

牛糞堆肥の施用がメロンの生育, 収量, 品質と 培養土の理化学的性質に及ぼす影響

大前加陽子・福留紘二¹・遠城道雄¹・林 満
(熱帯作物学研究室・¹附属農場)

平成14年8月9日 受理

Effects of Application of Cattle Compost on the Yield, Quality and the Soil Property in Melon (*Cucumis melo* L.) Cultivation

Kayoko OMAE, Koji FUKUDOME¹, Michio ONJO¹ and Mitsuru HAYASHI
(Laboratory of Tropical Crop Science, ¹Experimental Farm)

キーワード: 化学肥料, 牛糞堆肥, ビタミンC, 無機化窒素, メロン

緒 言

わが国では, 家畜糞尿の総排出量が年々増加し続けている³⁾. これらのうち, 堆肥として農地に還元されるものはごく一部で, 大部分は野積みで放置あるいは投棄され, 水質汚濁, 地下水汚染, 悪臭など様々な環境問題を引き起こしている⁸⁾. これらの問題を解決するためには, 家畜糞尿を堆肥として農業場面に利用・還元することが, 資源循環や環境保全の面からも最良かつ重要である. わが国で排泄されている家畜糞尿中の窒素成分総量は1997年には約68万トン³⁾と試算されており, それを作物の栽培に利用することができれば, わが国のような資源小国においては極めて有用な資源となる. そのためには, 堆肥の利用技術を確認することが必要である. 堆肥を施用して作物栽培を行う研究は多い^{1), 11), 12), 22)}が, ほとんどの場合, 土壌の物理・化学性の改善を主目的として化学肥料に併用されている²³⁾. しかし, 堆肥を作物に使用する場合, 含まれる成分やその割合および対象作物などによって施用量を考慮する必要がある.

本研究では, メロン栽培に対して牛糞堆肥利用の可能性について検討した. なお, 著者らのこれまでの研究¹⁸⁾で, 牛糞堆肥を用いてメロン栽培を行なった場合, 化学肥料を用いた場合と同等の収量が得られ, しかも果実のビタミンC含量が高くなるなど品質が向上し, 化学肥料の代替として十分に利用できる可能性が示唆された. そこで本研究では, 牛糞堆

肥の施用が年間を通してメロンの生育, 収量, 品質, 土壌の化学性および物理性に与える影響について詳細に調査するとともに, 牛糞堆肥の肥効特性の解明, さらにその特性とメロンの生育との関連などについて検討を行った.

なお, 本研究は, 鹿児島大学が平成9年度より行っている全学合同プロジェクト「大地, 食, 人間の健康を保全する環境革命への試行」の一環として行われたものである.

材料および方法

1. 栽培方法

実験には鹿児島大学農学部附属農場入来牧場において約10ヶ月間発酵させた牛糞堆肥を供試した. 栽培実験は同附属農場指宿植物試験場ガラス温室内の隔離ベッド(幅0.8m×深さ25cm×長さ19.2m)栽培の春作, 夏作および秋作のメロンを用いて行った. 試験区は牛糞堆肥全量区(以下, 堆肥区), 牛糞堆肥を堆肥区の半量施用した区(以下, 堆肥半量区)および化学肥料区(以下, 化学区)の3区を設けた. 施肥はいずれの処理区も1作期毎にメロン1株当たり窒素, リン酸, カリウムがそれぞれ11g, 11g, 14gとなるようにした. すなわち, 各作期とも施用前に牛糞堆肥に含まれる窒素, リン酸, カリウムの量を測定し, 堆肥区は牛糞堆肥の窒素含量を基準にその施用量を決定し, 不足分を溶成リン肥, 塩化カリウムで補った. 堆肥半量区, 化学区は尿素, 溶成

リン肥及び塩化カリウムを加用して3成分量を堆肥区と同一とした。堆肥および化学肥料は定植1週間前に全層に混合施用した。なお、栽培用土の粒度組成はレキ分24.5%、砂分47.2%、シルト分15.4%、粘土分12.0%であり、砂質ロームに分類された。

栽培試験は、1列の隔離ベッドを3等分して3処理区を設け、処理は2反復で行った。各処理区の各反復に29株ずつを定植し、秋作（8月～11月）、春作（12月～3月）および夏作（3月～7月）を同一試験区で3連作した。

秋作は品種‘アールスメイト秋冬1号’（ヤエ交配）を用い、1999年8月20日に播種、8月25日に鉢上げ、9月3日に定植した。春作は品種‘アールスメイト春1号’（ヤエ交配）を用い、1999年12月1日に播種、12月6日に鉢上げ、12月19日に定植した。夏作は品種‘アールスメイト夏2号’（ヤエ交配）を用い、2000年3月31日に播種、4月4日に鉢上げ、4月13日に定植した。3作ともに交配後約60日で果実を収穫した。

2. 土壌の理化学性

定植直前から定植1ヶ月後までは1週間ごとに、それ以降は2週間ごとに培養土を採取しpH、硝酸態窒素、アンモニア態窒素、置換性カリウム、有効態リン酸含量を調査した。硝酸態窒素はカタルド法、アンモニア態窒素はインドフェノール法で、他については多項目迅速水質・土壌・食品分析計（DR/4000型、アメリカ、HACH社製）を用いて測定した。無機態窒素は硝酸態窒素とアンモニア態窒素の和とした。夏作については土壌の三相構造、団粒化度、有機質含量も調査した。三相構造は比重試験を、団粒化度については耐水性団粒の粒度分析法を用いて求めた。有機質含量については酸化滴定法により腐植含量を強熱減量法（電気マッフル炉、800℃、3時間）により全炭素含量を測定した。また夏作の栽培期間中は土壌水分計（TDR土壌水分計、中村理工工業株式会社製）を用いてベッドの深さ15cmの土壌中の水分を毎週測定した。

3. 生育、収量および品質

収穫時に果実重、葉生重、葉数、葉面積、茎生重を各区5株ずつ測定した。葉と茎は80℃の通風乾燥機で3日間乾燥させ、乾物重の測定も行った。また、果実と葉については同様に乾燥させた後ダイジェスタール分解法で分解し、多項目迅速水質・土壌・食

品分析計を用いて全窒素、リン酸、カリウムの含有量を測定した。

果実についてはデジタル糖度計（アタゴ社製）で糖度（Brix）を、そしてビタミンC計（東亜電波工業株式会社製、TOAVC-100）を用いて還元型ビタミンC含量を測定した。また夏作については収穫後3日、6日、9日目のメロン果汁中のショ糖、ブドウ糖及び果糖の含有量を高速液体クロマトグラフィー（島津製作所製、LC-6A型）で分析した。高速液体クロマトグラフィーのカラムはShimpack SCR-101C（7.9mm×300mm）で、カラム温度は80℃とし、示差屈折検出器を用いて定量した。

4. 土壌培養による無機化窒素量

牛糞堆肥と化学肥料の窒素発現を比較するため、無機化窒素量を経時的に測定した。実験は、100mlガラスビーカーに本試験に用いた培養土を10g入れ、窒素含量が栽培試験と同一条件（62mg N/100g乾土）になるよう堆肥区には牛糞堆肥を、化学区には尿素を添加し、25℃と30℃の人工気象器内で飽和含水量の60%の水分を維持しながら、経時的に取り出して、土壌中から無機化してくる硝酸態窒素およびアンモニア態窒素量を213日間測定した。蒸発による水分減少を防ぐために容器の口をポリエチレンフィルムで覆い、フィルムは輪ゴムで固定した。1週間に1回、重量を測定し、減少分の水分を補給し攪拌した。硝酸態窒素はカタルド法、アンモニア態窒素はインドフェノール法で測定した。無機化窒素量は硝酸態窒素量とアンモニア態窒素量の和とした。またこの土壌培養実験の結果から、金野ら¹³⁾の手法に基づいて窒素無機化モデルの作成を行った。各処理区モデルのパラメータ値は実測値と予測値の標準誤差が最小となるよう総当たり法により求めた。

