

氏 名(本籍)	いの 井	うえ 上	ひろ 博	みち 道
学 位 の 種 類	博	士	(農	学)
学 位 記 番 号	農	博	第	598 号
学位授与年月日	平	成	12 年	3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当			
研 究 科 専 攻	東北大学大学院農学研究科環境修復生物学専攻 (博士課程)			
学位論文題目	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			

論文審査委員	(主 査)	教 授	三	枝	正	彦
		教 授	菅	原	和	夫
		教 授	山	崎	慎	一
		助教授	伊	藤	豊	彰

論文内容要旨

1 緒論

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、土壤侵食の防止、耕起、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。

そこで本論文は、不耕起栽培の問題点である、収量性および雑草防除に焦点をあて、黒ボク土におけるデントコーンの不耕起栽培に肥効調節型肥料を用いた全量基肥・接触施肥法を適用し、以下の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

2 不耕起栽培における窒素肥料種が収量と肥料利用率に及ぼす影響

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・接触施肥法を適用し、デントコーンの出芽、収量、施肥窒素利用率に対する肥効調節型被覆尿素と速効性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、検討した。

栽培試験は、東北大学農学部附属農場（非アロフェン質黒ボク土）で1995年～1998年に行った。品種はパイオニア3352 (RM118)，栽植密度は18cm×72cmとした。処理区は不耕起区と耕起区それぞれに全量基肥・接触施肥の被覆尿素30+70区，被覆尿素70区，硫安+被覆尿素70区，硫安区を設け，さらに硫安を追肥体系（基肥2/3，追肥1/3），間土施肥で行う耕起・硫安慣行区を設けた。リン酸および加里肥料は全処理区で統一し被覆重過石30（1996年はよりん），被覆塩化加里70で施用した。施肥量はha当たり窒素150kg，リン酸200kg，カリウム150kgとした。

- 1) 不耕起・被覆尿素30+70区のデントコーンの出芽率は，耕起・硫安慣行区，耕起・被覆尿素30+70区と同等で，4年間とも80%以上と高く安定していた。不耕起・硫安区では播種後の降水量により出芽率が変動し，乾燥時には22%と著しく低下した（表1）。

2) 肥効調節型被覆尿素は、速効性硫安に比べ施肥位置での土壌溶液ECの上昇を抑制した(図1)。その結果、被覆尿素は全量基肥・接触施肥しても、デントコーンの発芽に対して濃度障害を引き起さなかった。

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・硫安慣行区あるいは耕起・被覆尿素30+70区と同等あるいはそれ以上であった。不耕起・硫安区では乾燥年、多雨年とも乾物収量が低下した(表1)。

4) 不耕起・被覆尿素30+70区の施肥窒素利用率は、耕起・硫安慣行区、耕起・被覆尿素30+70区より高かった(表2)。

したがって、デントコーンの不耕起栽培に肥効調節型肥料の全量基肥・接触施肥法を適用することにより、安定して高い乾物生産ができることが明らかとなった。

表1 デントコーンの出芽率および乾物収量に及ぼす耕起処理と施肥処理の影響

施肥処理	出芽率(%) *				乾物収量 (Mg ha ⁻¹)			
	1995年	1996年	1997年	1998年	1995年	1996年	1997年	1998年
不耕起 被覆尿素30+70	91	81	91	93	19.6 a	16.9 a	15.8 a	14.6 a
被覆尿素70	91	84	93	—	17.6 a	16.9 a	16.2 a	—
硫安+被覆尿素70	79	53	91	—	17.9 a	17.4 a	17.5 a	—
硫安	70**	22	95	75	18.4**a	9.1 b	15.5 a	10.0 c
耕起 被覆尿素30+70	84	81	90	93	18.2 a	16.5 a	15.3 a	13.7 ab
被覆尿素70	92	93	80	—	16.0 a	15.9 a	14.4 a	—
硫安+被覆尿素70	72	50	88	—	18.2 a	14.9 a	12.2 a	—
硫安	—	17	74	50	—	8.1 b	11.9 a	12.5 bc
硫安慣行	99	—	93	96	19.4 a	—	12.9 a	11.7 bc

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。

*播種後14日間の降水量；1995年 52mm, 1996年 6mm, 1997年 108mm, 1998年 64mm.

