接触施肥区で全層施肥区より有意に多かった。表面施肥区および全層施肥区では速効性肥料を用いているのに対し、接触施肥区では肥効調節型肥料を局所施肥している。肥効調節型肥料では、作物の生育に合わせて肥料リンを供給することができるため、肥料リンが土壌に固定される前に作物により吸収可能である。吉田ら (1996) は黒ボク土とリン酸肥料を混合することにより、作物のリン酸吸収が低下することを報告している。鈴木ら (1966) は黒ボク土ではコムギ種子に近い施肥位置ほど、リン酸の効果が高いことを報告している。よって肥効調節型肥料の局所施肥である接触施肥区では土壌に肥料リンが固定されにくく、肥料成分を効率的に供給できたため、デントコーンのリン酸吸収量が増加したものと考えられる。肥効調節型肥料によりリンが効率的に作物に供給されることは菅野ら (1994,



1996) の結果と一致している。

### ○カリウム吸収量

不耕起区でのデントコーンのカリウム吸収量を除草剤処理で比較すると、除草剤2回散布区 (213, 186kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) では播種前散布区 (160, 125kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (95, 76kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) より高く、有意差が見られた。また雑草全体のカリウム吸収量は、除草剤2回散布区 (6.4, 19kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) では播種前散布区 (62, 123kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) および無散布区 (73, 107kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) より有意に低かった。耕起区でも同様に除草剤2回散布区では播種前散布区および無散布区よりもデントコーンのカリウム吸収量が増加し、雑草全体のカリウム吸収量が減少した。

施肥処理で比較すると、不耕起区、耕起区とも接触施肥区では表面施肥区あるいは全層施肥区よりデントコーンのカリウム吸収量が増加し、雑草全体の吸収量は減少した。接触施肥区では表面施肥区、全層施肥区に比べ畦雑草のカリウム吸収量は増加する傾向があるものの、畦間雑草のカリウム吸収量が減少し、全体の吸収量も少なくなった。

以上をまとめると、播種後に除草剤散布しないと雑草量が増加し、雑草による養分吸収量が増加することによりデントコーンの養分吸収量が減少し、デントコーンの乾物収量が低下した。接触施肥では表面施肥あるいは全層施肥に比べ、施肥窒素利用率が高く、デントコーンの養分吸収が増加することにより、デントコーンの乾物収量が増加する傾向が見られた。また接触施肥では畦での雑草量が増加するものの畦間での雑草量が減少し、全体の雑草量が減少した。そこで、肥効調節型肥料の接触施肥では畦の雑草を効率的に防除することによってデントコーンの乾物収量を高めることができると考えられる。



### 5.3.2 除草剤畦散布の効果

5.3.1で播種後の除草剤散布をなくすと、不耕起栽培において接触施肥では表面施肥に比べ畦の雑草が増加することを明らかにした。そこで、播種後の除草剤散布の方法を変え、慣行の散布法である全面散布、畦散布、無散布の3処理を施肥処理（接触施肥、表面施肥）と組み合わせて比較した。

#### 1) デントコーンの乾物収量

図5.8にデントコーンの茎葉と子実を合わせた乾物収量を示した。

1998年は栽培期間中における積算日照時間が少なく、1968年から1988年までの平均値である423時間を平年値と考えると、1998年は306時間と100時間以上短かった。さらに、収穫直前に台風の通過により一部倒伏が見られたため、サイレージ用トウモロコシの収穫適期である黄熟期に達する前に収穫した。1999年は栽培期間中における日照時間の合計は444時間と平年値より高く、また収穫は黄熟期に行った。年次間の収量の差を雑草の影響が最も少ない除草剤全面散布区で比較すると、1998年は1999年に比べ、デントコーンの乾物収量が29～36%低かった。これは1998年と1999年で品種が異なることよりも気候の影響が強く現れたものと考えられる。

除草剤処理間では、分散分析により1998年、1999年とも有意差が見られた（表5.2）。1998年の接触施肥区では除草剤全面散布区（14.7Mg ha<sup>-1</sup>）は無散布区（13.1Mg ha<sup>-1</sup>）に比べデントコーンの乾物収量が高く有意差が見られたが、全面散布区と畦散布区（14.0Mg ha<sup>-1</sup>）の間に有意差はなかった。また1998年の表面施肥区では除草剤処理間に有意な差はなかった。1999年の接触施肥区および表面施肥区ではともに、全面散布区（18.9, 19.3Mg ha<sup>-1</sup>）と畦散布区（13.3, 10.4Mg ha<sup>-1</sup>），畦散布区



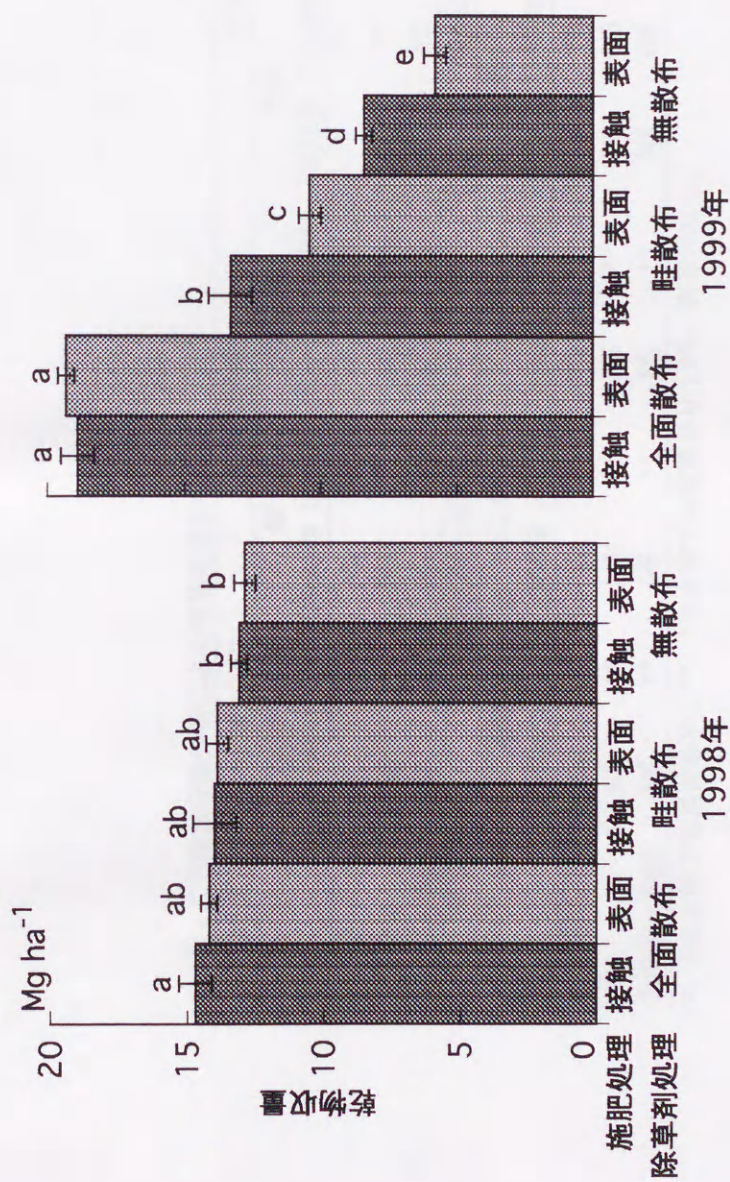


図5.8 デントコーンの乾物収量

図中の垂線は標準誤差を，異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。



表5.2 二元配置分散分析による有意差検定の結果

処理	雑草乾物重						デントコーンの養分吸収量					
	デントコーンの乾物収量		畦		畦+畦間		窒素		リン酸		カリウム	
	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年
除草剤	*	**	NS	**	NS	**	**	**	NS	**	**	**
施肥	NS	*	NS	**	NS	NS	NS	**	**	**	NS	**
除草剤×施肥	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	雑草の養分吸収量 (畦)						雑草の養分吸収量 (畦+畦間)					
	窒素		リン酸		カリウム		窒素		リン酸		カリウム	
処理	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年	1998年	1999年
除草剤	NS	**	NS	**	NS	**	NS	**	NS	**	NS	**
施肥	NS	**	NS	**	NS	**	NS	**	NS	NS	NS	NS
除草剤×施肥	NS	**	NS	**	NS	**	NS	**	NS	NS	NS	NS

\*, 5%水準で有意差あり; \*\*, 1%水準で有意差あり; NS, 有意差なし.