結 果

1. 生育期の気象概況

Table 1に栽培期間中の日照時間と気温および地温を示した。なお、生育期間の分け方は籠橋ら⁴⁾により、植え付けから交配までを栄養成長期、交配から交配後15日までを果実肥大期、交配後15日以降収穫期までを果実成熟期とした。秋作では他作期に比べて栄養成長期の日照時間が78.5時間と少なかったが、果実肥大期、果実成熟期と生育後半になるに従って日照時間が多くなった。春作では栄養成長期およ

び果実成熟期の日照時間は他作期と比べて同等またはそれ以上の値を示したが、果実肥大期においては77.3時間と少なかった。夏作では栄養生長期、果実肥大期は他作期に比べて日照時間が多かったが、果実成熟期では169.7時間と比較的少なかった。また春作の気温および地温は、全ての生育期において常に他作期より低い値を示した。

2. 土壌の理化学的性質

供試した牛糞堆肥の作期別の窒素含量とカリウム含量は、3作期を通じてそれぞれ1.78~1.93%、1.54~1.92%の範囲でほぼ一定であったが、リン酸含量は秋作時が1.13%であったのに対し、春作、夏作時にはそれぞれ2.69%、2.58%と増加し、時期により差が認められた。

Fig. 1 に栽培土壌のアンモニア態窒素の推移を示した。化学区、堆肥半量区のアンモニア態窒素は全作とも植えつけ直後から増加し、7~24日後で最大

値となった。その後、速やかに減少し、検出できない程度までに減少した。堆肥区ではアンモニア態窒素の発現はほとんど認められず、認められた場合も、ごくわずかであった。アンモニア態窒素量の発生量は化学区が最も多く、堆肥半量区、堆肥区の順であった。

Fig. 2 に栽培土壌の硝酸態窒素の推移を示した。硝酸態窒素は前述したアンモニア態窒素よりやや遅れて発現し、秋作で定植10~30日後、春作で21~35日後、夏作で24~39日後に最大値となり、その後緩やかに減少していった。硝酸態窒素の発現量もアンモニア態窒素と同様に常に化学区が多く、堆肥半量区、堆肥区の順であった。

Fig. 3 に無機態窒素の推移を示した。アンモニア態窒素量と硝酸態窒素量を合計した無機態窒素量は、3作期とも各処理区で植えつけ直後増加し、その後は高い値で推移したが、堆肥区では他の2区よりも低かった。無機態窒素含量は10~39日後から減少し

Table 1. Duration of sunshine and soil temperature during growing period

	Cropping season		Vegetative	Fruit	Fruit
			growth period (before pollination)	growth period (15days after pollination)	maturing period (after fruit set)
*Duration of sunshine	Autumn	Total (h)	78.5	117.7	226.3
		Avg. (h/day)	3.9	5.6	6.1
	Spring	Total (h)	144.8	77.3	271.4
		Avg. (h/day)	4.4	3.9	5.5
	Summer	Total (h)	156.1	121.3	169.7
		Avg. (h/day)	7.1	5.5	3.9
Air temperature	Autumn	Avg. (°C/day)	29.5	27.5	24.7
		(Max, Min) (°C)	(31.6, 27.8)	(29.4, 26.4)	(27.9, 23.3)
	Spring	Avg. (°C/day)	20.2	19.0	20.4
		(Max, Min) (°C)	(23.5, 17.5)	(21.5, 15.2)	(23.1, 17.2)
	Summer	Avg.(°C/day)	24.0	24.4	25.7
		(Max, Min) (°C)	(25.8, 22.4)	(27.6, 21.7)	(28.8, 22.3)
Soil temperature	Autumn	Avg. (°C/day)	27.6	26.1	22.9
		(Max, Min) (°C)	(29.4, 25.7)	(30.3, 23.6)	(26.9, 20.8)
	Spring	Avg. (°C/day)	17.6	16.9	18.1
		(Max, Min) (°C)	(21.8, 14.3)	(19.4, 13.1)	(21.6, 14.0)
	Summer	Avg.(°C/day)	22.4	22.8	23.9
		(Max, Min) (°C)	(25.7, 20.1)	(26.5, 19.9)	(26.8, 20.2)

*The data were taken from Kagoshima weather bureau.

Growing stages were classified according to Kagohashi et al. (1978).

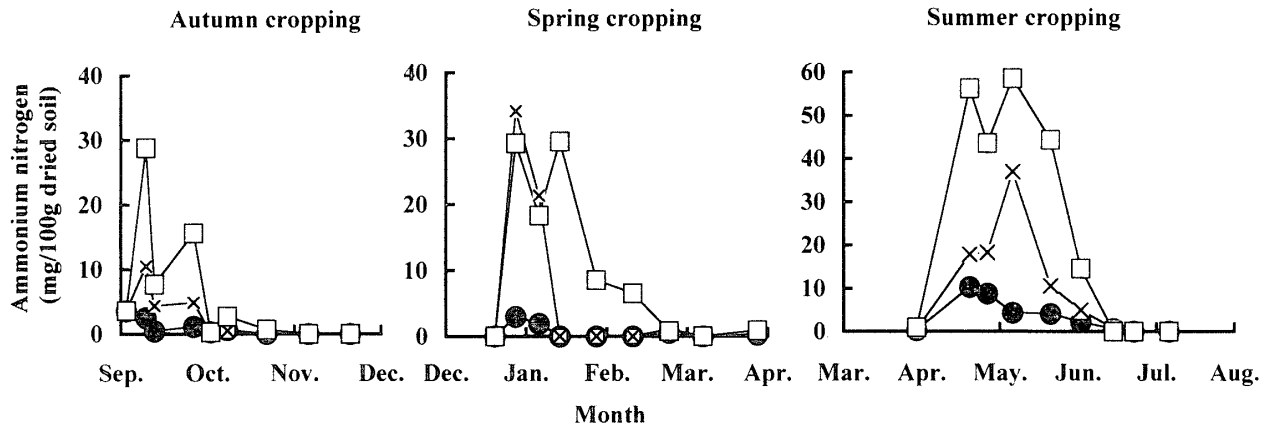


Fig. 1. Changes in soil ammonium nitrogen for different compost levels.

● : Compost, × : Half, □ : Chemical

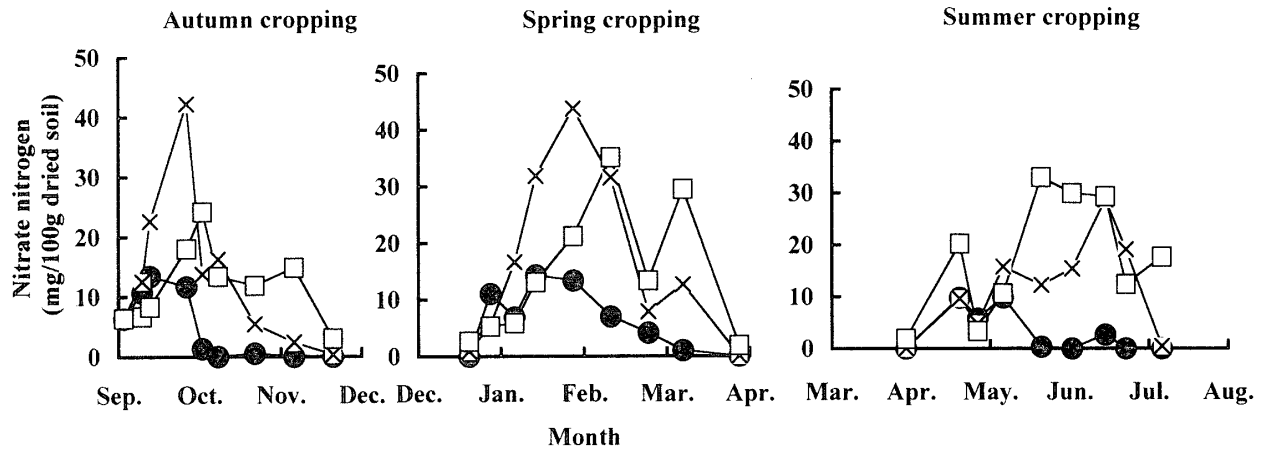


Fig. 2. Changes in soil nitrate nitrogen for different compost levels.