**基肥+追肥で行った。

表2 デントコーンの由来別窒素吸収量と施肥窒素利用率

施肥処理	肥料由来窒素(kg ha ⁻¹)			土壌由来窒素(kg ha ⁻¹)			施肥窒素利用率(%)		
	1996年	1997年	1998年	1996年	1997年	1998年	1996年	1997年	1998年
不耕起 被覆尿素30+70	75	89	87	105	79	59	50	60	58
硫安	39	76	40	62	97	66	26	51	27
耕起 被覆尿素30+70	68	58	59	105	99	89	45	39	39
硫安	24	34	46	61	108	86	16	23	31
硫安慣行	-	45	41	-	105	95	-	30	27

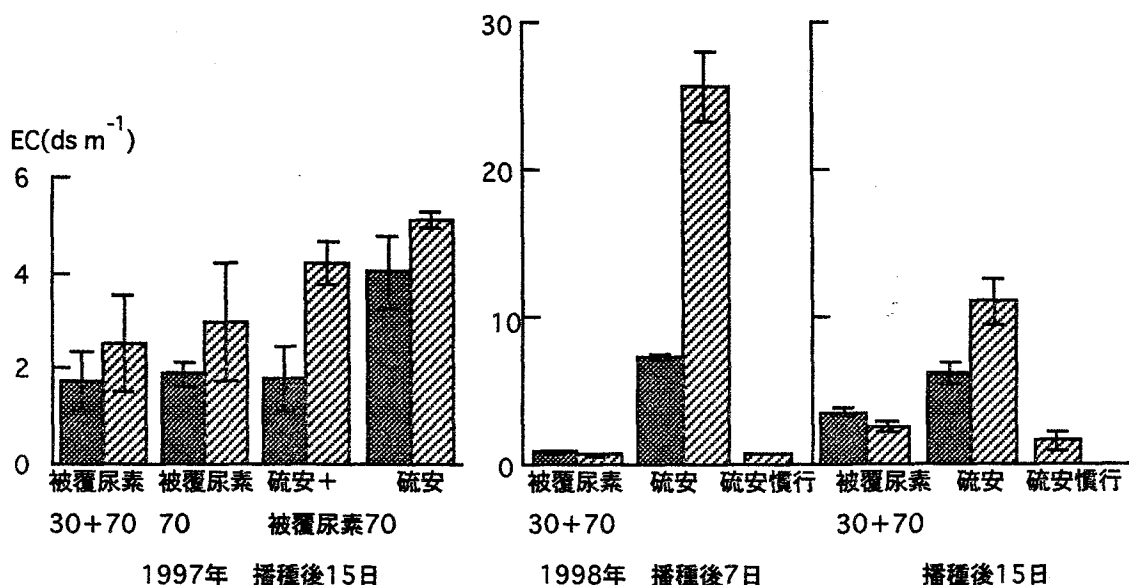


図1 施肥法と施肥位置における土壌溶液の電気伝導度

■ 不耕起 ■ 耕起 図中の垂線は標準誤差を示す。

3 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

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与える影響を耕起栽培と比較しながら検討した。

栽培試験は1998年と1999年に行った。品種は1998年はパイオニア3352 (RM118), 1999年はパイオニア33G26 (RM118) とした。処理としては不耕起区と耕起区に、株間隔 (1/2, 標準) と窒素施用量 (標準, 倍量) を変えた4処理区を設けた。標準の栽植密度は18cm×72cm, 標準の施肥量はha当たり窒素150kg, リン酸150kg, カリウム150kgとした。引き倒し法による倒伏評価は濃沼ら (1998) の方法により行った。

- 1) デントコーンの乾物収量は、栽植密度が高く、窒素施用量が多い区で高くなる傾向が見られた (表3)。
- 2) 1998年の倒伏度合 (表4) をみると、耕起区では台風によりほとんどデントコーンが倒伏したのに対し、不耕起区では倒伏しない個体が多く見られた。また、倒伏の角度を考慮した倒伏度からも、不耕起区では耕起区に比べ台風による倒伏の被害が少なかった。栽植密度を高めると倒伏が増加したが、不耕起区の株間1/2区では耕起区の株間標準区よりも倒伏が少なかった。
- 3) 簡便的な倒伏の評価法である引き倒し法 (表4) によると、不耕起区では耕起区に比べ、やや値が小さく、耐倒伏性が高いことが明らかとなった。