と無散布区 (8.4, 5.8Mg ha<sup>-1</sup>) の間にそれぞれ有意差が見られた。

施肥処理間では、分散分析により1998年は有意差はなく、1999年は差が見られた (表5.2)。同一除草剤処理区内の異なる施肥法で乾物収量を比較すると、1998年では施肥処理間で有意差は見られなかったものの接触施肥区で表面施肥区に比べ乾物収量が高い傾向が見られた。また1999年では、除草剤全面散布区の接触施肥区と表面施肥区の違いはないものの、除草剤畦散布区および無散布区では表面施肥区に比べ接触施肥区の乾物収量が高く、有意差が見られた。

以上の結果より、除草剤全面散布に比べ無散布ではデントコーンの乾物収量が大きく低下するが、畦散布により収量の低下が軽減できるといえる。また、肥効調節型肥料の接触施肥では速効性肥料の表面施肥に比べデントコーンの乾物収量が同等かもしくは多いことが明らかである。

## 2) 収穫期における雑草の乾物重

雑草の発生量を比較するために、生育初期の圃場の様子を写真5.7～5.9に示した。除草剤全面散布区 (写真5.7) では、接触施肥区、表面施肥区とも除草剤の効果により雑草はほとんどなかった。播種後の除草剤を無散布にすると (写真5.9)、接触施肥区、表面施肥区とも雑草が増加したが、接触施肥区では畦に雑草が多く、畦間では少なかったのに対し、表面施肥区では圃場全体的に雑草が多かった。除草剤畦散布区 (写真5.8) では、両施肥区とも畦の雑草が抑えられたが、接触施肥区では表面施肥区よりも畦間の雑草が少なかった。

デントコーンの乾物収量に影響を与える雑草発生量を収穫期の乾物重で検討した (図5.9)。年次間の全体 (畦+畦間) の雑草乾物重で比較すると、除草剤無散布区では1998年は0.6Mg ha<sup>-1</sup>以下であったのに対し1999年は5Mg ha<sup>-1</sup>以上と2年目での雑草量は大幅に増加した。これは、



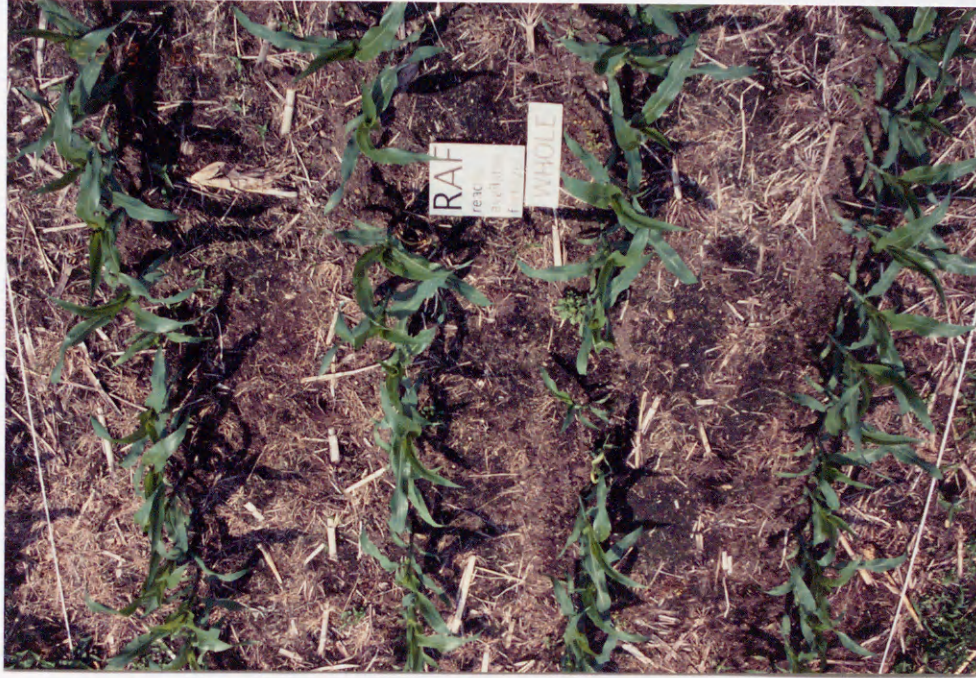
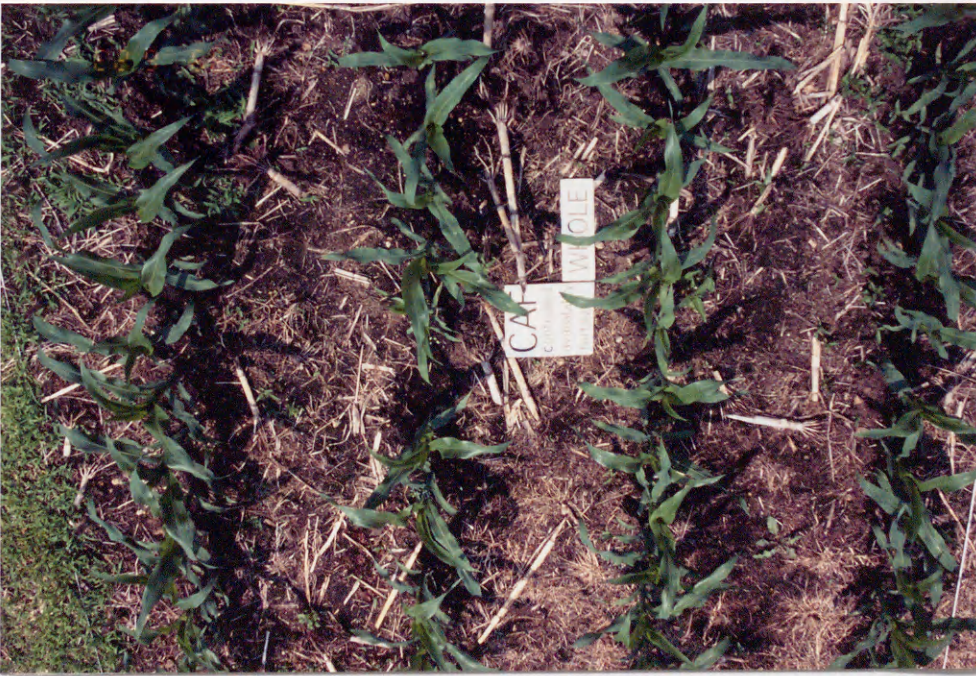


写真5.7 1999年播種後36日での除草剤全面散布区（不耕起）  
左が接触施肥区，右が表面施肥区。





写真5.8 1999年播種後36日での除草剤畦散布区（不耕起）  
左が接触施肥区，右が表面施肥区。





写真5.9 1999年播種後36日での除草剤無散布区（不耕起）  
左が接触施肥区，右が表面施肥区.