● : Compost, × : Half, □ : Chemical

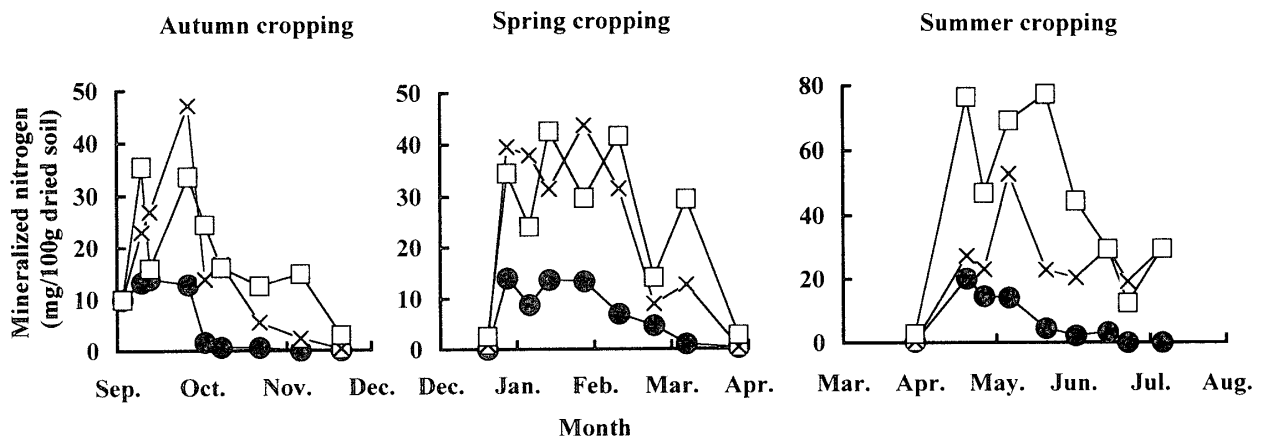


Fig. 3. Changes in soil mineralized nitrogen for different compost levels.

● : Compost, × : Half, □ : Chemical

た。減少開始時期は作期によって異なった。

Fig. 4 に土壌 pH の推移を示した。化学区では3作ともに、施肥後すぐに pH 8 前後までに上がり、

生育の後半は逆に他の2区よりも pH が下がるという傾向が見られた。化学区の pH の変動幅は秋作で 6.4~8.0、春作では 6.6~8.4、そして夏作においては

5.8~7.6であった。堆肥区の pH 変動幅は化学区よりも小さく、それぞれ6.9~7.5, 6.6~7.6, 6.6~7.1であった。

Fig. 5に夏作の土壌水分含量の推移を示した。土壌水分含量は各処理区とも定植後から減少傾向で推移し、定植27日後（果実肥大期）に最少値を示した。その後、化学区では再度水分含量が増加した後低下したのに対して、堆肥半量区および堆肥区は低い水分のまま推移した。土壌水分含量は処理区別にみると化学区が最も多く、半量区、堆肥区の順であった。

夏作の土壌中有機質含量のうち腐植含量と全炭素量による有機質含量を Fig. 6 に示した。土壌中の腐植含量、全炭素量ともに堆肥区が全期間を通して最

も多く、堆肥半量区および化学区は低く推移した。栽培中期（6月5日）の腐植含量も堆肥区が多く、化学区との間に約1.5%程度の差が見られたが、収穫時期（7月8日）になるとその差はほとんど認められなくなった。堆肥半量区と化学区の差はほとんど無かった。

Table 2に夏作の土壌三相構造と土壌孔隙率を示した。生育中期の三相構造は有機質含量と同じように、処理区による違いが認められ、化学区に比べ堆肥区の液相および気相の占める割合が高く、固相の占める割合が低かった。その結果、液相と気相を合計した孔隙率にも差が認められた。それらの差は収穫期にはほとんど認められなくなった。

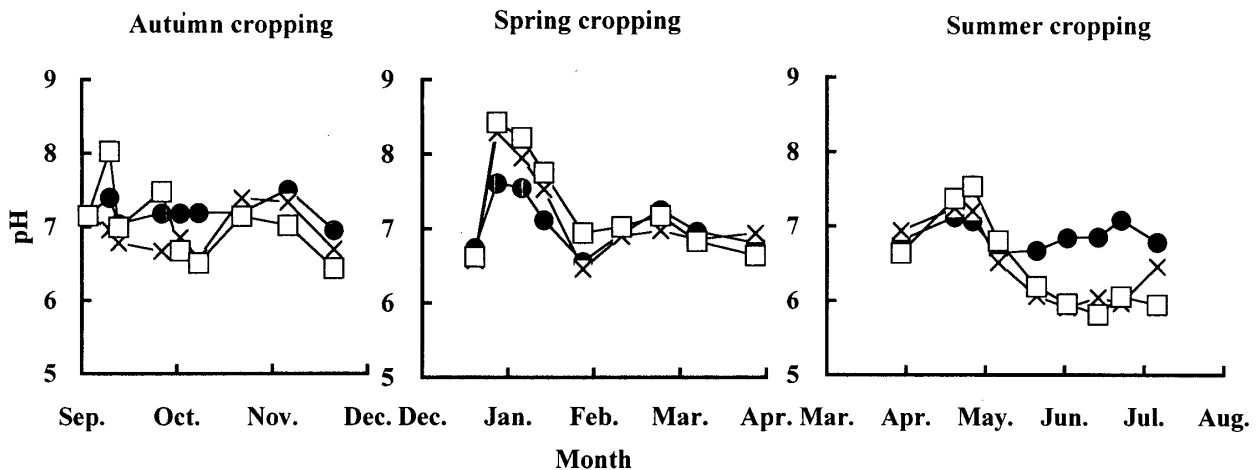


Fig. 4. Changes in soil pH for different compost levels.

