

実エンドウ栽培における太陽熱土壤消毒前全量基肥施用技術の確立 (第2報) 新肥料の開発と有用性の実証

橋本真穂・三宅英伸¹・林恭弘²

和歌山県農業試験場

**Establishment of Single Basal Application Method before Soil Solarization for Pea (*Pisum Sativum* L.) (2)
Development of New Fertilizer and Demonstrated Its Usefulness**

Maho Hashimoto, Hidenobu Miyake¹, and Yasuhiro Hayashi²

Wakayama Agricultural Experiment Station

緒言

和歌山県の特産野菜である実エンドウ栽培では、連作障害と土壤病害の発生を回避するため夏期に太陽熱土壤消毒が行われている。前報において、本県の主要作型である秋まきハウス冬春どりの作型で、土壤消毒効果の安定化、無追肥による施肥労力の軽減をはかるため、微生物分解性の肥効調節型肥料を用いた太陽熱土壤消毒前全量基肥施用について検討したところ、良好な結果が得られた(橋本ら, 2019)。また、懸念された不耕起による土壤硬化とそれにともなう作業性の低下も問題とはならず、本法が現場で活用可能な技術であることが示された。しかし一方で、用いる微生物分解性肥効調節型肥料のさらなる利便性の向上や、実エンドウ栽培施設圃場でしばしばみられる、可給態リン酸や交換性カリウムなどの塩基類の集積に配慮するため、新たな肥料開発の必要性も示された。

そこで本研究では、実エンドウ栽培において太陽熱土壤消毒前全量基肥施用栽培に適した新肥料の開発とその実用性について検討した。

なお本研究の一部は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「太陽熱土壤消毒効果を活用した省エネ・省肥料・親環境栽培体系「陽熱プラス」の確立」(研究期間：2013～2015年)の一環として実施した。

材料および方法

1. 試作肥料の作製

和歌山県の実エンドウ主産地では、前報(橋本ら, 2019)の現地実証試験実施圃場と同様に可給態リン酸や交換性カリウム等塩基類の集積が顕著である。そこで、新肥料開発のコンセプトとして、リン酸およびカリウムについては土壤養分の集積緩和を図るため、必要量、すなわち実エンドウの養分吸収量に相当する量を施肥することとした。前報の圃場試験の実エンドウ吸収量をもとに、窒素については窒素固定による供給も考慮して肥料成分を $N : P_2O_5 : K_2O = 8 : 3 : 7$ とした。また、生産現場では有機配合肥料

¹現在：和歌山県農林水産部農林水産政策局農林水産総務課研究推進室

²現在：和歌山県農業試験場暖地園芸センター

を希望する声が大きかったことから、窒素成分の51.5%相当分をハイパーCDU[®](長期), 48.5%相当分を菜種粕や魚粕を主原料とした有機原料を用いて配合した(以下, 試作肥料)。

1) 圃場試験

和歌山県農業試験場(紀の川市貴志川町高尾160番地)内の実エンドウを5年以上連作したビニルハウスにおいて、実エンドウ‘きしゅうすい’を供試し、栽培試験を実施した。試験区は、窒素施用量を慣行比2割減とし、太陽熱土壌消毒前全量基肥施用とする3試験区と、化成肥料を用いて太陽熱土壌消毒後に基肥を施用し、栽培期間中に3回の追肥を行う慣行区の4区とした(表1)。太陽熱土壌消毒前全量基肥施用を行う3区は、牛ふんオガクズ堆肥1t/10aと試作肥料を用いた牛オガ+試作肥料区、試作肥料のみ用いた試作肥料区、牛ふんオガクズ堆肥1t/10aとハイパーCDU[®](長期)を用いた牛オガ+H-CDU区とした。試験は1区あたり畝幅1m×長さ1mの木枠栽培で、各区6反復とした。2014年8月7日に太陽熱土壌消毒前全量基肥施用の3区において施肥・耕起・作畝を行い、8月8日から9月3日まで全試験区において太陽熱土壌消毒を行った。太陽熱土壌消毒期間中は牛オガ+試作肥料区と慣行区の地表下5, 15, 30cmに自記温度計(おんどとり Jr. RTR-502 T&D社)を設置し地温を測定した。9月5日に慣行区に基肥施用・耕起・作畝を行った。9月26日に株間20cmで1株あたり5粒となるように低温処理した種子を播種した。12月9日, 2015年2月26日および3月27日に、慣行区のみ追肥を施用した。栽培期間中はハウス内最低温度が5℃となるように加温し、また、病害虫防除は適宜行った。

収穫は2015年2月5日から4月20日の間、週に1~2回行い、全重量および上物重量を測定した。

実エンドウの養分含有率については、さやは2015年3月9日、茎葉は2015年4月27日に一部を採取し、60℃で48時間以上乾燥後、微粉碎した試料を供試し、全窒素をCNコーダー法で、全リンを硫酸・硝酸分解・バナドモリブデン酸法で、全カリウムを硫酸・硝酸分解・炎光光度法で測定した。

土壌は、2014年8月6日, 9月4日, 12月9日(追肥施用前), 2015年3月27日, 5月22日に各区の作土層から採取し、風乾後、無機態窒素(アンモニア態窒素+硝酸態窒素)量を10%-KCl抽出・蒸留法で、可給態リン酸量をトルオーグ抽出・モリブデンブルー法で、交換性カリウム量を1N酢安抽出・炎光光度法で測定した。

表1 各試験区における施用資材と施用量および施用時期

試験区	牛オガ堆肥 (現物t/10a)	N(kg/10a)		P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)	施用資材	施用時期
		基肥	追肥				
牛オガ+H-CDU	1	24	0	9	21	ハイパーCDU [®] (長期), PK40号, 塩化カリ, 苦土石灰	消毒前
牛オガ+試作肥料	1	24	0	9	21	試作肥料, 苦土石灰	消毒前
試作肥料	0	24	0	9	21	試作肥料, 苦土石灰	消毒前
慣行	0	12	18	20	20	硫安, PK40号	消毒後

