

経済的立地限界の茶栽培 —幼茶樹による時期別化学肥料窒素の利用率とその向上対策—

付杰奇¹⁾・長真弓²⁾・星野幸一³⁾・平井英明³⁾・加藤秀正³⁾

(¹⁾ 東京農工大学大学院連合農学研究科, ²⁾ 荒井食品株式会社, ³⁾ 宇都宮大学農学部)

要旨：本研究では茨城県奥久慈地方の犬子町を念頭に降水量・気温が類似する宇都宮大学附属農場で幼茶樹のポット栽培試験を行い、茨城県の施肥基準である年4回の化学肥料窒素の利用率を重窒素トレーサー法により調査した。その結果、次の諸点が明らかとなった。定植2年目の茶樹全体による夏肥、秋肥、春肥、芽出肥の化学肥料窒素の利用率は、それぞれ、20.3%、36.5%、40.8%、46.4%であった。また、茨城県施肥基準（慣行）区および夏肥と秋肥をそれぞれ多数回分施した（分施）区における年間の窒素利用率は、慣行区が約28%、分施区が約44%であった。この利用率は、この年の異常な寒害により冬から春にかけて成葉の大部分が落葉した試験であったため、平年の気象であれば、この利用率はそれぞれ35%、55%前後と推定された。夏肥および秋肥の分施は主に栄養貯蔵器官である成葉、茎、根への化学肥料窒素の貯蔵を促進し、生育量を向上させたと考えられた。したがって、犬子町の茶園土壌で二番茶期から秋肥にかけて可給態窒素が著しく低下することへの対応策としては、夏肥・秋肥の多数回分施が有効と考えられた。

キーワード：¹⁵Nトレーサー、窒素の利用率、北限の茶栽培。

著者らは前報（付ら2007）で茶栽培の経済的立地限界の一つである茨城県奥久慈地方の茶栽培の課題を整理した。この地方の茶栽培地の多くは凝灰岩質石礫に富む褐色森林土地帯にあり、根の分布域は浅く、生葉収量は西南暖地の茶生産地の1/3～1/4程度にとどまっていると述べた。秋～春季の冷涼な気候が秋季の新根の伸長を抑制するため、一般に農家は秋肥とそれに伴う秋耕時期には注意を払っている。生産農家の間では、奥久慈茶は他産地の茶に比べて渋味や苦味がやや強いことを特徴とするといわれているが、旨味成分の中核をなすと考えられている遊離アミノ酸含有量などからみた品質は他産地に比べても遜色はみられないと推測した。この中で、i) この地方に多い石礫に富み、根の分布域の浅い土壌では施肥窒素が溶脱しやすいために、二番茶期から秋肥にかけて可給態窒素が著しく低下しているにもかかわらず、夏肥を省く事例がしばしばあり、茨城県の施肥基準と現地との間に認識の違いが見受けられた、ii) 茨城県の施肥基準（窒素では480 kg ha⁻¹ y⁻¹）で管理された茶園の深度100 cmにおいて3月下旬から11月中旬にかけて測定した土壌溶液の硝酸態窒素濃度が130 mg L⁻¹前後に達し、収量（生葉で2918 kg ha⁻¹ y⁻¹）（茨城県農林水産統計年報2004～2005）からみても、施肥基準の見直しが必要な時期にきていること、iii) 窒素の削減は茶葉のアミノ酸含有量を低下させて品質低下を招く恐れがあることから、肥効調節型肥料や油粕等の適切な利用技術が検討されるべきことを既に明らかにした。

ところが、これまで茶樹の栄養生理（石垣1978）や栽培（小西1991）等に関する研究の多くが主要産地である西南暖地を対象にしたもので、この地方における栽培試験が見

当たらない。そこで、本報では茨城県の主要産地である奥久慈地方を念頭に幼茶樹ポット試験を行い、施肥基準に示された年間4回の化学肥料窒素の茶樹による利用率を調査した。併せて上述i)の観点から肥料窒素の利用率的向上対策として、夏肥・秋肥を多数回分施した場合の茶樹による窒素吸収特性を明らかにしたので報告する。なお、上述のii)およびiii)についても別に検討する予定である。