● : Compost, × : Half, □ : Chemical

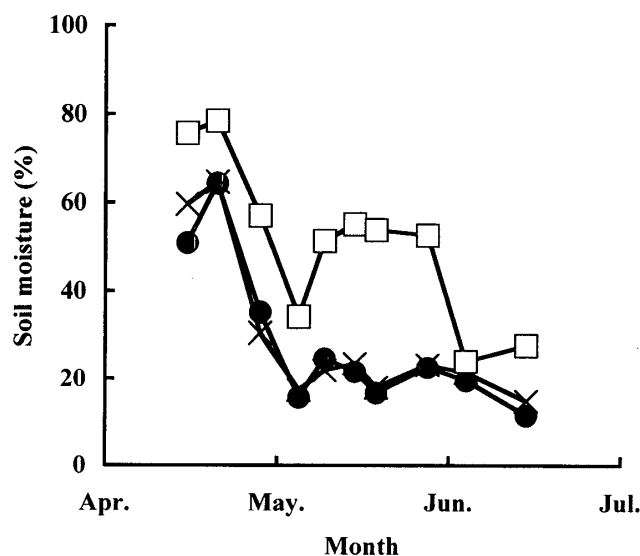


Fig. 5. Changes in soil moisture for different compost levels. (Summer cropping)

● : Compost, × : Half, □ : Chemical

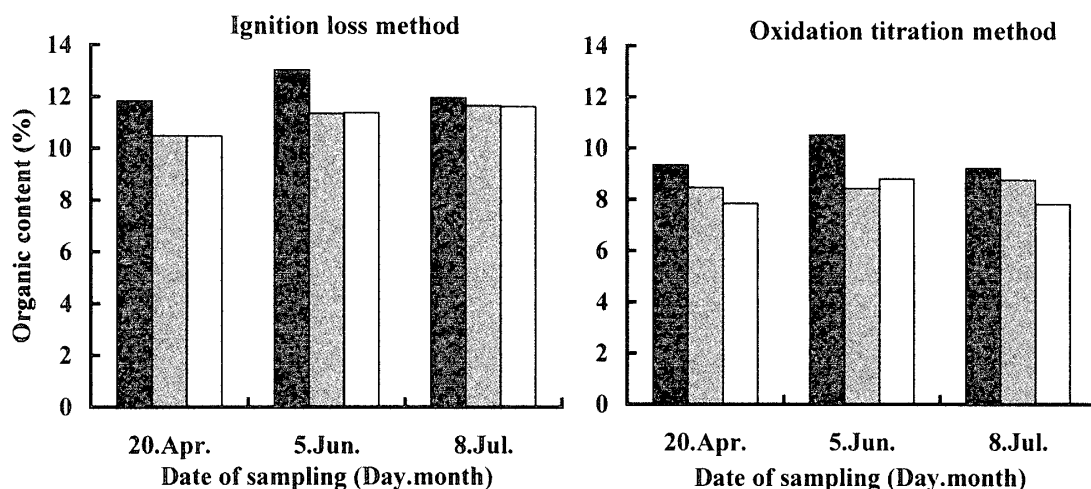


Fig. 6. Organic content of the soil for different compost levels.
(Summer cropping)

■ : Compost, □ : Half, □ : Chemical

Table 2. Three-phase distribution of the soils with different compost levels (Summer cropping)

	Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Gas phase (%)	Soil porosity (%)
Before planting				
Compost*	35.4	13.9	50.7	64.6
Half**	35.6	11.6	52.6	64.2
Chemical***	35.6	13.5	50.9	64.4
Midterm of growth				
Compost	30.7	28.6	40.7	69.3
Half	32.9	24.9	42.2	67.1
Chemical	35.0	28.2	36.8	65.0
Harvesting time				
Compost	33.9	15.3	50.8	66.1
Half	33.8	17.2	49.0	66.2
Chemical	34.9	18.6	46.5	65.1

*Compost means 100% cattle compost application.

**Half means 50% cattle compost and 50% chemical fertilizer application.

***Chemical means 100% chemical fertilizer application.

夏作の団粒化度は、生育中期には全ての粒度とも処理区間に差は認められなかったが、生育前期と後期には2mm粒度を除く全ての粒度で、化学区に比べ堆肥区が高い傾向にあった。

土壌中のリン酸およびカリウム含量は、作期および処理区間による明確な違いが認められなかった(結果省略)。

3. 生育、収量および品質

3作期の収穫時における発育、果実収量の調査結果をTable 3に示した。地上部の生体重(葉と茎の生体重の合計)はいずれの作期においても化学区が

最も重く、堆肥半量区、堆肥区の順であった。乾物重も生重と同じ傾向を示したので、結果は生体重で表した。葉面積は秋作では化学区が堆肥半量区、堆肥区よりも大きく、夏作では化学区は堆肥区よりも有意に大きかった。一葉当たり葉面積をみると、いずれの作期においても化学区が一番大きく、次いで堆肥区、堆肥半量区の順であった。果実重は3作とも処理区間で有意差は認められなかったが、地上部生体重に処理間差があったために、地上部生体重と果実重をあわせた総地上部重に対する果実重には処理区間差が認められ、夏作における果実重の割合は化学区に比べて堆肥区で高くなった。作期別に見る

Table 3. Plant growth and the yield of melon for different compost levels

	Fresh weight of leaves and stem (g)	Total leaf area (cm ²)	Leaf area per a leaf (cm ² /leaf)	Fresh weight of fruit (g)	Fruit weight per top weight**
Autumn cropping					
Compost	649.5±86.8	11066.8±1395.4	503.8±69.4a*	1611.0±169.6	0.71
Half	660.3±66.4	11078.0±1176.3	496.0±60.7a	1582.4±205.0	0.70
Chemical	695.2±94.0	12725.1±1183.9	538.9±59.0b	1564.9±99.1	0.69
Spring cropping					
Compost	562.4±56.7	8043.3±526.0	329.9±20.7	1150.0±67.2	0.67
Half	601.4±75.1	7863.2±956.3	315.1±42.6	1105.6±87.5	0.65
Chemical	644.7±44.7	8456.8±439.0	336.8±29.5	1159.3±37.9	0.64
Summer cropping					
Compost	861.2±81.3	9441.1±664.2a	487.7±68.3	1510.1±160.6	0.64
Half	893.7±124.2	9930.8±733.0ab	469.1±33.3	1480.0±59.1	0.62
Chemical	1017.5±87.9	11370.1±1582.5b	526.4±70.8	1643.5±175.9	0.62

*Different letters indicate significant differences at the 5% level by L.S.D.

**Fresh weight of leaves, stem and fruit.

Table 4. Quality of melon fruits for different compost levels

	Brix (Brix)	Sugar component of the fruit			Vitamin C (mg/100ml)
		Sucrose (%)	Glucose (%)	Fructose (%)	
Autumn cropping					
Compost	14.8±0.9	6.7±2.1	1.9±0.5	1.9±0.5	5.4±3.9
Half	15.0±0.8	6.4±2.0	1.7±0.4	1.8±0.4	3.4±3.5
Chemical	14.7±1.2	6.9±2.2	1.9±0.5	2.0±0.5	3.1±3.9
Spring cropping					
Compost	14.8±0.7b*	6.0±0.7	1.5±0.3	1.4±0.3	4.9±3.1b
Half	13.6±0.6ab	5.8±1.0	1.5±0.1	1.4±0.1	1.1±1.8a
Chemical	13.2±1.2a	5.0±1.0	1.6±0.2	1.5±0.2	0.7±1.1a
Summer cropping					
Compost	14.0±0.4	8.1±1.6	1.8±0.3a	1.5±0.2a	6.2±1.2b
Half	13.9±0.7	10.1±1.7	2.2±0.3b	2.1±0.2b	0.4±0.8a
Chemical	14.5±0.6	10.7±1.5	2.3±0.3b	2.0±0.3b	2.9±2.9a

*Different letters indicate significant differences at the 5% level by L.S.D.