ハイパーCDU[®](長期): 30-0-0, PK40号: 0-20-20, 試作肥料: 8-3-7

牛ふんオガクズ堆肥 N:0.98%, P₂O₅:0.56%, K₂O:1.53%, C/N=28.7, 全て現物あたり

慣行区の追肥は6kgN/10aずつ3回施用

2) 土壌培養試験

1)の圃場試験を実施したビニルハウスから採取し、風乾した土壌を用いて、表2のとおり各資材を混合後培養ビンに充填し、土壌水分を30%(体積含水率)に調整したのち、恒温試験では30℃で12週間、変温試験

表2 処理区の構成と使用資材および混合量

処理区	土壌 (g)	牛ふん オガクズ堆肥 (g)	ハイパーCDU [®] (長期) (mg)	試作肥料 (mg)
試作肥料	50	0	0	150
H-CDU	50	0	40	0
牛オガ堆肥	50	0.5	0	0
無処理(土壌のみ)	50	0	0	0

牛ふんオガクズ堆肥, ハイパーCDU[®](長期)および試作肥料の成分は表1のとおり

では45 4週間 - 30 4週間 - 20 4週間、それぞれ暗所で培養した。変温試験の温度条件は、圃場試験での太陽熱土壌消毒期間中から栽培前期の地温を想定している。培養4週後、8週後、12週後に土壌中の無機態窒素量、可給態リン酸量および交換性カリウム量を1)と同様の方法で測定した。

2. 実エンドウ栽培における太陽熱土壌消毒前全量基肥施用技術に適した新肥料の開発

1の試験結果をもとに、有機原料の価格等も考慮し、最終的に窒素成分の76.8%相当量をハイパーCDU[®](長期)、23.2%相当量を有機原料を用いて配合した新肥料を作製した。新肥料の肥料成分は、 $N : P_2O_5 : K_2O = 10 : 4 : 8$ である。

1) 圃場試験

1-1)と同じビニルハウスにおいて、実エンドウ‘きしゅうすい’を供試し、栽培試験を実施した。試験区は、太陽熱土壌消毒前全量基肥施用区として、牛ふんオガクズ堆肥と新肥料を施用した牛オガ堆肥+新肥料区、新肥料のみ施用の新肥料区の2区と、化成肥料を用いて太陽熱土壌消毒後に基肥を施用し、栽培期間中に3回の追肥を行う慣行区の合計3区とした(表3)。太陽熱土壌消毒前全量基肥施用区の窒素施用量は慣行区の2割減肥とした。試験は1区あたり畝幅1m×長さ1mの木枠栽培で、各区6反復とした。2016年5月26日に太陽熱土壌消毒前全量基肥施用の2区において施肥・耕起・作畝を行い、5月27日から9月5日まで全試験区において太陽熱土壌消毒を行った。太陽熱土壌消毒期間中は新肥料区の地表下5, 15, 30cmに自記温度計(おんどとり Jr. RTR-502 T&D社)を設置し地温を測定した。9月5日に慣行区に基肥施用・耕起・作畝を行った。10月3日に株間20cmで1株あたり5粒となるように低温処理した種子を播種した。12月5日、2017年3月3日および4月4日に、慣行区のみ追肥を施用した。栽培期間中はハウス内最低温度が5℃となるように加温し、また、病害虫防除は適宜行った。

収穫は2017年2月16日から4月26日の間、週に1~2回行い、全重量および上物重量を測定した。

実エンドウの養分含有率については、さやは2017年4月20日、茎葉は2017年4月26日に一部を採取し、60℃で48時間以上乾燥後、1と同じ方法で窒素、リン、カリウム含有率を測定した。

土壌は、2016年5月9日、9月5日、12月5日(追肥施用前)および2017年5月2日に各区の作土層から採取し、風乾後、1と同様の方法で無機態窒素量、可給態リン酸量および交換性カリウム量を測定した。

表3 各試験区における施用資材と施用量および施用時期

試験区	牛オガ堆肥 (現物t/10a)	N(kg/10a)		P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O (kg/10a)	施用資材	施用時期
		基肥	追肥				
牛オガ+新肥料	1	24	0	9.6	19.2	新肥料, 苦土石灰	消毒前
新肥料	0	24	0	9.6	19.2	新肥料, 苦土石灰	消毒前
慣行	0	12	18	20	20	硫安, PK40号	消毒後

新肥料:10-4-8 他は表1と同じ

慣行区の追肥は6kgN/10aずつ3回施用

2) 現地実証試験

印南町山口(以下印南圃場)、みなべ町西岩代(以下みなべ圃場1)およびみなべ町山内(以下みなべ圃場2)の実エンドウ栽培圃場において、新肥料を用いて太陽熱土壌消毒前に全量基肥施用とした新肥料区と、慣行区の2区(表4)において実エンドウ‘きしゅうすい’の栽培試験を行った。試験規模は、印南圃場とみなべ圃場1は各区1.8a、みなべ圃場2は新肥料区6.5a、慣行区6aであった。

印南圃場では、2016年6月10日に新肥料区のみ施肥・耕起・作畝を行い、7月5日から8月20日まで太陽熱土壌消毒を行った。8月20日に慣行区に基肥施用・耕起・作畝を行い、9月12日に株間25cmで一株あたり5粒となるように播種した。みなべ圃場1では、2016年5月4日に両区に施肥・耕起・作