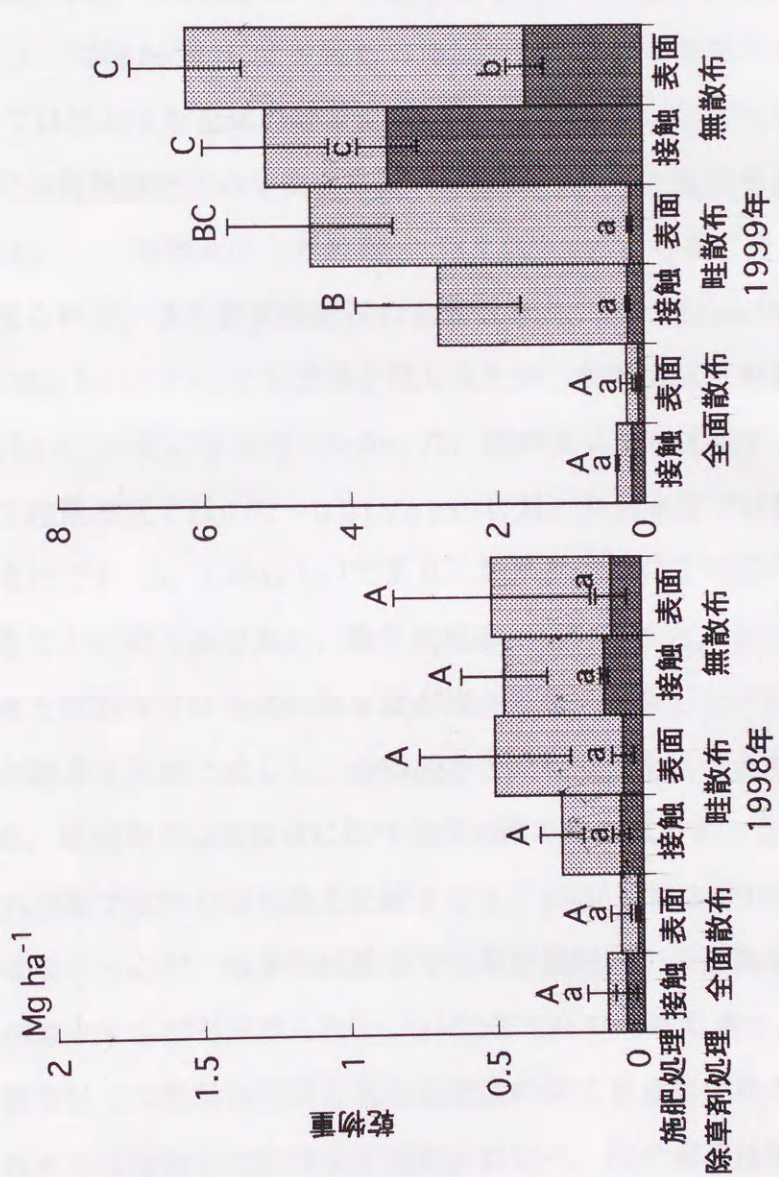


図5.9 収穫期における畦および全体の雑草乾物重  
 全体 (畦+畦間) 全体 (畦+畦間) 図中の垂線は標準誤差を、異なる記号 (大文字, 小文字; 畦) は5%水準で有意差があることを示す。



1998年は栽培初年目でデントコーン栽培期間中に雑草が少なかったが、圃場試験で同一処理区を2年間継続しているため、1998年の試験区内もしくは周辺の雑草種子が圃場内に散布されたことにより1999年の雑草量が大幅に増加したためである。

除草剤処理間で雑草量を比較すると、1998年は除草剤処理間に有意差はなかった。しかしながら接触施肥区では、全面散布区 ( $0.13\text{Mg ha}^{-1}$ ) に比べ無散布区 ( $0.47\text{Mg ha}^{-1}$ ) で雑草が増加する傾向がみられ、除草剤畦散布 ( $0.28\text{Mg ha}^{-1}$ ) により雑草の増加が抑制される傾向が見られた。1999年では畦および全体の雑草量それぞれに有意差が見られた。全体の雑草量では接触施肥区の全面散布区 ( $0.37\text{Mg ha}^{-1}$ ) と畦散布区 ( $2.80\text{Mg ha}^{-1}$ )、畦散布区と無散布区 ( $5.14\text{Mg ha}^{-1}$ ) の間にそれぞれ有意差が見られた。また表面施肥区の全面散布区 ( $0.24\text{Mg ha}^{-1}$ ) と畦散布区 ( $4.53\text{Mg ha}^{-1}$ ) の間に有意差が見られたが、畦散布区と無散布区 ( $6.21\text{Mg ha}^{-1}$ ) の間に有意差はなかった。畦の雑草量を比較すると、全面散布区と畦散布区では $0.07\sim 0.21\text{Mg ha}^{-1}$ に対し無散布区では接触区、表面区でそれぞれ $3.5$ 、 $1.6\text{Mg ha}^{-1}$ であり、除草剤処理により畦の雑草量が減少することは明らかである。除草剤処理でまとめると、全面散布に比べ畦散布と無散布では全体の雑草量が増加した。しかしながら畦散布により畦の雑草を大幅に減らし、全面散布と同程度にすることができた。そのため、畦散布では無散布に比べ全体の雑草量も減らすことができた。

施肥処理間で全体の雑草量を比較すると、1998年および1999年では有意差はなかったが、除草剤畦散布では接触施肥区が表面施肥区に比べ雑草量が減少する傾向が見られた。1999年では畦の雑草量で見ると、除草剤無散布区では接触施肥区と表面施肥区の間有意差が見られた。除草剤無散布では接触施肥区は表面施肥区に比べ、畦の雑草は増加するが



畦間での雑草は減少した。接触施肥では5cm幅のバンド状に肥料が散布されるのに対し、表面施肥では全面に均一に肥料が散布される。そのため接触施肥では表面施肥より施肥部にあたる畦の雑草量が増加し、肥料のない畦間での雑草量が少なくなった。

以上をまとめると、収穫期における全体の雑草量は除草剤全面散布より無散布で増加した。除草剤畦散布では畦の雑草量を減らし、無散布よりも全体の雑草量が減少した。また接触施肥では表面施肥に比べ畦の雑草は増加するが畦間の雑草が減少することにより全体の雑草量は減少した。さらに接触施肥と畦散布を組み合わせることにより雑草量を減らすことができた。

### 3) 収穫期におけるデントコーンと雑草の養分吸収量

雑草量が増加すると、雑草が土壌および肥料の養分を吸収することにより、作物と養分に対する競合が起こり、作物の養分吸収量が低下することが考えられる。図5.10に収穫期におけるデントコーンの養分吸収量を示した。

デントコーンの窒素吸収量は分散分析により1998年は除草剤処理間で、1999年は除草剤処理間と施肥処理間で有意差が見られた(表5.2)。1998年、1999年ともデントコーンの窒素吸収量は乾物収量とほぼ同様の傾向が見られた。1998年では除草剤全面散布(154, 148kgN ha<sup>-1</sup>)に比べ、無散布(126, 129kgN ha<sup>-1</sup>)では窒素吸収量が低下したが、畦散布(140, 136kgN ha<sup>-1</sup>)では全面散布と有意差はなかった。1999年では除草剤無散布(67, 49kgN ha<sup>-1</sup>)より畦散布区(119, 84kgN ha<sup>-1</sup>)で窒素吸収量が増加した。また除草剤畦散布と無散布では、接触施肥区で表面施肥区より窒素吸収量が増加した。