と秋作, 夏作の果実重は1.5kg前後だったのに対し, 春作では1.1kg前後と小さくなった。

葉と果実の窒素含量はいずれも化学区が高く, 堆肥区は低い傾向が認められたが, リン, カリウム含量は処理区による違いは見られなかった(結果省略)。

Table 4に果実の品質調査結果を示した。糖度(Brix)は, 春作では堆肥区が化学区よりも有意に高かったが, 秋作と夏作では差は認められなかった。夏作の糖組成では, 堆肥半量区, 化学区のブドウ糖および果糖含有量が堆肥区よりも有意に高かった。ビタミンC含量は, 全作を通じて堆肥区が最も高く, 化学区, 堆肥半量区はそれより低い傾向が顕著に認

められ, 特に春作と夏作では堆肥区と堆肥半量区および化学区間に有意な差が認められた。

Fig. 7に夏作における収穫3, 6および9日後の果実の品質変化調査の結果を示した。堆肥区では収穫3日後から9日目までブドウ糖と果糖はほとんど変化せず, ショ糖含量は高くなる傾向にあったのに対し, 化学区ではショ糖含量が次第に減少した。堆肥半量区でもショ糖含量は減少する傾向にあった。化学区と堆肥半量区のブドウ糖と果糖含量はほとんど変化しなかった。

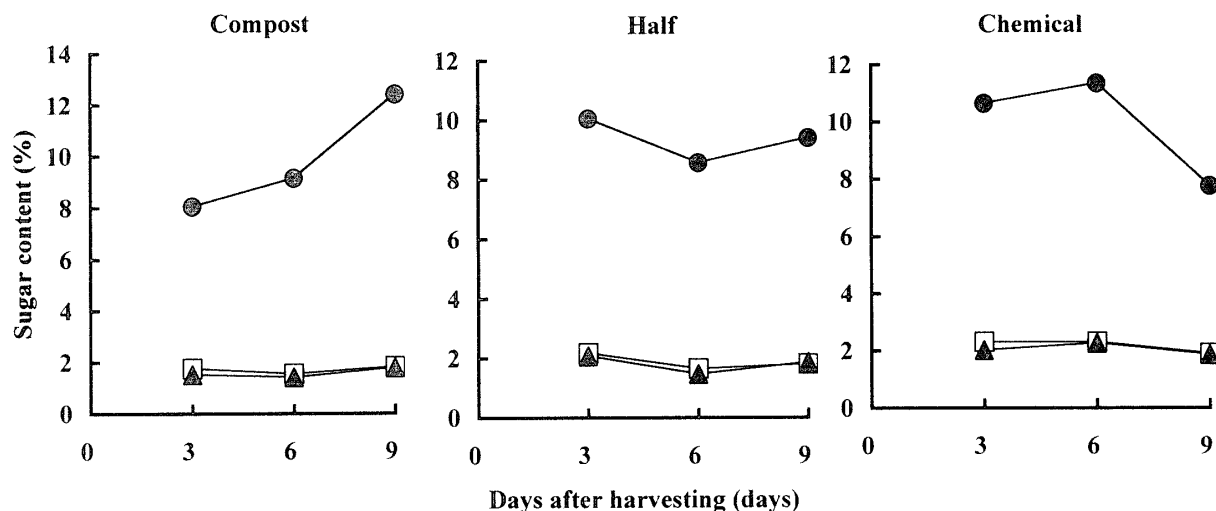


Fig. 7. Sugar component of the fruit for different compost levels. (Summer cropping)

● : Sucrose, □ : Fructose, ▲ : Glucose

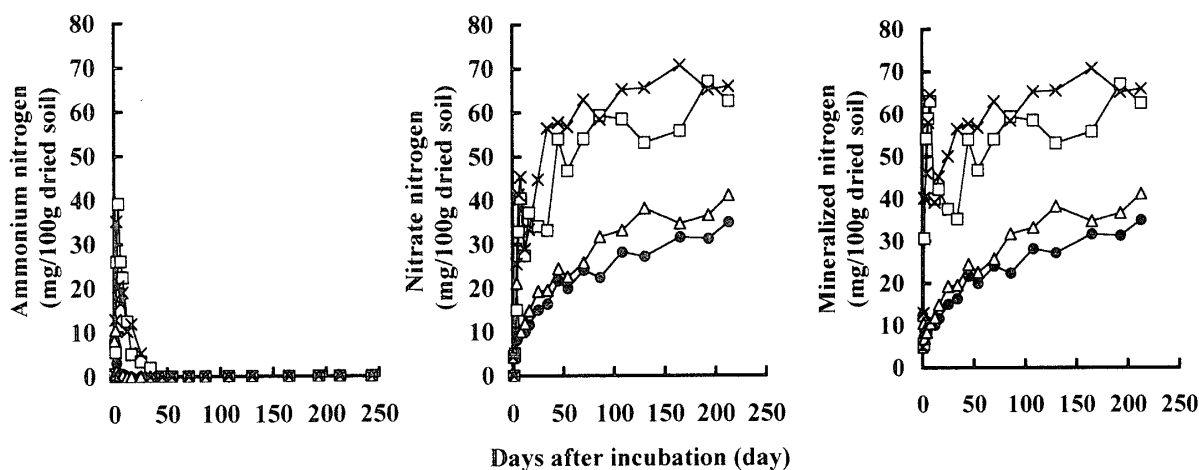


Fig. 8. Changes in ammonium, nitrate and mineralized nitrogen in the soil at 25 and 30°C for compost and chemical fertilizer application plots.

● : Compost 25°C, ▲ : Compost 30°C, □ : Chemical 25°C, × : Chemical 30°C

4. 土壌培養による無機化窒素量

堆肥区と化学区の土壌を室内培養し、温度別の窒素無機化特性について調べた結果を Fig. 8 に示した。アンモニア態窒素は化学区では培養開始直後から発現が始まり、24日後にピークに達した後減少し、34日目以降は検出されなかった。堆肥区ではアンモニア態窒素はほとんど検出されなかった。硝酸態窒素は化学区では培養開始から徐々に発現を始め、25°Cでは45日目、30°Cでは34日目にそれぞれ約55mg/100gとなりほぼ発現が平衡に達した。堆肥区でも徐々に発現し、25°Cでは165日目に、30°Cでは86日目にそれぞれ約31mg/100gとなりほぼ平衡に達した。温度別に見ると両処理区とも25°Cよりも30°Cのほうが発現が早く、平衡に達するのも早かった。

考 察

本研究では、家畜糞尿由来の堆肥が農作物の生育や品質に及ぼす影響について検討するために、メロンに対して牛糞堆肥を施用し、茎葉や果実の発育と果実品質に及ぼす影響について検討した。また、一般に植物の生長は生育土壌の物理・化学性に大きく依存しているために、牛糞堆肥を施用した場合に土壌の物理・化学性に及ぼす影響についても調査した。まず、堆肥施用後の土壌の無機化特性を化学肥料施用と比較しながら明らかにするため、土壌培養実験の結果をもとに無機化モデルの作成を試みた (Fig. 9)。Table 5 に金野ら¹³⁾ の手法に従い、単純型モデル式： $N = N_0 (1 - e^{-kt}) + C$ にあてはめた時の特性値お

よびパラメータ数を考慮したモデルの当てはめの良さを表す AIC 値 (Akaike's Information Criterion) を示した. なお N_0 は可分解性窒素量 (mg/100g), k は 25°C における速度定数 (1/日), E_a は見かけの活性化エネルギー (cal/mol) を示す. 処理区土壤の無機化モデルは化学区の AIC 値が 183, 堆肥区の AIC 値が 214 と両区とも適合度の高い値が得られた. 無機化速度を表わす k 値は化学区の 0.0495 に比べ堆肥区は 0.0115 と小さかった. E_a 値は堆肥区の 4,530 に比べ化学区は 4,040 と小さく化学区の分解抵抗性が堆肥区より小さい値を示した. 推定無機化可能窒素量 N は, 化学区では 61.13mg となり, 堆肥区では 38.77mg となった.

さらに上記のモデル化を用いて日平均地温から窒素無機化シミュレーションを行った (Fig. 10). 化学区では全作期とも, 定植直後から無機化窒素量は急速に増加した. 化学区の無機態窒素発現量シミュレーションのピークと, 実際のハウス内栽培土壤で無機化してきた窒素量のピーク (Fig. 3) はほぼ一致し, ピーク以降, 化学区の累積窒素量の増加割合は減少した. 一方, 堆肥区における窒素の無機化は定植直後からほぼ同じペースで緩やかに増加した.