畝を行い、5月4日から9月20日まで太陽熱土壌消毒を行った後、10月2日に株間5cmで一株あたり1粒となるように播種した。みなべ圃場2では、2016年5月15日に両区に施肥・耕起・作畝を行い、5月20日から9月23日まで太陽熱土壌消毒を行った。9月26日に株間5cmで一株あたり1粒となるように播種した。いずれの圃場も畝幅は150cmで、印南圃場では1区4畝、みなべ圃場では1区3畝であった。全ての圃場で太陽熱土壌消毒開始時に地表下5, 15, 30cmに自記温度計（おんどとり Jr. RTR-502 T&D社）を設置し、播種前まで地温を測定した。栽培期間中の温度管理や病害虫防除は現地慣行に従った。

収穫は、印南圃場では2016年12月25日から2017年3月25日、みなべ圃場1では2017年1月28日から4月17日、みなべ圃場2では2016年12月下旬から2017年5月初旬まで週に1-2回行い、全重量を測定した。

実エンドウの養分含有率は、2017年2月23日に収穫したさやの一部を60℃で48時間以上乾燥した後1)と同様の方法で測定した。

土壌は、2016年5月6日（みなべ圃場1のみ）、5月11日（みなべ圃場2のみ）、6月26日（印南圃場のみ）、8月25日（印南圃場のみ）、9月25日（みなべ圃場1,2）、12月19日、2017年2月23日、4月27日に各区の作土層から採取し、風乾後、1)と同様の方法で無機態窒素量、可給態リン酸量、交換性カリウム量を測定した。

表4 各圃場における施肥量、施肥資材および時期

圃場	試験区	基肥					追肥				
		施用時期	資材	N	P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O	資材	回数	N	P ₂ O ₅ (kg/10a)	K ₂ O
印南	新肥料区	消毒前	新肥料(10-4-8), 牛ふん堆肥	33.3	13.3	26.7	サンボ2号(8-5-6)	1	0.9	0.6	0.7
	慣行区	消毒後	いなみベレット(6-8-7), 牛ふん堆肥	13.3	17.8	15.6	豆肥料(10-5-15), サンボ2号(8-5-6)	4	13.8	7.2	18.7
みなべ1	新肥料区	消毒前	新肥料(10-4-8), 牛ふん堆肥	27.8	11.1	22.2	-	-	-	-	-
	慣行区	消毒前	CDU(16-8-12), 牛ふん堆肥	17.8	8.9	13.3	-	-	-	-	-
みなべ2	新肥料区	消毒前	新肥料(10-4-8), 汚泥堆肥	27.7 石灰窒素 含まない	11.1	22.2	くみあい液肥 (10-4-8)	1	2.2	0.9	1.7
	慣行区	消毒前	固形30号(10-10-10), 汚泥堆肥	12.3 石灰窒素 含まない	12.3	12.3	固形30号(10-10-10), くみあい液肥(10-4-8)	6	13.8	7.4	11.7

印南圃場では消毒前にネオベスト(石灰等入り資材)を、みなべ圃場1では消毒前にサンメイト(苦土等入り資材)を、みなべ圃場2では消毒前に石灰窒素100kg/10aと苦土セルカを施用した。

結果

1. 試作肥料の作製

1) 圃場試験

牛オガ + 試作肥料区における太陽熱土壌消毒期間中の平均日平均地温は、地表下5cm, 15cm, 30cmでそれぞれ41.0, 39.3, 37.5, 積算地温はそれぞれ1025, 982, 938となった(図1)。慣行区もほぼ同様であった(図省略)。

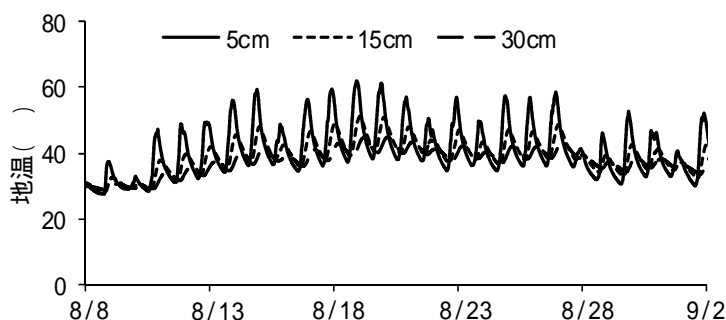


図1 太陽熱土壌消毒期間中の地温の推移

実エンドウの収量，上物率および地上部乾物量は全ての試験区で差は無かった（表5）．実エンドウの養分含有率は窒素，リン，カリウムのいずれも全ての試験区で差は無かった（表6）．

土壌中の無機態窒素量は，慣行区を除く3試験区で太陽熱土壌消毒後に 3mg/100g 程度増加したが，開花始期には試験開始前と同程度に減少し，その後は大きな変化はなかった（図 2A）．慣行区では太陽熱土壌消毒前後では差が無かったが，収穫最盛期に大きく増加した．土壌中の可給態リン酸量は，いずれの試験区でも大きな変動は無かった（図 2B）．土壌中の交換性カリウム量は，慣行区を除いた3試験区では太陽熱土壌消毒後に有意に増加したが，その後減少し，栽培終了時には試験開始前と同程度となった（図 2C）．慣行区では太陽熱土壌消毒前から栽培期間を通じて大きな増減はみられず，栽培終了時には試験開始前より低い値を示した．

表5 太陽熱土壌消毒前後の異なる施肥法が実エンドウの収量と上物率，地上部重量に及ぼす影響

試験区	収量 (g/区)		上物率 (%)	地上部重量 (乾物g/区)
	全収量	上物収量		
牛オガ + 試作肥料	3331	2707	81.3	1869
試作肥料	3297	2713	82.3	1736
牛オガ + H-CDU	3324	2747	82.4	1787
慣行	3339	2650	80.0	1743

試験区間に有意差なし(Tukey法)

収穫期間：2015年2月5日～4月20日，地上部採取日：4月27日

表6 施肥の違いが実エンドウの養分含有率に及ぼす影響

処理区	N (%)		P (%)		K (%)	
	さや	茎葉	さや	茎葉	さや	茎葉
牛オガ + 試作肥料	3.75	1.91	0.44	0.49	1.38	1.00
試作肥料	3.77	1.95	0.39	0.56	1.31	0.98
牛オガ + H-CDU	3.67	1.92	0.42	0.48	1.34	1.09
慣行	3.63	1.93	0.42	0.55	1.33	0.99