材料と方法

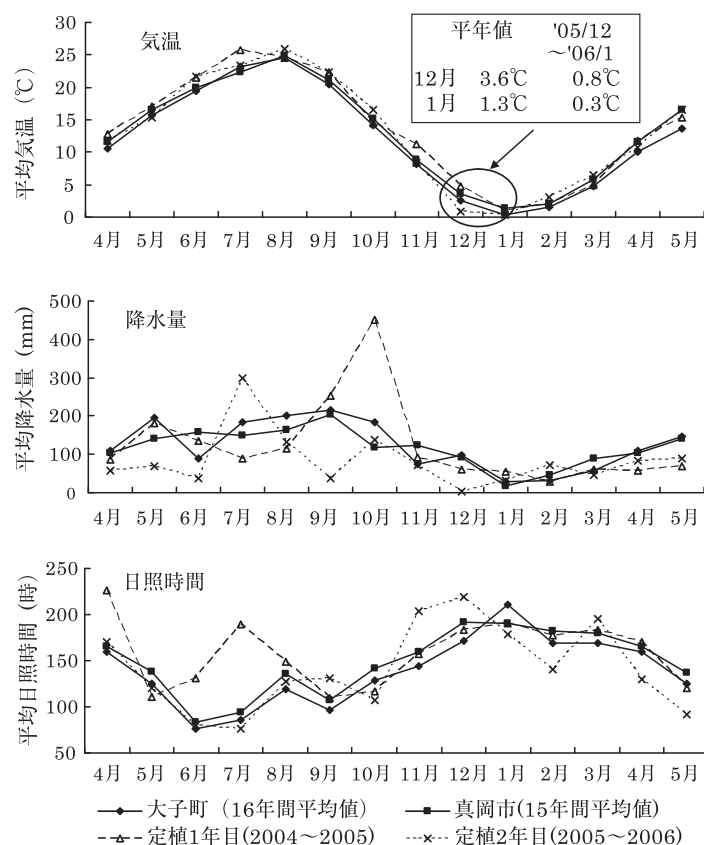
1. 供試茶樹

2004年4月24日に茶樹（*Camellia sinensis* L.）‘やぶきた’の2年生苗を茨城県久慈郡犬子町の茶農家から購入し、その頂部を切断し、約25 cmの高さにそろえ、以下の3に記載する手順でポットに植え、全体を地植えとした。

2. 試験場所と供試土壌

試験は宇都宮大学農学部附属農場（栃木県真岡市下籠谷433）で行われた。これは本地域が奥久慈地方の茶栽培の中心地である犬子町と降水量・気温が類似すること、および寒干害の影響を受けやすい定植当年から3年目まで（淵之上・八木1982）の幼木試験を近距離で管理して、夏季の干害・病虫害および冬季の冷霜害への対策を容易にするためである。犬子町と真岡市の気象条件の比較および試験期間中の真岡市の気象条件を第1図に示した。

試験圃場の土壌（第1表）は黒ボク土（鯉淵統）に分類され、ポット試験に使用した。本圃場は5年前にダイコンを栽培して以来、休耕地であったこと、前報（付ら2007）で述べた茨城県犬子町の農家茶園や茨城県農業総合研究セ



第1図 大子町と真岡市との気象条件の比較および試験期間中の真岡市の気象条件.

両地方の気温データは1979～2000年の22年間の月平均値。降水量および日照量データは1985～2000年の16年間の月平均値。気象庁の統計データより。

第1表 定植前の供試土壌の化学性.

pH (H ₂ O)	T-C (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	EC (μS cm ⁻¹)	CEC ¹⁾	交換性イオン ¹⁾				無機態窒素 ²⁾	可給態リン酸 ³⁾
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
5.79	61.9	5.40	70.0	39.0	11.8	1.9	0.8	0.04	39.6	450

1) : cmol_c kg⁻¹. 2) : 2 mol L⁻¹ KCl 抽出法 mg kg⁻¹. 3) : Truog 法 (P₂O₅) mg kg⁻¹.