デントコーンのリン酸吸収量についてみると、1998年、1999年とも



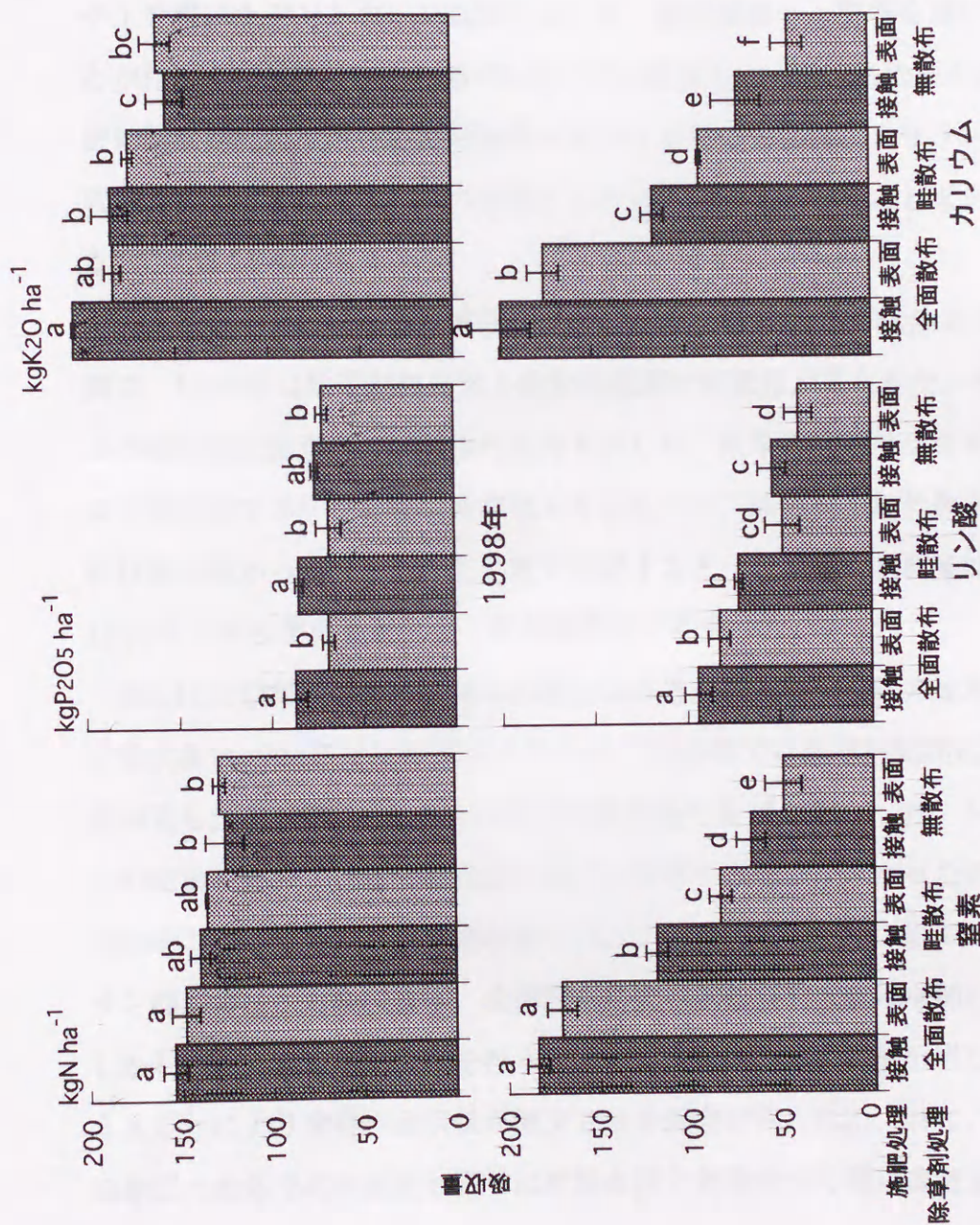


図5.10 収穫期におけるデントコーンの養分吸収量  
 図中の垂線は標準誤差を，異なる記号は5%水準で有意差があることを示す.



施肥処理間で有意差が見られ、接触施肥区で表面施肥区より吸収量が高かった。これは黒ボク土ではリンの固定が強く起こり、表面施肥より局所施肥の方が肥料リンの吸収効率が高かったことが一因と考えられる。また、速効性肥料に比べ、肥料成分を徐々に溶出する被覆肥料の方がリン固定を受けにくいと考えられる。菅野ら（1994）は本研究と同じ黒ボク土を用いたデントコーン栽培において、肥効調節リン肥料を用いることが作物のリン酸吸収に有効であることを報告している。このことから、肥効調節型肥料を用いた接触施肥で速効性肥料の表面施肥よりリン酸吸収量が高くなったもう一つの原因として肥料種の違いがあると考えられる。

デントコーンのカリウム吸収量についてみると、1998年は除草剤処理間で、1999年は除草剤処理間と施肥処理間で有意差が見られた。カリウムの吸収量は窒素とほぼ同様の傾向を示した。除草剤処理では全面散布より無散布でカリウム吸収量が低くなるものの、畦散布では無散布より吸収量が多かった。また施肥処理で比較すると、カリウム吸収量は、1999年でのみ表面施肥区より接触施肥区で多かった。

図5.11に収穫期における雑草の養分吸収量を示した。全体の雑草の養分吸収量は1998年では有意差はないが、1999年では除草剤処理に有意差が見られた（表5.2）。1998年では雑草発生量が少なく、デントコーンの乾物収量および養分吸収量に対する雑草の影響は小さかったので、1999年における雑草の養分吸収量について検討する。全体の雑草の窒素、リン酸、カリウム吸収量は、全面散布に比べ無散布で大幅に増加した。しかしながら除草剤畦散布を行うと、無散布に比べ畦での養分吸収を抑えることにより全体の吸収量が減少させる傾向が見られた。特に、接触施肥区の全体での窒素吸収量では畦散布区と無散布区間に有意差が見



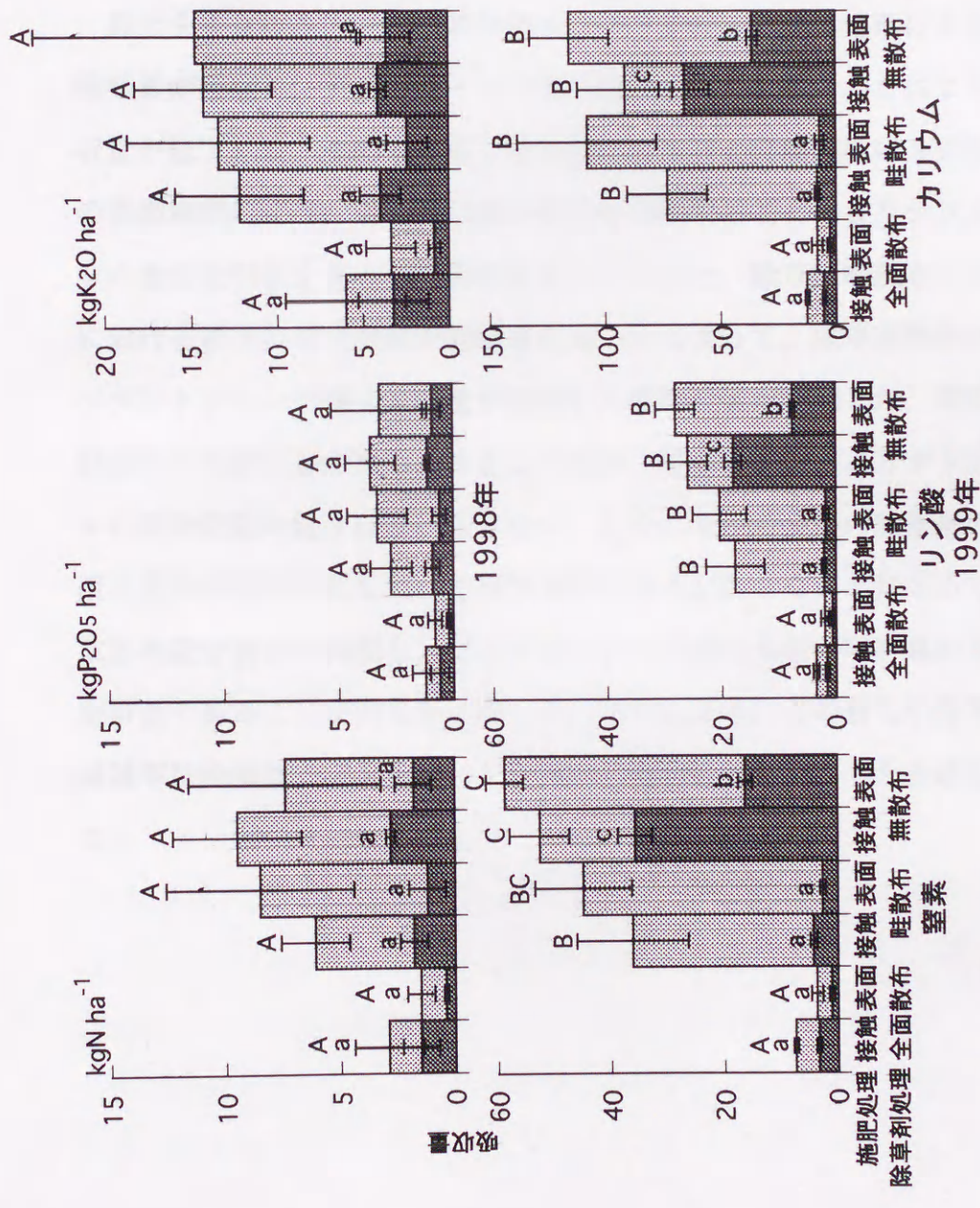


図5.11 収穫期における畦および畦間の雑草の養分吸収量  
 畦 (全体) 全体 (畦+畦間) 図中の垂線は標準誤差を, 異なる記号 (大文字, 全体; 小文字, 畦) は5%水準で有意差があることを示す。



られた。また接触施肥区では表面施肥区より畦間雑草の養分吸収量が少なくなることによって、全体の吸収量が少なくなる傾向が見られた。畦雑草の吸収量（1999年）に除草剤および施肥処理間に有意差があり、またこれらに交互作用がみられた。畦雑草の養分吸収量は、無散布接触施肥区では無散布表面施肥区より有意に増加したが、畦散布により畦雑草の吸収量が大幅に減少し、全面散布と同程度となった。