同部位において試験区間に有意差無し(Tukey法)

試料採取日 さや：2015年3月9日，茎葉：4月27日

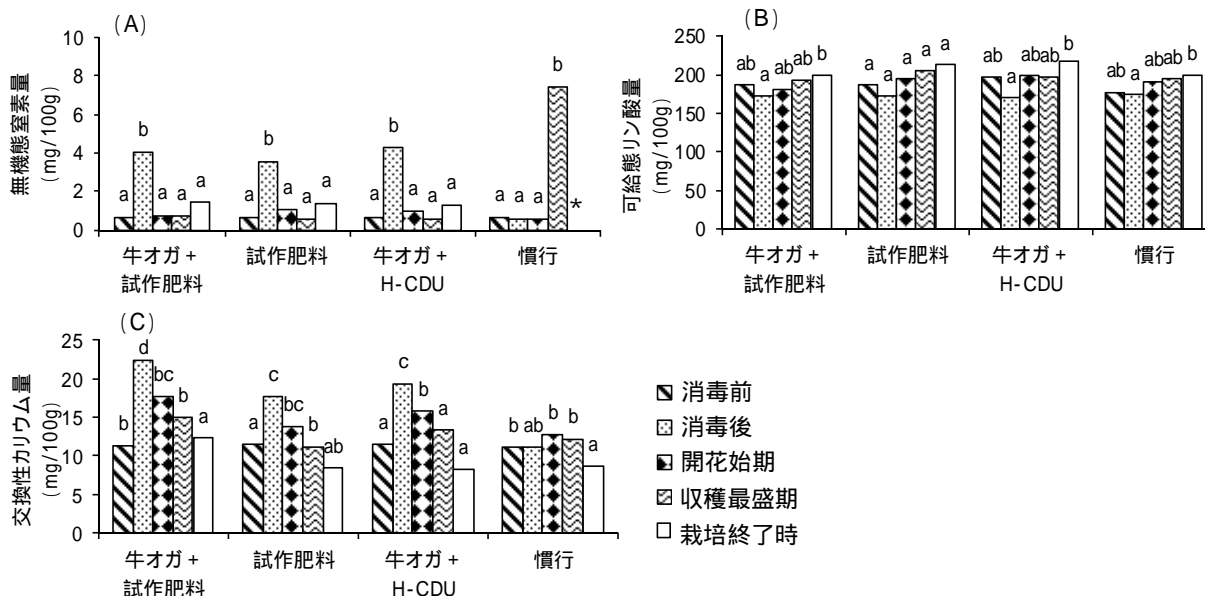


図2 施肥の違いが土壌中の無機態窒素量(A)，可給態リン酸量(B)，交換性カリウム量(C)に及ぼす影響

土壌採取日 消毒前：2014年8月6日，消毒後：9月4日，開花始期：12月9日，収穫最盛期：2015年3月27日，栽培終了時：5月22日
同一試験区において異文字間に5%水準で有意差有り(Tukey法) *：データ欠損

2) 土壌培養試験

土壌の無機態窒素量は、牛オガ堆肥区を除く3区で、恒温と変温で同様の挙動を示した(表7)。試作肥料区では培養8週後にかけて直線的に増加したのち一定となった。H-CDU区では培養12週後までほぼ直線的に増加した。無処理区では8週後にかけて増加したのち一定となった。牛オガ堆肥区では、変温条件では培養4週後から8週目にかけて増加したが、恒温条件では培養8週後にかけて増加したのち一定となった。培養12週後の無機態窒素溶出量(各試験区-無処理区)は、変温条件では試作肥料区、H-CDU区、牛オガ堆肥区でそれぞれ7.5, 2.4, -0.5mg、恒温条件ではそれぞれ10.7, 4.5, -0.4mgとなった(図3)。窒素無機化率(無機態窒素溶出量/窒素施用量×100, 窒素施用量はいずれも12mg)は試作肥料では変温、恒温でそれぞれ63%, 89%, ハイパーCDU®(長期)ではそれぞれ20%, 38%であった。

表7 培養温度と施用資材が土壌の無機態窒素量に及ぼす影響

温度条件	処理区	無機態窒素量 (mg/100g)			
		開始時	4週後	8週後	12週後
変温	試作肥料	1.9 a A	8.7 b C	15.2 c B	15.8 c B
	H-CDU	1.9 a A	4.7 b B	9.1 c A	10.6 d AB
	牛オガ堆肥	1.9 a A	3.3 a A	7.8 b A	7.8 b A
	無処理	1.9 a A	3.5 b A	7.6 c A	8.3 c A
恒温	試作肥料	1.9 a A	8.9 b B	14.8 c B	17.4 c C
	H-CDU	1.9 a A	6.3 b AB	9.5 bc A	11.2 c B
	牛オガ堆肥	1.9 a A	4.9 b A	6.8 c A	6.2 bc A
	無処理	1.9 a A	3.7 a A	6.6 b A	6.8 b A

各項目において異文字間に5%水準で有意差あり小文字:同一処理区内,大文字:同一培養時間内,いずれもTukey法)