よって、デントコーンの不耕起栽培では耕起栽培よりも耐倒伏性が高く、従来より栽植密度を高め増収を図ることが可能であると考えられる。

表3 デントコーンの乾物収量 (Mg ha⁻¹)

株間隔	窒素量	1998年		1999年	
		不耕起	耕起	不耕起	耕起
標準	標準	13.6	13.4	15.4	14.8
標準	倍量	15.8	15.3	16.5	14.7
1/2	標準	18.1	19.2	19.9	15.5
1/2	倍量	21.5	18.8	22.4	19.2

表4 収穫期におけるデントコーンの倒伏度合 (1998年) と引き倒し法評価値 (1998年, 1999年)

株間隔	窒素量	倒伏度合 (%)						引き倒し法評価値	
		0°	0° ~ 30°	30° ~ 60°	60° ~ 90°	倒伏度**		1998年	1999年
不耕起	標準	標準	23	52	23	2	104	9.3	12.6
	標準	倍量	40	38	18	4	86	7.8	12.9
	1/2	標準	18	27	52	3	140	13.9	29.0
	1/2	倍量	13	39	44	4	139	12.4	22.5
耕起	標準	標準	2	9	89	0	187	10.8	14.1
	標準	倍量	2	37	61	0	159	8.9	16.0
	1/2	標準	0	13	85	2	189	13.7	30.9
	1/2	倍量	2	28	68	1	167	12.0	25.3

*1999年は倒伏が見られず、全て0°であった。

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

4 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

本章では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することにより明らかにした。さらに不耕起栽培の乾物収量が耕起栽培と同等もしくはそれ以上を示す原因について、土壌の養分供給能とデントコーンの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。

土壌の物理性（三相分布、土壌水分張力、土壌硬度）、化学性（全窒素、可給態窒素、可給態リン酸、交換性塩基）、デントコーンの根量および根活性について検討した。根活性はデントコーンの出穂期に重窒素ラベル硝酸態窒素を表層もしくは下層に注入し、5日間で吸収された窒素量により評価した。

1) 不耕起土壌の0-5cm, 5-15cmでは、耕起土壌に比べ、液相率が高く、気相率が低かった（図2）。また土壌水分張力は不耕起区の5cm, 10cmでは耕起区に比べ低く推移し（図3）、土壌水分の供給に有利である事が示された。

2) 不耕起区の土壌の化学性は、耕起区に比べデントコーンの収量に影響するほど有意な違いは認められなかった。

3) 不耕起区のデントコーンの根系は、耕起区に比べ、表層0-5cmに多くなる傾向が見られたが、逆に5-15cm, 15-30cmでは少なくなり、下層45-60cmでは変わらなかった（図4）。

4) 不耕起区のデントコーンの根の養水分吸収能は不耕起区で高い傾向にあり、特に表層では、窒素吸収速度からみて1.5~2.0倍も高かった（図5）。

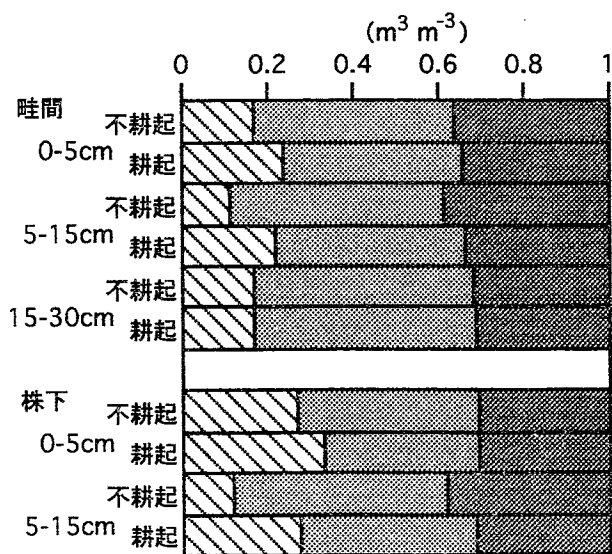


図2 三相分布の比較 (1995年)