以上をまとめると、除草剤無散布では全面散布に比べ雑草による養分吸収量が増加し、デントコーンの養分吸収量が減少することにより乾物収量が低下した。その中でも、肥効調節型肥料の接触施肥は速効性肥料の表面施肥に比べ、効率的に肥料養分を供給することによりデントコーンの養分吸収量を高め、乾物収量を向上させた。除草剤畦散布により畦における雑草の養分吸収が抑制されることによって、除草剤無散布に比べデントコーンの養分吸収量が増加し、乾物収量が増加した。環境負荷軽減のため除草剤の使用を中止した場合、雑草の増加によりデントコーンの乾物収量の低下は避けられない。しかしながら少量の除草剤の畦施用と肥効調節型肥料を用いた接触施肥を組み合わせることによって、雑草との養分競争を抑制し、デントコーンへの養分供給効率を高めることが可能であることが明らかとなった。これにより、この新しい除草剤削減雑草防除法は、デントコーンの乾物収量の低下を抑制したと結論された。



#### 5.4 まとめ

肥効調節型肥料による接触施肥と速効性肥料の表面施肥あるいは全層施肥がデントコーンと雑草の生育・養分吸収におよぼす影響を検討した。さらに、肥効調節型肥料の接触施肥により、デントコーンの収量低下を最小限としながら除草剤の使用量を軽減する栽培法の可能性について検討した。

- 1) 除草剤2回散布に比べ、播種前みの散布では雑草量および雑草の養分吸収量が増加し、デントコーンの養分吸収量が低下し、乾物収量が減少した。
- 2) 肥効調節型肥料の接触施肥では、速効性肥料の表面施肥あるいは全層施肥に比べ、養分吸収量が増加し、デントコーンの乾物収量が増加する傾向が見られた。また接触施肥では、表面施肥あるいは全層施肥に比べ、畦の雑草量および雑草による養分吸収が増加し、畦間の雑草量および雑草の養分吸収が少なくなり、全体としては雑草量が減少する傾向が見られた。
- 3) 播種後の除草剤無散布では、除草剤全面散布に比べ、収穫期における雑草量および雑草の養分吸収が増加し、デントコーンの養分吸収量が減少し乾物収量が低下した。除草剤畦散布により畦における雑草量および雑草の養分吸収を抑えることにより、播種後の除草剤無散布よりもデントコーンの養分吸収量が増加し、乾物収量が増加した。
- 4) 播種後の除草剤無散布の接触施肥では表面施肥に比べ、雑草が畦で多く、畦間で少なくなったが、除草剤畦散布の接触施肥では、畦の雑草を抑え、畦での雑草による養分吸収が減少したため、デントコーンの養分吸収量が増加し、除草剤無散布および除草剤畦散布の表面施肥に比べ乾物収量が増加した。







## 第6章 総括

不耕起栽培は、一般的な圃場作業のうち耕耘、碎土および整地作業を省略する栽培法である。その特長としては、土壌侵食の防止、耕耘・碎土・整地作業の省略による省力・省エネルギー化などが挙げられる。

溶出が温度依存性を示す肥効調節型肥料と作物種子を同位置に施用する施肥法は、Shoji & Gandeza (1992) によって接触施肥法 (*co-situs application*) と命名された。菅野ら (1993) は、デントコーン栽培において全量基肥施用で肥効調節型肥料の接触施肥を行ったところ、硫安の慣行施肥と比べ出芽時の濃度障害を引き起こさず、収量も遜色なかったことを報告している。この接触施肥法は、土壌の攪乱が最小限であり、肥料利用率が高いことから、施肥位置が制限される不耕起栽培に適した技術であると考えられる。しかしながら不耕起栽培で、全量基肥・接触施肥法による収量性を検討した報告はない。

肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法では、作物に効率良く肥料成分を供給することにより、雑草による肥料養分の収奪を抑えることが考えられる。Tomaso (1995) はレビューの中で、深層バンド施肥では、雑草が肥料に到達できず吸収できないことにより、雑草量が全層施肥に比べ減少し、インゲンマメやイネで作物収量が増加したことを報告している。そのため、全量基肥・接触施肥法により雑草量を減らすことが可能であれば、除草剤使用量を削減しつつ、作物収量を維持することが可能と考えられる。しかしながら、環境負荷軽減を考慮し、除草剤使用量を削減しつつ、作物収量を維持する研究例はない。

そこで本論文は、不耕起栽培に新しい施肥法である肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法を適用することにより、現在よりも環境負



荷を軽減しかつ作物生産を高位安定させる新しい栽培技術の確立を目的とした。そして、不耕起栽培の問題点である施肥法および除草剤施用法を改善するために、以下の諸点について検討した。

第2章 不耕起栽培における窒素肥料種が作物収量と肥料利用率に及ぼす影響

第3章 不耕起栽培における栽植密度と窒素施用量が収量と耐倒伏性に与える影響

第4章 デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因解析

第5章 全量基肥・接触施肥法を活用した雑草防除法の改善

## 第2章 不耕起栽培における窒素肥料種が作物収量と肥料利用率に及ぼす影響

黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培に全量基肥・接触施肥を適用し、出芽、収量、養分吸収量に対する肥効調節型肥料の一つである被覆尿素と速効性肥料の硫安の影響を明らかにした。さらに、これら肥料種の影響を4年間にわたり耕起栽培と比較し、総合的に検討した。

1) 被覆尿素の接触施肥では、出芽時の積算降水量の異なる3年間とも出芽率が81~93%と高く安定した。それに対し、硫安を接触施肥すると濃度障害を起こしやすく出芽率も22~95%と播種後の降水量により大きく変動した。また硫安を施用しても、不耕起栽培では耕起栽培より出芽率が高くなる傾向が見られた。

2) 被覆尿素は種子と接触施用しても種子近傍のECを高めにくいのに対し、硫安は出芽時のECを高め濃度障害が起きやすいと考えられた。不耕起栽培では耕起栽培に比べ施肥位置でのECを高めにくいことが明らかとなった。また、硫安区でECを高めた主要因は施肥由来の硫安と推測され



た。

3) 不耕起・被覆尿素30+70区のデントコーンの乾物収量は、耕起・硫安慣行区に比べ同等もしくは高く、耕起・被覆尿素30+70区と比べても同等であった。また不耕起・硫安区では気象により収量が左右されやすく、乾燥年、多雨年とも収量が低下したのに対し、不耕起・被覆尿素30+70区では気象による変動は少なく、安定して高い乾物収量であった。

4) 施肥窒素利用率は不耕起・被覆尿素30+70区で50~60%に対し、耕起・被覆尿素30+70区では39~45%、耕起・硫安慣行区では27~30%であった。不耕起・硫安区では、窒素吸収量は気象により変動し、乾燥や多雨により施肥窒素利用率が26%~27%に低下した。

以上より、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法は、気象条件に関わらず、出芽率が高く安定し、施肥窒素利用率を高め、安定して高い収量が得られることから、不耕起栽培に最適な施肥技術であるといえる。

### 第3章 不耕起栽培における栽植密度と窒素施用量が収量と耐倒伏性に与える影響

不耕起栽培における栽植密度および窒素施用量がデントコーンの収量性と耐倒伏性に及ぼす影響を耕起栽培と比較、検討した。

1) 不耕起栽培のデントコーンの乾物収量は、耕起栽培と同等もしくはそれ以上であった。栽植密度を2倍に増加すると、個体当たりの乾物重は減少するものの単位面積当たりの乾物収量は増加した。また、窒素施用量を2倍にすると、乾物収量が増加する傾向が認められた。

2) 不耕起栽培における台風によるデントコーンの倒伏は耕起栽培より少なく、不耕起栽培では耐倒伏性が向上していることが明らかとなっ



た。また密植にすると、倒伏度合が増加したが、不耕起・株間隔1/2区では耕起・株間隔標準区よりも耐倒伏性が優れていた。

3) 耐倒伏性の簡易評価法である、引き倒し法による評価値から、不耕起栽培は耕起栽培に比べ、やや耐倒伏性が高いことが示された。

以上より、デントコーンの不耕起栽培では、耕起栽培に比べ耐倒伏性に優れ、現行の慣行栽培より栽植密度を高めることによって、作物収量が向上する可能性が示された。

#### 第4章 デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因解析

黒ボク土の不耕起土壌の養分供給能の特徴を耕起土壌と比較し、デントコーンの不耕起栽培における高収量性の原因について、土壌の養分供給能と根系発達および根の養水分吸収能を比較することにより検討した。