変温:45 4週間-30 4週間-20 -4週間,恒温:30 12週間
各区の開始時の値は培養前の土壌(資材混合無し)の値

-△- 試作肥料・変温 ▲ 試作肥料・恒温
-○- H-CDU・変温 ● H-CDU・恒温
-◇- 牛オガ・変温 ◆ 牛オガ・恒温

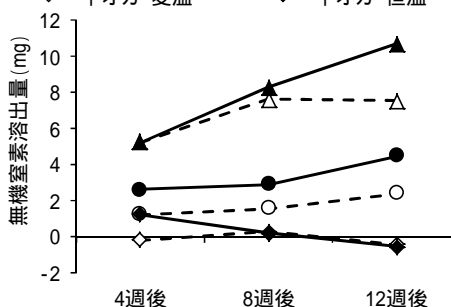


図3 資材からの無機態窒素溶出量に及ぼす培養温度の影響

土壌の可給態リン酸量は、全ての処理区でほぼ同等であり、培養期間中大きな増減はなかった(表8)。

表8 培養温度と施用資材が土壌の可給態リン酸量に及ぼす影響

温度条件	処理区	可給態リン酸量 (mg/100g)			
		開始時	4週後	8週後	12週後
変温	試作肥料	221	178	207	171
	H-CDU	221	231	201	227
	牛オガ堆肥	221	228	225	229
	無処理	221	224	229	239
恒温	試作肥料	221	232	200	203
	H-CDU	221	251	221	236
	牛オガ堆肥	221	190	192	227
	無処理	221	241	236	214

5%水準で有意差無し(検定法は表7と同じ)
温度条件は表7と同じ

土壌の交換性カリウム量は、牛オガ堆肥区を除く3区で恒温と変温で同様の挙動を示した(表9)。試作肥料区では培養4週後に増加した後8週後までは大きな変化は無かったが、12週後には減少した。H-CDU区と無処理区では培養期間を通じて大きな増減はなかった。牛オガ堆肥区では、変温条件では培養4週後に増加した後8週後までは大きな変化は無かったが、12週後に減少した。恒温条件では、培養8週後にかけて大きく増加した後、12週後に減少した。培養12週後の交換性カリウム溶出量(各試験区-無処理区)は、変温条件では試作肥料区、牛オガ堆肥区でそれぞれ4.0, -0.6mg、恒温条件ではそれぞれ6.3, 5.4mgとなった(図4)。

表9 培養温度と施用資材が土壌の交換性カリウム量に及ぼす影響

温度条件	処理区	交換性カリウム量 (mg/100g)			
		開始時	4週後	8週後	12週後
変温	試作肥料	11.8 a A	22.5 b BC	22.4 b B	18.4 b B
	H-CDU	11.8 a A	14.0 a A	12.4 a A	12.5 a A
	牛オガ堆肥	11.8 a A	17.7 b C	19.3 b B	13.8 a AB
	無処理	11.8 a A	11.0 a A	12.4 a A	14.4 a AB
恒温	試作肥料	11.8 a A	17.9 c BC	20.2 c AB	14.7 b B
	H-CDU	11.8 a A	9.3 a A	10.2 a A	9.3 a A
	牛オガ堆肥	11.8 a A	21.0 c C	34.5 d B	13.9 b B
	無処理	11.8 a A	10.8 a A	10.3 a A	8.5 a A

脚注および温度条件は表7と同じ

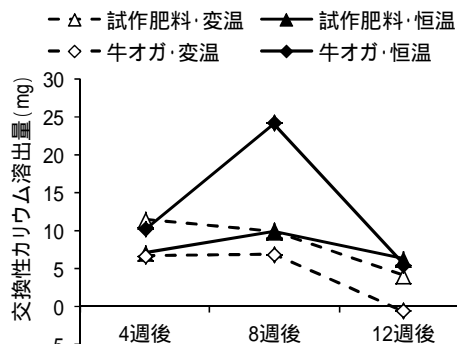


図4 資材からの交換性カリウム溶出量に及ぼす培養温度の影響

2. 実エンドウ栽培における太陽熱土壤消毒前全量基肥施用技術に適した新肥料の開発

1) 圃場試験

太陽熱土壤消毒期間中の平均日平均地温は、地表下 5cm, 15cm, 30cm でそれぞれ 42.2, 40.8, 38.4, 積算地温はそれぞれ 4223, 4083, 3845 となった（データ省略）。

実エンドウの収量、上物率および地上部乾物量は試験区で差は無かった（表 10）。

実エンドウの養分含有率は窒素、リン、カリウムのいずれも試験区で差は無かった（表 11）。

表10 太陽熱土壤消毒前後の異なる施肥法が実エンドウの収量と上物率、地上部重量に及ぼす影響

試験区	収量 (g/区)		上物率 (%)	地上部重量 (乾物g/区)
	全収量	上物収量		
牛オガ + 新肥料	2595	1751	67.1	1023
新肥料	2479	1661	67.1	959
慣行	2670	1821	68.1	911

試験区間に有意差なし(Tukey法)

収穫期間: 2017年2月16日 ~ 4月26日, 地上部採取日: 4月26日

表11 施肥の違いが実エンドウの養分含有率に及ぼす影響

処理区	N (%)		P (%)		K (%)	
	さや	茎葉	さや	茎葉	さや	茎葉
牛オガ + 新肥料	2.99	1.42	0.44	0.12	1.31	1.03
新肥料	3.15	1.62	0.41	0.12	1.27	0.99
慣行	3.10	1.51	0.47	0.16	1.32	1.04

同部位において試験区間に有意差無し(Tukey法)

試料採取日 さや: 2017年4月20日, 茎葉: 4月26日

土壌中の無機態窒素量は、いずれの試験区でも太陽熱土壤消毒後に有意に増加したが、新肥料を施用した区で特に増加した。開花始期には消毒前より減少し、その後は大きな変化はなかった（図 5A）。土壌中の可給態リン酸量は、いずれの試験区においても大きな増減は無かった（データ省略）。土壌中の交換性カリウム量は、新肥料を施用した 2 区では開花始期まで大きな増減は無かったが、栽培終了時には太陽熱土壤消毒前より低い値を示した（図 5B）。慣行区では太陽熱土壤消毒後に減少した後、収穫期に消毒前と同程度まで増加したが、栽培終了時には太陽熱土壤消毒後と同程度まで減少した。