斜線 気相 点線 液相 黒色 固相

マトリックポテンシャル (−kPa)

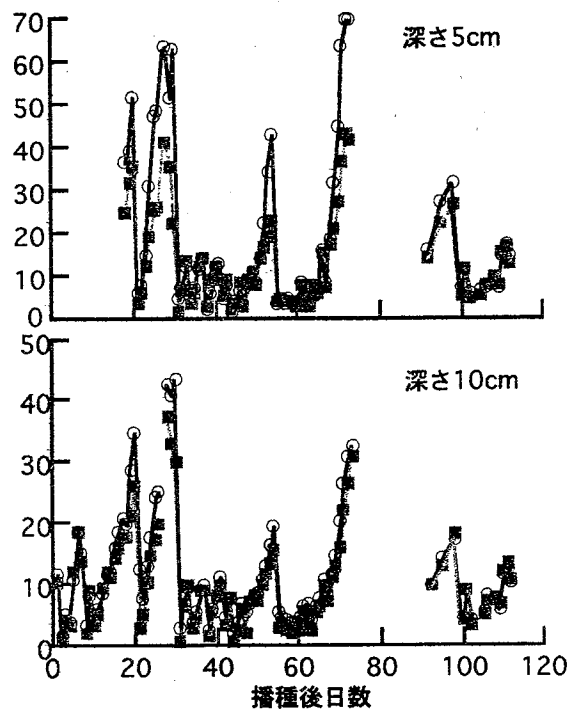


図3 土壌水分張力の推移 (1999年)

■, 不耕起; ○, 耕起.

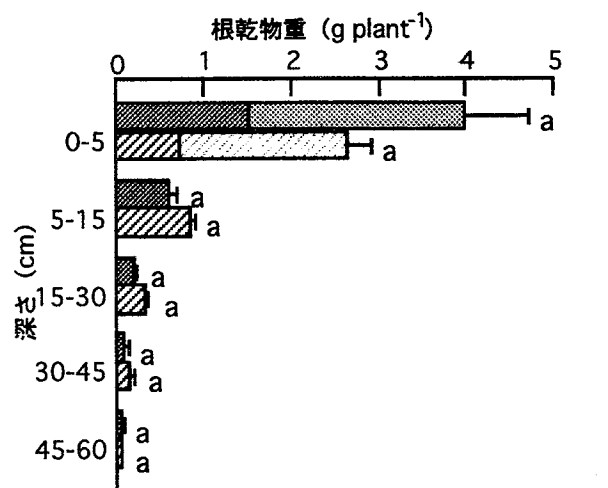


図4 収穫期における深さ別根乾物重 (1999年)

黒色 不耕起 斜線 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示す.

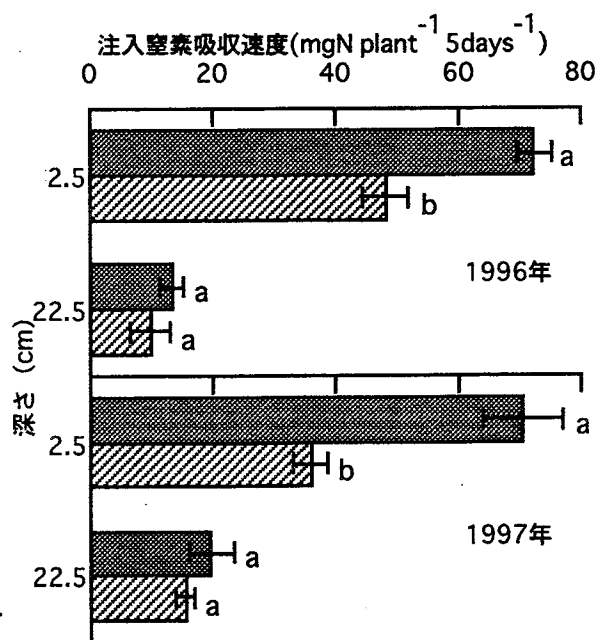


図5 出穂期における注入窒素の吸収速度

黒色 不耕起 斜線 耕起. 図中の水平線は標準誤差を示す. 異なる記号は5%水準で有意差があることを示す.