- 1) 不耕起土壌では、耕起土壌に比べ、液相率が高く、土壌水分張力が低く推移した。その結果、降雨がない日が続くと耕起土壌に比べ作物への水分の供給が優れているものと考えられた。気相率は不耕起土壌で低くなったが、固相率に大きな差はなかった。
- 2) 不耕起土壌における化学性（pH、土壌窒素の無機化、可給態リン酸および交換性塩基）について、耕起土壌と比較検討したが、高収量性を説明できる有意な差は認められなかった。
- 3) 不耕起区では耕起区に比べ、表層0~5cmの根量が増加したが、下層45~60cmでは根量に差が認められなかった。デントコーンの出穂期における注入窒素の吸収速度は、表層0~5cmでは不耕起区で耕起区よりも1.5~2.0倍高く、また下層15~30cmでは不耕起区と耕起区は同等であった。
- 4) 不耕起区では耕起区に比べ、デントコーンの土壌由来窒素吸収量が



少ない傾向にあったが、肥料由来窒素吸収量が多く、収穫期における窒素吸収量は同等もしくはそれ以上であった。

以上より、不耕起区では表層の根量が多く、根の養水分吸収能が高いことから、肥料および表層の土壌養分の吸収に有利であると考えられた。その結果、耕起栽培に比べ土壌からの窒素無機化量が少ないと考えられる不耕起栽培でも、施肥窒素利用率が向上することにより、デントコーンの窒素吸収量が耕起栽培と同等もしくはそれ以上になったものと考えられた。さらに不耕起栽培では、耕起栽培に比べ、土壌水分が乾物生産に対して有利に働いたものと考えられた。よって、デントコーンの不耕起栽培では、初期から養水分の吸収が有利であり、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥・不耕起栽培において、デントコーンの乾物収量が耕起栽培と同等もしくはそれ以上になったものと結論された。

## 第5章 全量基肥・接触施肥法を活用した雑草防除法の改善

肥効調節型肥料による接触施肥と速効性肥料の表面施肥あるいは全層施肥がデントコーンと雑草の生育・養分吸収におよぼす影響を検討した。さらに、肥効調節型肥料の接触施肥により、デントコーンの収量低下を最小限としながら除草剤の使用量を軽減する栽培法の可能性について検討した。

1) 除草剤2回散布に比べ、播種前だけの散布では雑草量および雑草の養分吸収量が増加し、デントコーンの養分吸収量が低下し、乾物収量が減少した。

2) 肥効調節型肥料の接触施肥では、速効性肥料の表面施肥あるいは全層施肥に比べ、養分吸収量が増加し、デントコーンの乾物収量が増加する傾向が見られた。また接触施肥では、表面施肥あるいは全層施肥に比



べ、畦の雑草量および雑草による養分吸収が増加し、畦間の雑草量および雑草の養分吸収が少なくなり、全体としては雑草量が減少する傾向が見られた。

3) 播種後の除草剤無散布では、除草剤全面散布に比べ、収穫期における雑草量および雑草の養分吸収が増加し、デントコーンの養分吸収量が減少し乾物収量が低下した。除草剤畦散布により畦における雑草量および雑草の養分吸収を抑えることにより、播種後の除草剤無散布よりもデントコーンの養分吸収量が増加し、乾物収量が増加した。

4) 播種後の除草剤無散布の接触施肥では表面施肥に比べ、雑草が畦で多く、畦間で少なくなったが、除草剤畦散布の接触施肥では、畦の雑草を抑え、畦での雑草による養分吸収が減少したため、デントコーンの養分吸収量が増加し、除草剤無散布および除草剤畦散布の表面施肥に比べ乾物収量が増加した。

以上より、除草剤畦散布と肥効調節型肥料を用いた接触施肥を組み合わせることにより、雑草との養分競合を抑制し、デントコーンへの養分供給効率を高め、デントコーンの乾物収量の低下を最小限としつつ除草剤使用量を削減することが可能であることが明らかとなった。

大型飼料作物で吸肥力の強いデントコーンの耕起栽培は、家畜ふん尿の処分の場でもある。不耕起栽培では耕耘しないため家畜ふん尿をそのまま投入することは困難である。未熟堆肥や家畜のし尿をデントコーンの栽培前に投入すると、極表層の塩類濃度を高めるとともに、投入量が多いと表層が嫌氣的になることも予想されるので、施用は無理であると思われる。また、未熟堆肥やし尿の投入は、圃場外への養分の流失を招きやすく、環境負荷を増大させることになる。そのため不耕起栽培に家



畜ふん尿を投入する場合は、完熟堆肥の形での施用が望ましい。完熟堆肥であれば、無機態窒素濃度が低く、塩類濃度も低くなっているので表層に施用しても十分生育することが考えられる。平野ら（1999）はポット栽培において堆肥の表面施与が土壌との混和施与に比べ土壌水分の保持に優れ、作物の生育が促進することを報告している。このことから、不耕起栽培では、完熟堆肥であれば投入可能であると推測できる。

以上より、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法により、不耕起栽培の問題点である施肥位置の制限と雑草防除は改善できた。肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法による不耕起栽培は、慣行的な栽培法と比較して、土壌侵食防止効果、省エネルギーによる二酸化炭素の排出削減、硝酸態窒素の溶脱による地下水汚染の軽減、除草剤使用量削減の可能性の点で優れ、環境負荷軽減的な栽培技術であると言える。また、土壌侵食防止による表土の保全、施肥窒素利用率の向上、土壌水分が有利、倒伏しにくく密植による収量増が可能といったことから、安定して高い収量を得ることができると考えられる。

以上を総合すると、肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法によるデントコーンの不耕起栽培は、環境負荷を軽減しつつ、安定かつ高生産が可能な栽培技術であると結論された。



## 引用文献

- Barry, D. A. J. and Miller, M. H. (1989) Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. *Agron. J.* 81. 95-99.
- Bordovsky, J. P., Lyle, W. M., and Keeling, J. W. (1994) Crop rotation and tillage effects on soil water and cotton yield. *Agron. J.* 86. 1-6.
- Dick, W. A. (1983) Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47. 102-107.
- 土壤環境分析法編集委員会編 (1986) 土壤環境分析法. 博友社. 東京.
- Doran, J. W. (1980) Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44. 765-771.
- 江原薫 (1971) 栽培学大要. 養賢堂. 東京. p.39.
- 江原薫 (1967) 改著飼料作物大要. 養賢堂. 東京. p.243.
- Estes, G. O. (1972) Elemental composition of maize grown under no-till and conventional tillage. *Agron. J.* 64. 733-735.
- Franzluebbers, A. J., Hons, F. M., and Zuberer D. A. (1995) Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59. 1618-1624.
- 藤田利雄 (1995) ポリオレフィン系樹脂被覆肥料-LPとロング. 新農法への挑戦. 庄子貞雄編. 博友社. 東京. pp.93-104.
- Gantzer, C. J. and Blake, G. R. (1978) Physical characteristics of Le Sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Agron. J.* 70. 853-857.
- Hargrove, W. L. (1985) Influence of tillage on nutrient uptake and yield of corn. *Agron. J.* 77. 763-768.



Hargrove, W. L., Touchton, J. T., and Gallaher, R. N. (1982) Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil double-cropped to wheat and soybeans. *Agron. J.* 74. 684-687.

春原亘・坂井直樹・高塚清一・衛藤邦男・角田公正 (1985) 不耕起栽培の評価 (第1報) 作業体系と省力効果. *農作業研究* 54. 37-50.

平野繁・田辺猛 (1999) 堆肥施与方法とトウモロコシの生育. *日作紀* 68 (別1). 138-139.

平田健 (1996) 土壌・地下水汚染と対策. 日本環境測定分析協会. 東京. pp. 19-21.

福井重郎・松本重男・昆野昭晨 (1963) 土壌水分ならびに施肥条件が大豆の溢泌液におよぼす影響. *日作紀* 31. 327-331.

今木正 (1999) 生産と気象環境. 作物学総論. 朝倉書店. 東京. pp.117-124.

井上康昭・岡部俊 (1981) 密植・晩播によるトウモロコシ耐倒伏性の評価. *北海道農試研報* 129. 17-23.