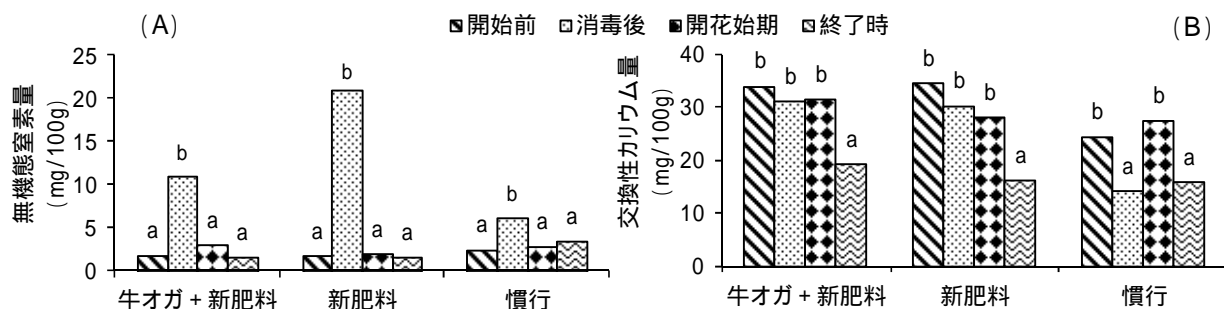


図5 施肥の違いが土壌中の無機態窒素量(A), 交換性カリウム量(B)に及ぼす影響

土壌採取日 消毒前: 2016年5月9日, 消毒後: 9月5日, 開花始期: 12月5日, 栽培終了時: 5月2日
同一試験区において異文字間に5%水準で有意差有り(Tukey法)

2) 現地実証試験

太陽熱土壌消毒期間中の平均日平均地温は,印南圃場では地表下5cm,15cm,30cmでそれぞれ46.7, 46.2, 43.2, みなべ圃場1では地表下5cm,15cm,30cmでそれぞれ41.9, 40.9, 38.4, みなべ圃場2では地表下5cm,15cm,30cmでそれぞれ43.4, 42.3, 41.0であった(図省略).

実エンドウの収量は,いずれの圃場においても新肥料区と慣行区ではほぼ同等であった(図6).

実エンドウの養分含有率は,いずれの圃場でも新肥料区と慣行区で差は無かった(データ省略).

土壌の無機態窒素量は,印南圃場では新肥料区で太陽熱土壌消毒後に増加し,その後減少した(図7A). 慣行区では太陽熱消毒前から栽培終了時にかけて減少した. みなべ圃場では両圃場ともに新肥料区,慣行区のいずれでも太陽熱土壌消毒後に大きく増加し,その後は減少した. 土壌の可給態リン酸量は,いずれの圃場でも新肥料区,慣行区ともに大きな増減は無かった(図7B). 土壌の交換性カリウム量は印南圃場では試験終了時には太陽熱消毒前と同等となったが,みなべ圃場ではいずれも試験終了時には太陽熱消毒前より減少した(図7C).

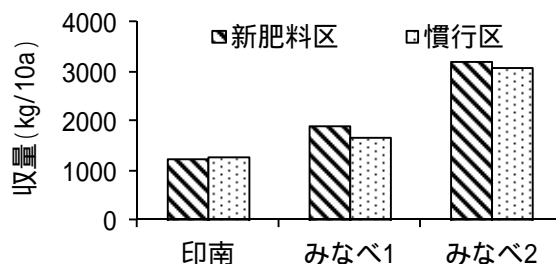


図6 施肥の違いが実エンドウ収量に及ぼす影響

収穫期 印南圃場:2016年12月25日~2017年3月25日
 みなべ圃場1:2017年1月28日~4月17日
 みなべ圃場2:2016年12月下旬~2017年5月上旬

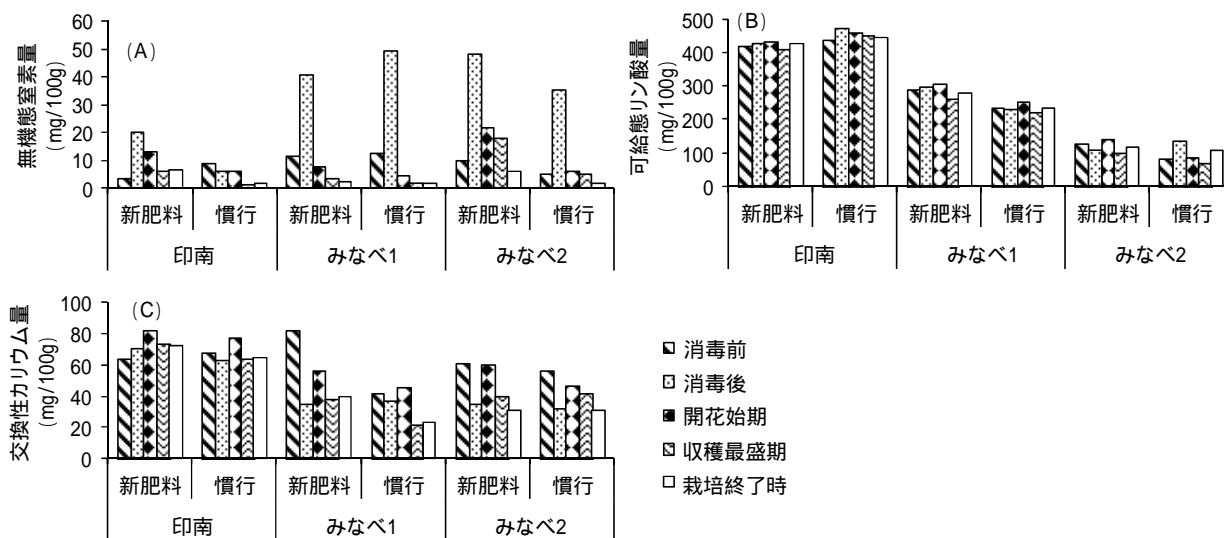


図7 施肥の違いが土壌中の無機態窒素量(A),可給態リン酸量(B),交換性カリウム量(C)に及ぼす影響

土壌採取日 消毒前:印南;2016年6月26日,みなべ1;5月6日,みなべ2;5月11日
 消毒後:印南;8月25日,みなべ1;9月25日,みなべ2;9月25日
 開花期:12月19日,収穫期:2017年2月23日,終了時:4月27日