よって、不耕起栽培では表層の養分吸収に優れ、肥料および土壌養分を効率良く吸収することにより、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推定された。また、湿潤気候下でも、土壌水分が乾物生産に大きく関係することが示された。

4 全量基肥・接触施肥法を活用した雑草防除法の改善

本章では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を低下させずに除草剤の施用量を削減することが可能か否かについて検討した。

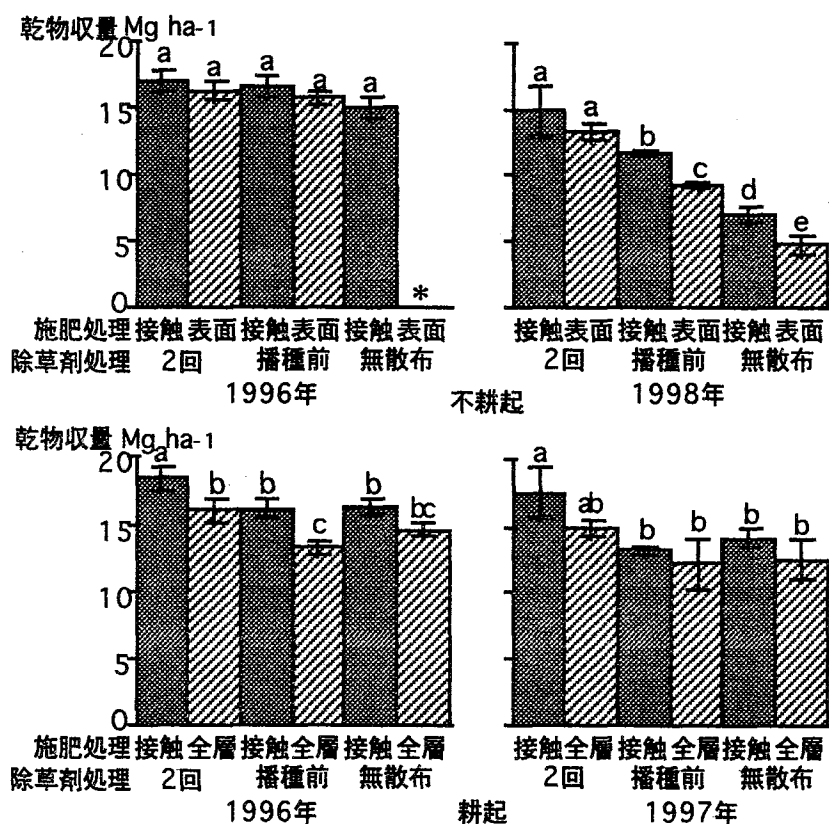


図6 デントコーンの乾物収量

*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。

(1) 除草剤処理回数の比較

栽培試験は1996年～1998年に行った。不耕起区、耕起区それぞれに除草剤処理として、播種前+播種後の2回散布区、播種前のみの播種前散布区および

無散布区を設け、それぞれに施肥処理として肥効調節型肥料の接触施肥区，速効性肥料の表面施肥区もしくは全層施肥区を組み合わせた。栽植密度は18cm×72cm，施肥量はha当たり窒素150kg，リン酸150kg，カリウム150kgとした。雑草は畦（株中心の20cm）と畦間に分けて採取した。