石原邦・平沢正 (1985) 蒸散と吸水の測定. 最新作物生理実験法. 農業技術協会. 東京. p. 106.

石塚喜明・林満・西野紀子 (1967) 畑作物に対する施肥位置に関する研究 (第5報). *土肥誌* 38. 373-378.

Ismail, I., Blevins, R. L., and Frye, W. W. (1994) Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58. 193-198.

伊藤豊彰 (1993) 可給態リン酸、土壌の事典. 朝倉書店. 東京. pp.57-58.



伊藤豊彰・井出忠行・三枝正彦 (1997) コロイド組成の異なる耕地黒ボク土の農業機械走行による物理性の変化. 川渡農場報告 13. 17-21.

Ito, T, Inoue, H and Saigusa, M (1997) Effects of no-tillage system on silage-corn yields and soil characteristics in Andisol. Plant nutrition-for sustainable food production and environment. 653-654.

Izaurrealde, R. C., Hobbs, J. A., and Swallow, C. W. (1986) Effects of reduced tillage practices on continuous wheat production and on soil properties. *Agron. J.* 78. 787-791.

亀和田國彦 (1991) 土壤溶液イオン組成からのECの推定とアニオン種の違いがECおよび浸透圧に及ぼす影響. 土肥誌 62. 634-640.

金沢晋二郎 (1995) 持続的・環境保全型農業としての不耕起栽培 畑作物の収量と土壌の特性. 土肥誌 66. 286-297.

金田吉弘 (1995) 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開2 不耕起移植栽培の育苗箱全量施肥技術. 土肥誌 66. 176-181.

菅野均志・馬渡達也・伊藤豊彰 (1996) 肥効調節リン肥料を利用した火山灰土壌におけるデントコーンへの効率的リン施肥法の検討. 川渡農場報告 12. 51-57.

菅野均志・庄子貞雄・伊藤豊彰 (1993) 肥効調節肥料を用いたデントコーンへの接触施肥法. 川渡農場報告 9. 23-29.

菅野均志・庄子貞雄・伊藤豊彰 (1994) 肥効調節肥料を用いたデントコーンへの効率的リン施肥法. 川渡農場報告 10. 7-11.

狩野広美・米山忠克・熊沢喜久雄 (1974) 発光分光分析法による重窒素の定量について. 土肥誌 45. 549-559.

川口桂三郎 (1977) 土壌学概論. 養賢堂. 東京. pp.131-132.



Kitur, B. K., Smith, M. S., Blevins, R. L., and Frye, W. W. (1984) Fate of  $^{15}\text{N}$ -Depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.* 76. 240-242.

児玉広志・三枝正彦・渋谷暁一・阿部篤郎・内藤誠也 (1989) 強酸性黒ボク土における飼料作物の省力多収栽培に関する研究 (第2報) 基肥窒素施用量と施肥形態がデントコーンおよびソルガムの生育に及ぼす影響. 川渡農場報告 5. 19-23.

濃沼圭一・池谷文夫・伊東栄作 (1998) 引き倒し法によるトウモロコシの転び型倒伏抵抗性の非破壊・計量的検定法. 日草誌 43. 424-429.

Lal, R. (1974) No-tillage effects on soil properties and maize [*Zea mays* L.] production in western Nigeria. *Plant and Soil* 40. 321-331.

Lal, R. (1976) No-tillage effects on soil Properties under different crops in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40. 762-768.

McMahon, M. A. And Thomas, G. W. (1976) Anion leaching in two Kentucky soils under conventional tillage and a killed-sod mulch. *Agron. J.* 68. 437-442.

松本聰 (1993) 電気伝導度. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京. p.273.

松崎 巖・板倉寿三郎 (1988) 作物土壌病原菌を食べる土壌動物. 農業技術 48. 364-369.

Mengel, D. B., Nelson, D. W., and Huber D.M. (1982) Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. *Agron. J.* 74. 515-518.

三好 洋 (1972) 根群発達の良好な土壌条件からみた畑地の有効土層の検討 (第1報) 畑土壌生産力分級のための指標の再検討と千葉県畑土壌の生産力分級. 土肥誌 43. 92-97.



水野直治・南 松雄 (1980) 硫酸-過酸化水素による農作物中N,K, Mg,Ca,Fe,Mn定量のための迅速前処理法. 土肥誌 51. 418-420.

森 哲郎・小川和夫 (1967) 土壌の物理的要因と作物の生育に関する研究 (第1報) 土壌の空気量. 硬度と作物の生育. 東海近畿農試研報 16. 77-104.

諸岡稔 (1982) 畑作物の施肥位置. 施肥位置と栽培技術. 日本土壌肥料学会編. 博友社. 東京. pp.110-111.

諸岡稔 (1993) 施肥法. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京. pp.212-213.  
中元朋実 (1998) 耕地におけるバイオポアの機能. 日作紀 67 (4). 443-451

Na Nagara, T., Phillips, R. E., and Leggett, J. E. (1976) Diffusion and mass flow of nitrate-nitrogen into corn roots grown under field conditions. *Agron. J.* 68. 67-72.

NeSmith, D. S., Hargrove, W. L., Radcliffe, D. E., Tollner, E. W. And Arioglu, H. H. (1987) Tillage and residue management effects properties of an Ultisol and double-cropped soybean production. *Agron. J.* 79. 570-576.

Norwood, C (1994) Profile water distribution and grain yield as affected by cropping system and tillage. *Agron. J.* 86. 558-563.

農耕地土壌分類委員会 (1995) 農耕地土壌分類第3次改訂版, 農環研資 17, 4-8.

農林水産技術会議事務局 (1972) 畑地かんがい

岡本美輪・森田茂紀・阿部淳 (1999) トウモロコシ幼植物の出液速度に対する温度の影響. 日作紀 68 (別1). 178-179.

Phillips, R. E., Blevins, R. L., Thomas, G. W., Frye, W. W. and Phillips, S. H. (1980) No-tillage agriculture. *Science* 208. 1108-1112.



Rice, C. W. and Smith, M. S. (1982) Denitrification in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46. 1168-1173

Rice, C. W. and Smith, M. S. (1984) Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48. 295-297

三枝正彦 (1995) 畑作物の全量基肥施与・不耕起栽培法. 新農法への挑戦. 庄子貞雄編. 博友社. 東京. pp.255-274.

三枝正彦 (1989) 黒ボク土. 土の化学. 日本化学会編. 学会出版センター. 東京. p.151.

三枝正彦・渋谷暁一・遊佐良一・阿部篤郎 (1992) 肥効調節型被覆尿素を用いたデントコーンの不耕起全量基肥栽培. 日作東北支部報. 67-68.

坂井直樹 (1988) 不耕起栽培の研究状況 (I) -作物収量への影響-. 農作業研究 23. 179-188.

坂井直樹・春原亘・米山智司・角田公正 (1987) 不耕起栽培の評価 (第3報) 作物収量と投入エネルギー. 農作業研究 22. 229-235.

坂井直樹・春原亘・米山智司・角田公正 (1988) 不耕起栽培の評価 (第4報) 土壌の変化と作物根系. 農作業研究 23, 25-32.

佐藤庚 (1984) 発芽と出芽. 作物の生態生理. 文永堂. 東京. p.18.

佐藤徳雄・渋谷暁一 (1991) 全量床土施肥による水稻の省力施肥栽培について. 日作東北支部報 34. 15-16.

Shoji, S Gandeza, A. T. and Kimura, K (1991) Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: II. Nitrogen uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55. 1468-1473.

Shoji, S and Gandeza, A. T. (1992) Controlled release fertilizers. Konno Printing Co., Ltd. Sendai. Japan.



Shoji, S and Kanno, H. (1994) Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Fertilizer Research* 39. 147-152.

庄子貞雄・前 忠彦 (1984) 無機養分と水の動態. 作物の生態整理. 文永堂. 東京. pp.97-171.

Stecker, J. A., Buchholts, D. D., Hanson, R. G., Wollenhaupt, N. C., and Mcvay, K. A. (1995) Tillage and rotation effects on corn yield response to fertilizer nitrogen on Aqualf soils. *Agron. J.* 87. 409-415.

鈴木達彦・藤沼善亮・塚田豊昭 (1966) 異なる位置に施肥した肥料の小麥にたいする効果. 土肥誌 37. 218-222.