考 察

土壤培養試験において、試作肥料区の無機態窒素溶出量は、変温、恒温のいずれの条件でも H-CDU 区より多くなった。これは、試作肥料に配合された有機原料からの無機態窒素溶出量が多いためと考えられた。また、試作肥料区において、変温試験の培養 8 週目～12 週目にかけて無機態窒素溶出量の増加が認められなかったことから、試作肥料は培養温度 20℃ では窒素の無機化が抑制されるものと推察された。一方で、H-CDU 区では、培養 4 週後の無機態窒素溶出量が変温に比べて恒温で多かったことから、ハイパーCDU[®](長期)は培養温度 45℃ ではやや無機化が抑制されることが示唆された。また、牛オガ堆肥区では、変温、恒温のいずれにおいても無機態窒素の溶出が認められなかったこと、前報でも 4 週間培養後の牛オガ堆肥からの無機態窒素溶出量は非常に少なかった(橋本ら, 2019) ことから、完熟牛ふん堆肥を施用した場合は 12 週程度の短期間では無機態窒素の供給はほとんど期待できないと考えられた。

最終的に完成した新肥料を施用した 2016 年度圃場試験や現地実証試験では、過去の試験に比べて太陽熱土壤消毒期間中に無機態窒素量が大きく増加した。この要因として、一つは新肥料に配合された有機資材からの窒素溶出量が多いためと考えられた。もう一つの要因として、太陽熱土壤消毒処理の期間が過去の試験に比べて長かったことが挙げられる。土壤培養試験において、45℃ 条件下では、ハイパーCDU[®](長期)はやや無機化が抑制されるが、ハイパーCDU[®](長期)に有機原料を配合した試作肥料では無機化の抑制がみられなかった。太陽熱土壤消毒期間中の地温は、圃場試験、現地実証試験のいずれでも概ね 30～60℃ 程度で推移し、平均地温は 40～46℃ 程度であった。このことから、試作肥料よりも有機原料の配合割合を低くした新肥料であっても、太陽熱土壤消毒期間が長くなるほど窒素無機化量が増加するものと推察された。このため、土壤消毒期間が長期にわたると栽培後期に窒素肥効が切れることが懸念されたが、場内圃場試験において、実エンドウの収量や品質は慣行区とほぼ同等であった。また、現地実証試験においても、結果として慣行区に比べて新肥料施用区で窒素施用量が多くなったこと、また、栽培後期に追肥も少量ながら施用されていたことから、新肥料のみの施用で栽培後期まで窒素肥効が継続するかは判然としないが、場内圃場試験と同様に収量や品質に差は無かった。

太陽熱土壤消毒を実施する栽培体系の場合、窒素の挙動についてのみ論じがちであるが、近年、施設栽培土壌では塩類集積が問題となっていることから、可給態リン酸や交換性カリウムの動態にも注目する必要がある。

土壤培養試験において、土壌の可給態リン酸量は、前報と同様に培養による変化はみられなかった。杉戸ら(2017)は、45℃ 3 週間の温熱処理により、土壌や有機質肥料からの可給態リン酸の溶出量は増加すると報告しているが、その量は 5mg/100g 程度と少なかった。前報や本研究において栽培試験を実施した現地圃場の土壌の可給態リン酸量は 100～400mg/100g 程度と非常に多いが、本県の施設実エンドウ栽培圃場では程度の差こそあれ同じような状況である。このように可給態リン酸レベルの高い土壌では、太陽熱土壤消毒処理が土壌の可給態リン酸量の増減に及ぼす影響は小さいと考えられた。一方、可給態リン酸量が 100mg/100g を超える硬質土壌において、トマトの無リン酸栽培を行うと、作物による吸収量と同程度の可給態リン酸量が減少するという報告がある(塚本ら, 2017) ことから、本県の施設実エンドウ栽培土壌でも、施肥と作物吸収による収支により概ね土壌中の可給態リン酸量の増減が推定できると考えられる。本研究で開発した新肥料は、 $N:P_2O_5:K_2O=10:4:8$ とリン酸含量を低くする設計とした。仮に窒素施用量を 24kg/10a とすると、リン酸施用量は 9.6kg/10a となり、従来に比べると少ない。しかしながら、場内圃場試験においても現地実証試験においても栽培前後で土壌中の可給態リン酸量に大きな変化はみられなかった。前報では実エンドウ一作あたりのリン酸吸収量は 5kg/10a 程度であったこと

から、新肥料を用いてもなお、リン酸施肥量としては過剰であったと考えられた。

太陽熱土壤消毒処理が土壤の交換性カリウム量に及ぼす影響についての知見はほとんどないが、Lorenzら(2008)によると、土壤微生物バイオマスカリウム量は土壤の交換性カリウム量の37%に相当すると報告されていることから、太陽熱土壤消毒処理による土壤微生物の量や活性の変化は交換性カリウム量の増減に大きく影響すると推察される。土壤培養試験において、無処理区に比べ試作肥料区や牛オガ堆肥区で交換性カリウム量が多かったことから、これらの資材施用により交換性カリウム量が増加することは明らかになった。一方、培養期間中の交換性カリウム溶出量の増減に一定の傾向はみられなかった。同様に、前報や本研究での場内圃場試験、現地圃場試験においても太陽熱土壤消毒後の交換性カリウム量の変化には一定の傾向がなく、太陽熱土壤消毒処理が交換性カリウム量の変化に及ぼす影響は判然としなかった。しかしながら、栽培終了時の土壤の交換性カリウム量は、太陽熱土壤消毒前に比べると、印南圃場で同等、それ以外では減少となったことから、現行の施肥体系においては土壤への交換性カリウムの集積は緩和傾向になるものと推察された。