次に一日あたりの無機化窒素量のシミュレーションを行った (Fig. 11). これは化学区と堆肥区で傾向が大きく異なった. 化学区では定植直後から生育前半の間に大部分が無機化し, それ以降の無機化量は急激に減少したのに対して, 堆肥区では一日当た

りの無機化窒素量が漸次減少するもののその程度は緩やかであり, 生育中期以降でも一定の窒素が発生していた. 特に, 生育後半の一日当たりの無機化窒素量は堆肥区の 0.137mg/100g/day に対し, 化学区では 0.100mg/100g/day で堆肥区の無機化量が化学区を上回るようになった.

一方, 実際の栽培土壤中の無機態窒素発現量も, 化学区では堆肥区と比較して土壤中の窒素の無機化が早く, その量も多かった. また土壤無機化モデルにより得られた無機化可能量を投入総窒素量と比較すると, 化学区では 98.6%, 堆肥区は 64.6% に相当した. 無機化速度を表わす k 値は化学区に比べ堆肥区の方が小さく, 堆肥区の無機化が遅く進行した

Table 5. Characteristics parameters of N-mineralization model of compost and chemical fertilizer

Treatment	Type	N_0	C	k	E	AIC
Compost	Simple type	31.47	7.30	0.0115	4,530	183
Chemical	Simple type	53.50	7.83	0.0495	4,040	214

N_0 : N-mineralization potential (mg/100g dried soil)

C: Intercept of Y axis (mg/100g air dried soil), corresponding to initial level of nitrogen obtained from calculation.

k : Mineralization rate constant (day⁻¹)

E: Apparent activation energy (cal mol⁻¹)

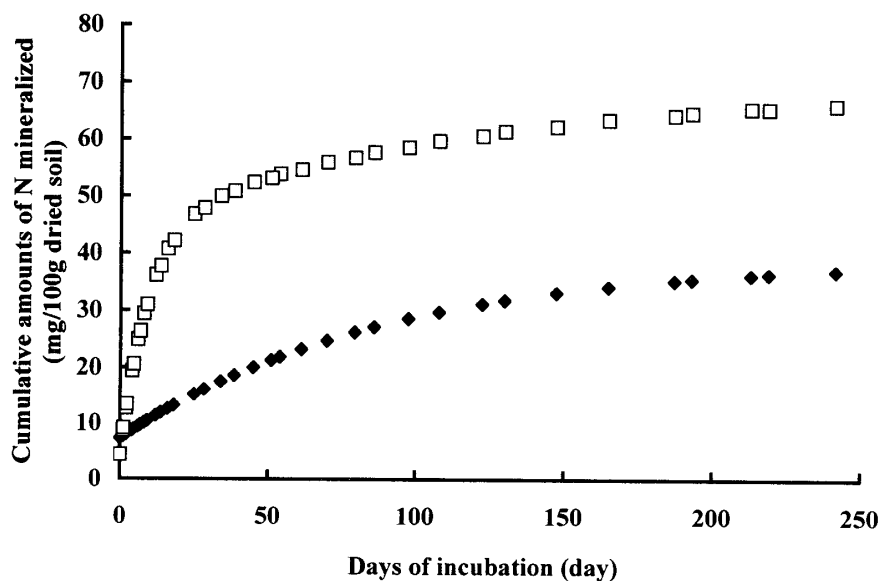


Fig. 9. N-mineralized curve optimized by transformation of time axis, showing that all plots are nearly traced on the estimated curve at 25°C.

■ : Compost, □ : Chemical

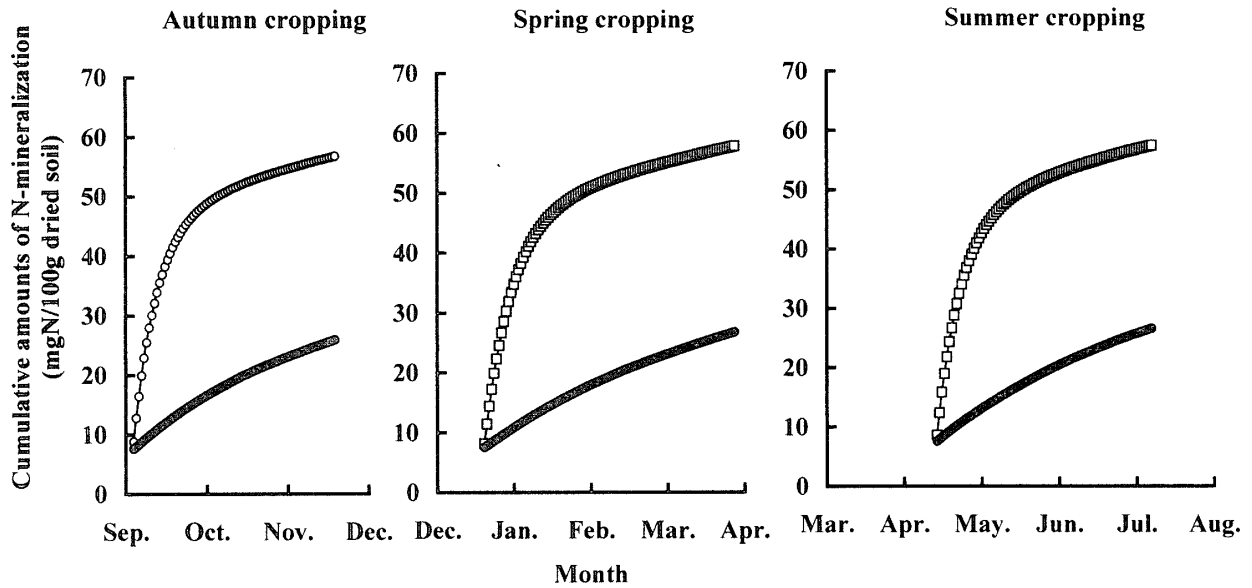


Fig. 10. Simulation of cumulative amounts of N-mineralization in the soil.

● : Compost, □ : Chemical

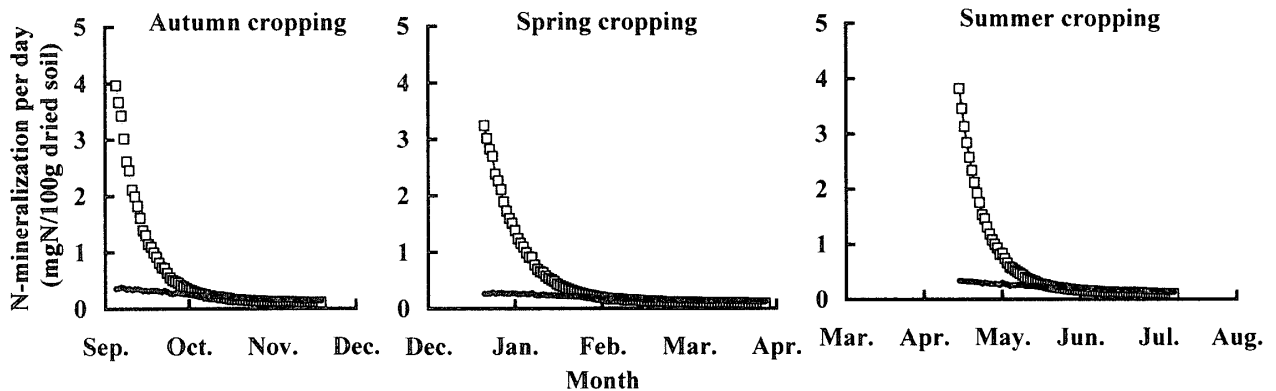


Fig. 11. Simulation of N-mineralization per day in the soil.