田中明・山口淳一・藤田耕之輔 (1969) トウモロコシの栄養生理学的研究 (第3報) 窒素施与量および栽植密度が乾物生産と子実収量に与える影響. 土肥誌 40. 498-503.

Tomaso, J. M. (1995) Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. *Weed Science* 43. 491-497.

辻博之・松尾和之・山本泰由 (1995) 火山灰土壤における不耕起が畑作物の初期生育におよぼす影響. 日作紀 64 (別2). 181-182.

辻博之 (1998) 植物の根に関する諸問題 [61] 不耕起畑における作物の根系. 農業および園芸 73. 919-923.

Unger, P. W. (1994) Tillage effects on dryland wheat and sorghum production in the southern Great Plains. *Agron. J.* 86. 310-314.

Unger, P. W. and McCalla, T. M. (1980) Conservation tillage systems. *Advance in Agronomy* 33. 1-58.



Unger, P. W. and Wiese, A. F. (1979) Managing irrigated winter wheat residues for water storage and subsequent dryland grain sorghum production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43. 582-588.

Utomo, M., Frye, W. W. And Blevins, R. L. (1990) Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agron. J.* 82. 979-983.

Watt, G. W. and Chrisp, J. D. (1954) Spectrophotometric method for determination of urea. *Analytical chemistry* 26. 452-453.

Webber, C. L., Gebhardt, M. R., and Kerr, H. D. (1987) Effect of tillage on soybean growth and seed production. *Agron. J.* 79. 952-956.

Wischmeier, W. H. And Smith, D. D. (1978) Predicting rainfall erosion losses. U.S.D.A. Agriculture Handbook No.537. p. 58

矢吹勝利・阿部篤郎・三枝正彦・渋谷暁一・狩野広 (1991) 川渡黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培試験. 川渡農場報告 7. 83-88.

山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 (1995) 水稻の茎基部からの出液速度に関与する要因の解析. . 日作紀 64 (4) . 703-708.

吉田滂・三浦周行・山崎篤 (1996) 土壌と肥料の混合の強弱がツケナの生育に及ぼす影響. 土肥誌 67. 413-418.

渡辺春朗 (1987) 農業技術体系“土壌施肥編 3”. 農文協. 東京. II. p. 109.

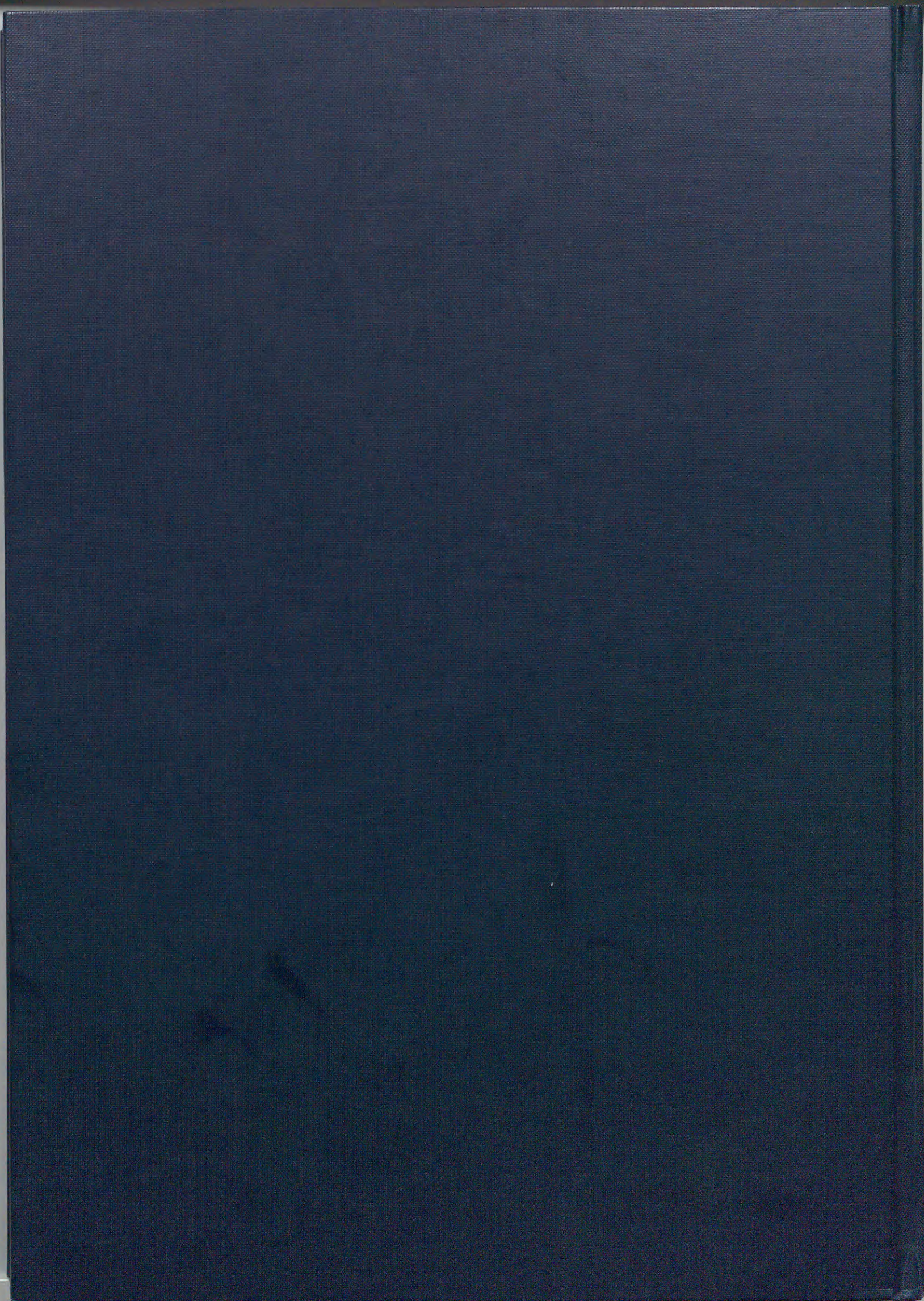


## 謝辞

本研究を遂行するにあたり，三枝正彦教授，伊藤豊彰助教授には終始御指導を賜りました。渡邊肇助手，渋谷暁一技官，栽培植物環境科学講座の同輩，後輩，圃場生産管理学研究室の先輩，後輩には，圃場作業その他において多大なる協力をしていただきました。また，4年生の時に在籍していた土壌立地学講座の先生方，先輩，同輩，後輩にはアドバイスや激励をしていただきました。さらに，本研究をまとめるにあたり支えていただいた両親，兄，友人など全ての人に深謝するとともに厚く御礼申し上げます。

1999年12月26日 井上 博道







Inches 1 2 3 4 5 6 7 8  
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

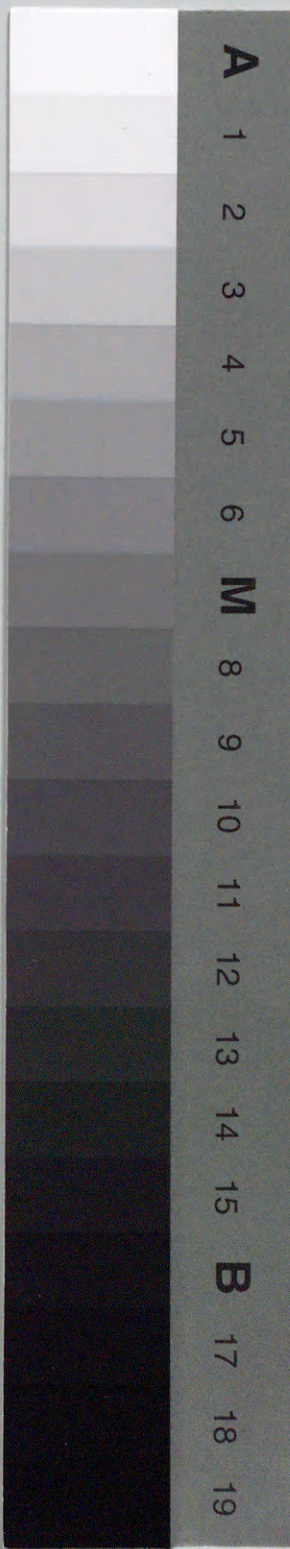


Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19