窒素施用量を30kg/10aとした慣行栽培と、新肥料を用いて窒素施用量を慣行比2割減として太陽熱土壤消毒前全量基肥施用した場合の施肥時間および肥料費について試算したところ、新肥料では慣行栽培に比べて肥料費は11%、施肥時間は56%の削減となった(表12)。現地の実エンドウ栽培農家に対してアンケートを実施したところ、施肥量は8~48kgN/10aと圃場ごとに差が大きく、施用資材も多岐にわたっていた(2017年実施、22圃場調査、データ未発表)ことから、新肥料の施用により必ずしも肥料費が削減されるわけではない。一方、現地実証試験では、新肥料施用区では生育後期に追肥を施用したものの、回数は慣行に比べて少なく、使用者から追肥が削減でき省力的との意見が得られたことから、省力化においては一定の効果が得られるものと考えられた。

表12 栽培体系の違いが施肥時間および肥料費に及ぼす影響

	施肥時間(時間/10a)			肥料費(円/10a)			備考
	基肥	追肥	合計	基肥	追肥	合計	
新肥料	4	-	4	37,200	-	37,200	窒素施用量24kg/10aとして算出
慣行	4	5	9	32,100	9,900	42,000	基肥窒素施用量12kg/10a, 追肥窒素施用量6kg/10a×3回として算出

施肥時間は農業経営モデル指標(H25和歌山農林水産部)より抜粋

慣行は産地で主に使用されている肥料の価格、新肥料は3,100円/袋(20kg入り)として算出

以上のことから、実エンドウの秋まきハウス冬春どりの作型において、長期の太陽熱土壤消毒処理を実施する体系での生育後期の窒素肥効や、土壤への可給態リン酸集積に対しての懸念は残るものの、新肥料を用いた太陽熱土壤消毒前全量基肥施用技術の実用性は高いことが示された。本県の実エンドウ主産地のうち、みなべ地域では従来より太陽熱土壤消毒前基肥施用が行われているが、印南地域では未だ太陽熱土壤消毒後のクロルピクリン処理や基肥施用が行われている。開発した新肥料は、ハイパーCDU®入り豆用配合肥料として、2018年から県内で販売が開始された。この新肥料を用いた太陽熱土壤消毒前全量基肥施用を行うことで、消毒効果の向上、労力・薬剤費の削減に加え、土壤環境改善の効果も期待されることから、印南地域を含めた実エンドウ主産地において早急に本技術が普及されることが望まれる。

摘 要

本県の実エンドウ栽培における主要作型である秋まきハウス冬春どりにおいて、太陽熱土壤消毒前全量基肥施用に適した新肥料の開発と実用性について検討した。

1. ハイパーCDU[®](長期) 51.5%と有機原料 48.5%を配合した試作肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 8 : 3 : 7) は、ハイパーCDU[®](長期) 単体に比べて窒素の無機化速度が速かった。また、試作肥料は培養温度 20 で窒素の無機化が抑制された。
2. ハイパーCDU[®](長期) 76.8%と有機原料 23.2%を配合した新肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 10 : 4 : 8, 販売名: ハイパーCDU[®]入り豆用配合肥料) を太陽熱土壤消毒前全量基肥施用し、長期の太陽熱土壤消毒を行うと、消毒後の土壤無機窒素量は大きく増加した。
3. 牛ふんオガクズ堆肥と新肥料を太陽熱土壤消毒前に全量基肥施用すると、実エンドウの収量や品質は慣行とほぼ同等となった。
4. 牛ふんオガクズ堆肥と新肥料を用いて太陽熱土壤消毒前全量基肥施用すると、土壤の可給態リン酸の減少はみられなかったが、交換性カリウム量は栽培前より減少する傾向がみられた。
5. 新肥料を用いて太陽熱土壤消毒前全量基肥施用を行うと、慣行栽培に比べて肥料費は 11%、施肥時間は 56%削減できた。

本研究を実施するにあたり、ご協力いただきました「農食事業 25060 コンソーシアム」に参画の皆様へ深謝いたします。また、試験に多大なご協力を頂きました農業試験場の職員やアルバイトの皆様へ厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 橋本真穂・三宅英伸・林恭弘．2019．実エンドウ栽培における太陽熱土壤消毒前全量基肥施用技術の確立（第1報）微生物分解性肥料を用いた肥効調節．和歌山県農林水研報．7：1-9．
- 井原啓貴・尾崎哲郎・橋本真穂・有簾隆男・篠原陽子・三宅英伸・茶谷正孝・橋本知義・高橋茂・加藤直人．2018．太陽熱土壤消毒の高地温条件下における土壤中の有機態窒素無機化およびその予測．土肥誌．89：136-145．
- N. Lorenz・K. Verdell・C. Ramsier and R. P. Dick. 2010. A Rapid Assay to Estimate Soil Microbial Biomass Potassium in Agricultural Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 74:512-516. 2008.
- 杉戸智子・君和田健二・岡紀邦・橋本知義．2017．太陽熱土壤消毒を模した実験系による温熱処理が可給態リン酸の動態に及ぼす影響．農研機構研報 北海道農研．205：1-13．
- 塚本崇志・岩佐博邦・八槇敦．2017．リン酸が蓄積した褐色低地土におけるトマト連作時のリン酸減肥による生育収量及び土壤の可給態リン酸含量の変化．千葉農林総研研報．9：1-9．
- 横江和典・前坂昌宏・浅川 晋．2014．太陽熱土壤消毒が土壤微生物群集に及ぼす影響の解析．土と微生物．68：99-100．