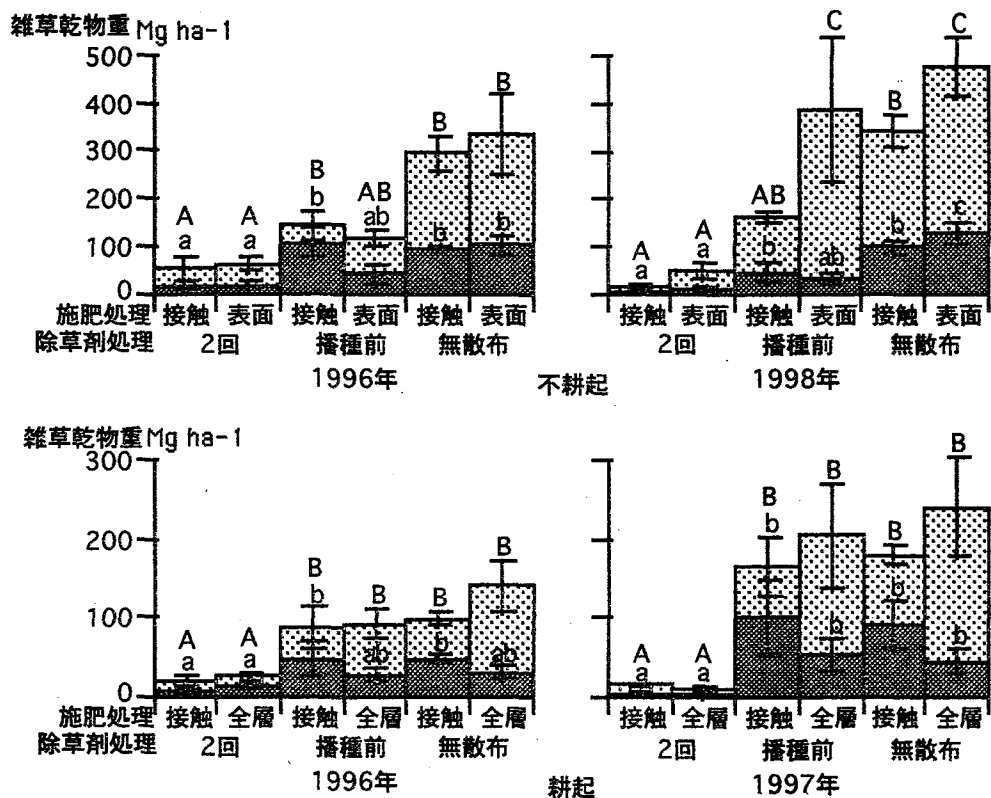


図7 収穫期における雑草の乾物重

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。

- 1) デントコーンの乾物収量（図6）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かった。施肥処理で比較すると，接触施肥区の乾物収量は表面施肥区あるいは全層施肥区より高い傾向が見られた。
- 2) 収穫期における雑草の乾物重（図7）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少なかった。播種前散布区では，接触施肥区で表面施肥区に比べ，畦の雑草量が多くなるものの畦間で少なくなり，全体の雑草量が減少する傾向が見られた。
- 3) 除草剤散布回数を減らすと，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減少した。また，接触施肥区では表面施肥区あるいは全層施肥区

に比べ、畦での雑草による養分吸収量が増加したが、畦間での雑草の養分吸収量が少ないことから全体としては雑草の養分吸収量が少なかった。

よって、接触施肥区では除草剤処理回数を減らすと表面施肥区あるいは全層施肥区に比べ、畦の養分吸収量が増加し、畦の雑草量が増加した。そこで、畦の雑草を防除すれば、雑草との競合を少なくすることにより、デントコーンの収量が増加する事が推定された。

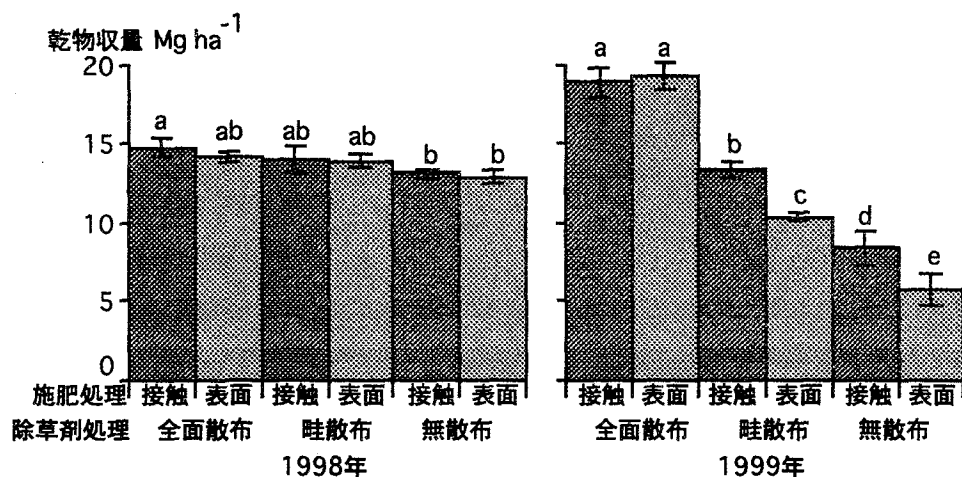


図8 デントコーンの不耕起栽培における施肥法および除草剤散布法と乾物収量
図中の垂線は標準誤差を、異なる記号は5%水準で有意差があることを示す。

(2) 除草剤畦散布の効果

栽培試験は1998年と1999年に不耕起栽培で行った。除草剤処理として、播種前はすべての処理区で統一して散布し、播種後の除草剤処理として全面散布、畦散布、無散布を設けた。さらに施肥処理として、肥効調節型肥料の接触施肥区と速効性肥料の表面施肥区を組み合わせ、6処理区とした。なお畦施用の散布幅は20cmとした。