● : Compost, □ : Chemical

ことを示している。Ea 値は堆肥区に比べ化学区の方が小さく、化学区の分解抵抗性が堆肥区より低かった。すなわち化学区では施用した窒素量のほとんどが無機化したのに比べ、堆肥区では分解が遅く、施用した窒素量の約6割程度のみが無機化したものと推定された。なおこの結果は栽培土壌中の無機態窒素の発現量の推移とよく符合しており、本シミュレーションは十分に有効であると考えられる。

一般に土壌中の窒素量と植物の生長は関連が強く、植物は土壌中に窒素が豊富にあると葉や茎を旺盛に発達させて急速に生育する²⁾。本実験でも収穫時の生体重、葉面積において、いずれの作期とも化学区が堆肥区を上回っており、土壌中の無機窒素量や茎葉生長量は、顕著に化学区が堆肥区よりも大であった。しかし、堆肥区において化学区と同等の果実収

量が得られたことはたいへん興味深い結果である。この原因については、以下に述べるような、牛糞堆肥の肥効特性、堆肥区の低水分、土壌 pH の安定性などが複合的に作用したためと考えられる。

堆肥の肥効特性について、今回作成した無機化窒素モデルを基にした窒素無機化シミュレーション結果を籠橋ら¹⁾によるメロンの生育分類に従って考察すると、化学区では栄養生長期に総無機化量の80%にあたる49mg/100gの窒素がすでに無機化し、果実肥大期および果実成熟期にはそれぞれ5mg/100g、7mg/100gが無機化したと推定される。一方、堆肥区では栄養生長期に22mg/100g、果実肥大期および果実成熟期ではそれぞれ5mg/100g、12mg/100gの窒素が無機化したと推定され、果実肥大～成熟期においては堆肥区の窒素無機化量は化学区を上回ってい

たとえられる。メロン栽培では、生育初期の窒素過多により草勢が強くなりすぎ、栄養生長から生殖生長への転換が抑制され着果不良の原因となるため窒素は徐々に肥効を表わすものがよく、緩行性肥料を主体に施すべきとされている²⁰⁾。化学区では栄養成長期の窒素放出量が堆肥区よりも多かったことが、株の茎葉の生長を促進したものと考えられる。

土壤水分含量をみると堆肥区は明らかに化学区より低く推移し、土壤有機質含量、団粒化度、孔隙率のいずれも堆肥区が化学区を上回った。これは堆肥を施用したことにより土壤の物理性が変化し、堆肥区の透水性が向上したことによるものと推察される。

土壤 pH は、堆肥区では pH 7 前後とほぼ一定で推移するのに対し、化学区では 3 作とも変動が大きく、施肥後すぐに pH 8 前後までに上がり、後半は逆に施肥前よりも pH が下がるという傾向が見られた。一般的にメロンは pH 6 ~ 8 を好むとされており⁷⁾、堆肥区では好適 pH 範囲内であった。一方、化学区では春作および夏作でそれぞれ上限と下限を超えて pH が変動しており、このことも堆肥区と処理区の生育の違いに影響を及ぼしたものと推定される。土壤 pH とアンモニア態窒素との関係について、川口¹⁰⁾ はハウス栽培では多量の尿素を施用した時などには尿素からのアンモニアの生成により pH は上昇し、次いで硝酸への酸化により逆に pH は低下し、この pH 値の上下の差が 3 を超える場合すらあると報告している。化学区の土壤中のアンモニア態窒素をみると 3 作とも植えつけ直後から増加し、7 ~ 24 日後に最大値となった後、速やかに減少し生育後半にはほとんど認められなくなっており、この化学区における変動幅の大きさは、化学区の尿素由来のアンモニア態窒素に起因すると考えられる。

次にメロンの果実品質についてみると、糖度 (Brix) は秋作、夏作では処理区間で差が認められなかったが、春作で堆肥区が化学区よりも有意に高かった。籠橋ら^{5), 6)} は、メロンの茎葉の窒素と乾物重の増加は交配後 30 日目頃までに終了するが、果実は収穫時まで肥大を続けるため、交配後 30 日目以降に吸収される窒素と光合成産物である炭水化物はほとんど果実にとりこまれ、果実内に無機態窒素が存在すれば炭水化物は無機態窒素のアミノ化に使用されるため糖として蓄積される量が減少すること、アミノ酸はさらに蛋白質や膜などの細胞構造物質を作るために使用され、果肉の質を低下させる原因となる可能性があることを指摘し、糖含量が高く品質

が良いメロンを得るためには交配後 35 日以降から収穫まではほとんど窒素を吸収させないことが望ましいと報告している。本研究では交配後 35 日頃の土壤中無機態窒素が堆肥区で全作とも 0 ~ 5 mg/100g と低い値を示したが、化学区では 12 ~ 29 mg/100g と高い値を示していた。この交配後 35 日以降の窒素量の違いが果実の品質に影響を及ぼしたものと推定される。

果実品質の保存性は蛋白質含量とも関連があるとされ¹⁶⁾、レタスでは蛋白質含量が低い品種ほど保存性が高いという報告²¹⁾がある。一般に、植物体内の蛋白質含量と全窒素含量とは比例関係にあり、蛋白質が一定の割合で窒素を含有していることから、食品中の蛋白質含量は全窒素を定量し、食品別の窒素-蛋白質換算係数を乗じて計算されている¹⁷⁾。本実験では果実の蛋白質含量の分析は行わなかったが、春作、夏作のメロン果実の全窒素含量 (結果省略) は、堆肥区は化学区に比べて低かった。これは前述の土壤無機態窒素量の違いを反映しているものと考えられるが、堆肥区の果実内の蛋白質含量も低いと推察され、このこともメロンの品質が保持された要因のひとつと推定される。

糖含量が果実品質の保存性に及ぼす影響について、レタス、キャベツでは糖含量が高いほど保存性が高いという報告²²⁾がある。メロンの糖組成について、Lingle and Dunlap¹⁴⁾ は、糖の大部分はショ糖であり、果実の成熟とともに単糖類であるブドウ糖、果糖から多糖類であるショ糖が合成されるとしている。そして収穫後は逆にショ糖は呼吸によりブドウ糖、果糖へと分解されていくとしている。夏作の糖組成をみると堆肥区はショ糖、ブドウ糖、果糖の組成比率が変化しなかったがショ糖含量は増加したのに対し、化学区ではショ糖が減少しブドウ糖、果糖の比率が増加した。これらのことから、堆肥区ではメロンの品質が保持されていたが、化学区ではその劣化が始まっていたと推察される。

有機質施用によりビタミン C 含量が高くなること¹⁶⁾や、露地メロンで有機質施用量が増えるとビタミン C および β カロチン含量が増加すること¹⁹⁾が報告されており、加藤ら⁹⁾、中本ら¹⁵⁾も、ハウレンソウでは水分ストレスによりビタミン C 含量が上がると報告し、両者には密接な関係があると推察している。本研究においても、全作期ともビタミン C 含量は堆肥区で化学区より高くなった。このような有機物施用による品質向上のメカニズムについて、森¹⁶⁾

は通常の有機栽培では緩効的な堆肥などを使うため化学肥料による慣行栽培よりも養分量が少なくその放出も緩効的となり、また有機質を施用することで土壌の団粒構造が発達し土壌は安定的で低い水ポテンシャルを保つとしている。そしてこれら低窒素濃度と低水分などの植物体への適度なストレスが収穫物の糖度やビタミン含量を上昇させ、ひいては保存性を高めるのだらうと推測している。本研究でも堆肥施用による窒素発現や土壌の物理性およびそれに伴う土壌水分含量などの変化は森の推測と一致し、さらに糖度、ビタミンC含量や品質保持についても化学区よりも堆肥区のほうが良い結果を示しており、この説を強く支持するものであった。しかし、その他の要因も当然考えられ、今後さらに詳細な検討が必要であらう。