1) デントコーンの乾物収量（図8）は、除草剤全面散布区に比べ無散布区では著しく減少したが、畦散布区では無散布区よりも乾物収量が増加した。施肥処理で比較すると、接触施肥区の乾物収量は表面施肥区に比べて同等かそれ以上であった。

2) 収穫期における雑草の乾物重（図9）は、除草剤全面散布区に比べ無散布区で大幅に増加したが、畦散布区では畦の雑草が減少することにより、全体の雑草も減少する傾向が見られた。除草剤無散布区の接触施肥区では表面施肥区に比べ畦の雑草が増加したが、除草剤畦散布により畦の雑草量が全面散布なみに減少した。

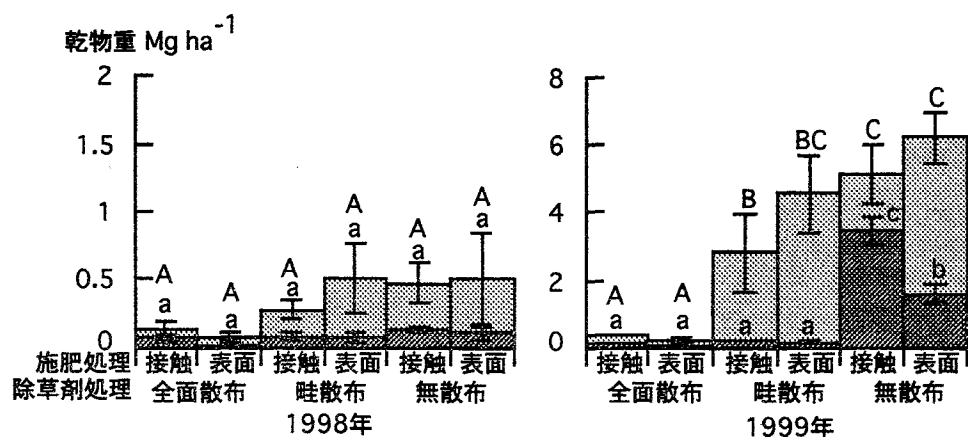


図9 収穫期における畦および全体の雑草乾物重（不耕起）

■ 畦 ■ 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.

3) 収穫期における除草剤無散布区の雑草の養分吸収量は，全面散布区に比べ増加した（表6）. 除草剤畦散布は，畦の雑草による養分吸収を減少し，デントコーンの養分吸収量が増加した（表5）. また接触施肥区では表面施肥区に比べ，デントコーンの養分吸収量が高かった.

表5 収穫期におけるデントコーンの養分吸収量 (kg ha⁻¹)

除草剤処理	施肥処理	1998年			1999年		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
全面散布	接触	154 a	87 a	205 a	184 a	94 a	199 a
全面散布	表面	148 a	69 b	183 ab	171 a	83 b	176 b
畦散布	接触	140 ab	85 a	184 b	119 b	72 b	117 c
畦散布	表面	136 ab	69 b	175 b	84 c	48 cd	92 d
無散布	接触	126 b	76 ab	154 c	67 d	54 c	71 e
無散布	表面	129 b	72 b	159 bc	49 e	39 d	43 f

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す.