通常化学肥料を主体とした施肥設計は、総窒素量で算出している。これはほとんど全ての窒素が作物の生育期間中に無機化するとみなしているからである。しかし、堆肥を主体して施肥設計を組む場合、総窒素量イコール無機窒素量とはならないことが本研究のモデル実験からも明らかになった。今回のメロン栽培では、堆肥区は化学区の6割程度しか窒素が無機化しなかったにも関わらず、化学区と同等またはそれ以上の収量が得られた。このことから、堆肥を使用する場合にはこれまでのように土壌改良の側面だけでなく、肥料としての役割も考慮し、それぞれの作物にあった施肥設計を組みなおす必要がある。その際、連作による堆肥内肥料成分の蓄積は極力ないほうが望ましく、その点からみても本実験の堆肥施肥設計は、メロン栽培にとって理想的であったものと推察される。

今後、堆肥の肥料としての利用にむけて追肥技術を組み合わせた実用的技術体系の確立、牛糞堆肥以外の堆肥利用、他の作物への応用を含め、さらなる研究の積み重ねが必要である。

摘 要

温室メロンの夏期、秋期、春期栽培において牛糞堆肥の施用が生育、収量、品質と培養土の理化学的性質に及ぼす影響について検討した。

1. 牛糞堆肥の窒素無機化特性は化学肥料に比べ緩効的で、全窒素量の6割程度が栽培期間中に無機化され作物に利用される形態となることが明らかになった。

2. 栽培土壌中の無機態窒素量、茎葉生体重、葉面積は3作とも栽培期間中終始化学区が堆肥区よりも大きかった。しかし、果実重については処理区間差は認められず、収量にも差がなかった。その理由として(1)堆肥の緩効的な肥効特性(2)堆肥施用による土壌物理性変化に伴った低く安定的な土壌水分含量(3)堆肥区の安定的なpHなどが考えられた。

3. 果実の品質については堆肥区のほうが糖度、ビタミンC含量が高く、品質の保存性が高い傾向がみられた。これらの原因は化学区に比べて、堆肥区の低窒素、低水分などに起因するものと推察された。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、果実の分析にご協力いただいた鹿児島大学農学部果樹園芸学研究室 富永茂人教授、同山本雅史助教授、並びに土壌の物理化学性の分析をご指導いただいた同農地工学研究室 若松千秋講師、同植物肥料・栄養学研究室 樗木直也講師、そして土壌培養法とモデル化についてご助言下さいました農林水産省野菜茶業試験場（現在独立行政法人農業技術研究機構野菜茶業研究所）土壌肥料研究室 徳田進一主任研究員に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 浅野次郎：野菜の品質に及ぼす有機物（油粕、パーク堆肥）の影響。農及び園，57，1399-1404（1982）
- 2) 江川友治：植物生育に及ぼすチッ素の影響，土壌・肥料学の基礎。p.284，養賢堂，東京（1981）
- 3) 羽賀清典：畜産廃棄物の特徴，有機質資源化推進会議編，畜産廃棄物・有機物資源化大辞典。p.335-337，東京（1997）
- 4) 籠橋 悟・狩野広美・景山美葵陽：温室メロンの栄養生理に関する研究（第1報）養液栽培における温室メロンの養分吸収の特徴。園学雑，47，203-208（1978）
- 5) 籠橋 悟・狩野広美・景山美葵陽：養分吸収制限が秋作及び春作における温室メロンの生育及び果実に及ぼす影響について。園学雑，50，306-316（1981）
- 6) 籠橋 悟・狩野広美・景山美葵陽：温室メロンの栄養生理に関する研究（第4報）温室メロンの各器官の生育過程と窒素の蓄積について。園学雑，50，317-325（1981）
- 7) 神谷圓一：高品質生産のための栽培の基礎，アールスメロンの高品質生産。p.2-102，誠文堂新光社，東京（1992）
- 8) 金澤晋二郎：家畜糞尿の資源化と緑地還元システムの構築。平成10年度鹿児島大学全学合同研究成果報告書。p.17-28（1998）
- 9) 加藤忠司・青木和彦・山西弘恭：冬期ハウス栽培ほうれんそうのビタミンC、β-カロチン、トコフェロールおよびシュウ酸含有量に対する外気低温の影響。土肥誌，66，563-

- 565 (1995)
- 10) 川口桂三郎：施肥に伴う土壌反応の変化，土壤学概論. p. 79-80, 養賢堂，東京 (1981)
 - 11) 小松鋭太郎・友部弘道・松田 明・石川昌男：野菜栽培における豚ふんの積極的利用 [1]. 農及び園, 51, 1027-1030 (1976)
 - 12) 小松鋭太郎・友部弘道・松田 明・石川昌男：野菜栽培における豚ふんの積極的利用 [2]. 農及び園, 51, 1131-1133 (1976)
 - 13) 金野隆光・杉原進：土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農環研報, 1, 51-68 (1986).
 - 14) Lingle, S.E. and Dunlap, J.R.: Sucrose metabolism in netted muskmelon fruit during development. *Plant Physiology*, 84, 386-389 (1986)
 - 15) 中本洋・黒島学・塩澤耕二：ホウレンソウのシュウ酸，硝酸，ビタミンCに及ぼす遮光，気温，灌水，堆肥施用の影響. 北海道農試集報, 75, 25-30 (1998)
 - 16) 森 敏：食品の質に及ぼす有機物施用の効果，日本土壤肥料学会編，有機物研究の新しい展望. p.86-135, 博友社，東京 (1986)
 - 17) 日本食品化学工業会：蛋白質，新・食品分析法編集委員会編，新・食品分析法. p.30, 光琳，東京 (1996)
 - 18) 遠城道雄・林 満・石畑清武・榊下町鉦敏・佐藤宗治・富永茂人・柳田宏一・佐々木修・中釜明紀・山本雅史・福留紘二：家畜排泄物を主体とする有機質資材利用による環境保全型農業の確立. 平成10年度鹿児島大学全学同研究成果報告書. p.8-12, (1999)
 - 19) 斉藤 進：「有機質肥料の特性解明に関する基礎的研究」, 成績検討会資料, p.2-3, 全農 (1982-1984)
 - 20) 瀬古龍雄：ネット系ハウスメロンの栽培技術，農耕と園芸編集部編，ハウスメロンの栽培と経営. p.72-77, 誠文堂新光社，東京 (1980)
 - 21) 矢野昌充・速水昭彦：結球性野菜の貯蔵性改善に関する研究 1. レタス及びキャベツの貯蔵性と品種，貯蔵温度，施肥条件との関係について. 野菜試報, 4, 77-88 (1978)
 - 22) 吉田 滂：堆肥施用の土壌，農作物への影響 [1]. 農及び園, 72, 437-478 (1997)
 - 23) 吉倉惇一郎：野菜生産における有機質資材の施用効果と土壌生物活性に及ぼす影響. 兵庫農技セ研報, 24, 2-3 (1999)

Summary

Effects of cattle compost (CC) on soil property, plant growth, yield and fruit quality were analyzed and compared with those of chemical fertilizer (CF) in the cultivation of greenhouse melons. Our results confirmed that the mineralization of nitrogen (N) in CC was slower than in CF. Approximately 60% of total N was mineralized in CC during the growing season. Although more vigorous growth of the top parts of plants in CF plots was observed, the yield in fruit weight was the same for CF and CC. Moreover, the quality of fruits judged by Brix, freshness and vitamin C content was higher in the case of CC. Higher quality yield in greenhouse melons using CC might have resulted from a soil property characterized by a slow N mineralizing pattern, low soil moisture stability and soil pH stability.

Key words : chemical fertilizer, cow compost, melon, mineralized nitrogen, vitamin C.