表6 収穫期における畦および全体の雑草による養分吸収量 (kg ha⁻¹)

除草剤	施肥	1998年						1999年					
		N		P ₂ O ₅		K ₂ O		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		畦	全体	畦	全体	畦	全体	畦	全体	畦	全体	畦	全体
全面散布	接触	1.5 a	2.9 A	0.6 a	1.2 A	3.3 a	6.0 A	3.4 a	7.5 A	1.6 a	3.5 A	5.2 a	12 A
全面散布	表面	0.4 a	1.5 A	0.2 a	0.8 A	0.8 a	3.4 A	1.1 a	3.7 A	0.6 a	2.0 A	2.5 a	8.1 A
畦散布	接触	1.8 a	6.1 A	0.9 a	2.7 A	4.0 a	12 A	4.3 a	36 B	2.1 a	18 B	8.1 a	73 B
畦散布	表面	1.2 a	8.5 A	0.6 a	3.3 A	2.4 a	13 A	2.7 a	45 BC	1.7 a	20 B	7.0 a	108 B
無散布	接触	2.8 a	9.5 A	1.1 a	3.6 A	4.1 a	14 A	36 c	53 C	18 c	26 B	66 c	91 B
無散布	表面	1.8 a	7.4 A	0.9 a	3.2 A	3.6 a	15 A	16 b	59 C	7.5 b	28 B	36 b	115 B

異なる記号は5%水準で有意差があることを示す.

以上より、除草剤を使用しないと、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って、雑草との養分競合を抑制し、デントコーンの養分吸収量を高める事が明らかとなった。

以上を総合すると、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。

論文審査結果要旨

世界的な人口増加と環境破壊の進行を背景として、今日の作物生産システムには、高収量性のみならず、持続的であることや環境に負荷を与えないことが求められている。主要穀物の一つであるデントコーンの不耕起栽培は、耕耘作業を行わない省力・省エネルギー的栽培法であり、土壌侵食防止効果が高く、持続的農法として注目されている。不耕起栽培によるデントコーンの収量は、耕起栽培によるものと同等かそれ以上である例が多く報告されている。しかし、高収量性の原因を総合的に解析した例はなく、わが国のような湿潤気候下での研究例も少なく、収量も不安定である。また、不耕起栽培では肥料の施用法と雑草防除に難点があり、生産性向上と環境保全を調和するうえで重大な問題となっている。本研究は、肥効調節型被覆肥料を用いて、全量基肥・接触施肥によるデントコーンの不耕起栽培法を確立し、その安定した高収量性のメカニズムを明らかにし、さらに施肥法との組合せによる省農薬・雑草防除法を開発したものである。

種子の出芽率と収穫期の倒伏はデントコーンの収量に重大な影響を与える。全量基肥・接触施肥法による不耕起栽培における出芽率は、速効性肥料の硫酸を用いた場合は変動が大きいものに対して、肥効調節型肥料では気象条件に関わらず安定して大きいことを圃場条件で明らかにした。収穫時期の台風によるデントコーンの倒伏程度は、耕起栽培に比較して不耕起栽培で大幅に低下すること、その原因は不耕起土壌の作物支持力が高いことであることを明らかにした。デントコーンの乾物収量は、肥効調節型肥料を用いた不耕起栽培では、速効性肥料を用いた慣行施肥体系の耕起栽培に比較して高いことを4カ年の栽培試験によって明らかにした。さらに肥効調節型肥料を用いた不耕起栽培では、気象条件に関わらず施肥窒素利用率が上記2系列より高く、窒素肥料による環境負荷を軽減する効果が高いことを明らかにした。

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における高収量性のメカニズムは、土壌の水分供給能が不耕起で耕起よりも高いこと、不耕起土壌は硬くなるにも関わらず、根の養分吸収能は耕起栽培に比較して不耕起栽培で表層土で大幅に高く、下層土でも同等であること、さらに不耕起土壌の水分供給とリン酸肥料の肥効が高いことによるデントコーンの初期生育の促進、であることを明らかにした。

肥効調節型肥料の全量基肥・接触施肥法が作物に効率良く養分供給を行うことを利用して、畦のみに除草剤を散布することによって、除草剤使用量を28%に低下させながら不耕起栽培におけるデントコーンの乾物収量の低下を軽減することが可能であることを2カ年の圃場試験によって明らかにした。

以上のように、本研究は黒ボク土における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土壌保全効果に加えて環境負荷軽減、省力・省エネルギー性、安定した高収量性を兼ね備えた作物生産システムであることを明らかにしたものである。これは我が国の畑作農業の発展に大きく貢献するものであり、審査員一同は博士(農学)の学位に値するものと判定した。