ンター山間地帯特産指導所内試験地に比べて可給態窒素やリン酸含有量が低いこと等を考慮し、この土壌をポット栽培に使用するに先立って、茨城県施肥基準（第2表）の窒素（480 kg ha⁻¹）の20%にあたる量の奥久慈茶有機（10-5-5）とヘクターあたり P₂O₅ として 50 kg 相当量のリン酸二水素カリウム（KH₂PO₄）を基肥として施用した。これにより加えたカリウムを全量交換性カリウムとみなすと原土の交換性カリウムの飽和度は約2.7%となった。また茶園土壌では有機物の施用や剪定枝葉の還元が行われていることを考慮し、完熟した牛ふん稲わら堆肥2 kg m⁻² および4 kg m⁻² 区（以下、堆肥2t、堆肥4tと表示する）を設けた。堆肥のN、P₂O₅、K₂O含有量はそれぞれ24.1、21.3、30.6 g kg⁻¹で、C/N比が約12である。すなわち、1ポット（乾土5 kg）あたりの供試土壌には基肥として奥

第2表 茨城県施肥基準および本試験区の施肥量.

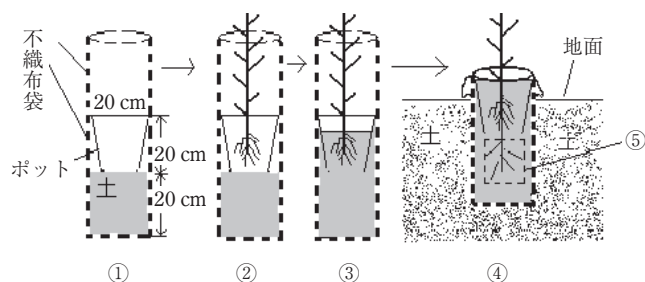
	夏肥	秋肥	春肥	芽出肥	年間合計
N ¹⁾	100	150	150	80	480
	250	375	375	200	1200
P ₂ O ₅ ²⁾	—	120	120	—	240
	—	300	300	—	600
K ₂ O ²⁾	—	120	120	—	240
	—	300	300	—	600

上段：茨城県施肥基準（kg ha⁻¹）.

下段：茨城県施肥基準の50%に当たる試験区追肥量（mg pot⁻¹）.

1) : (NH₄)₂SO₄ または (NH₄)₂SO₄ 溶液を調整し、1ポットあたり40～50 mL加えた。

2) : KH₂PO₄ と KCl の混合液を調整し、1ポットあたり50 mL加えた。



第2図 定植手順のイメージ図。

①～③：土壌および茶樹の入れ方。

④～⑤：定植後および根の成長のイメージ図。

久慈茶有機 (10-5-5) を 4.8 g, リン酸二水素カリウム (KH_2PO_4) を 4.79 g, 堆肥を 2 kg m^{-2} に相当する 156 g, または 4 kg m^{-2} に相当する 312 g を加え, 約 1 週間放置し, 供試土壌とした。

3. 試験ポットの設置方法

第2図に示したように, 2004年4月19日に上記2の供試土壌 (乾土 5 kg 相当) の約半量を用いて, 底をくり抜いたポット (上径 20 cm × 下径 15 cm × 高さ 20 cm) に苗を1本植え, さらに残りの土壌を入れた不織布袋の中に置き, 全体を地植えとした。茶の根は不織布の側方や下方へほとんどはみ出さず, 下方に伸長することから, 底をくり抜いたポットの下方に約 20 cm 深の土壌を確保した。また, 上部にポットを用いたのは添加した肥料成分が水平方向に拡散するのを防ぐためである。ポットは前後左右, 約 30 cm 間隔を取って設置した。

4. 定植後の施肥管理

(1) 慣行区

本研究は茨城県の施肥基準 (第2表) に従い, 夏肥, 秋肥, 春肥および芽出肥を窒素の割合でそれぞれ約 21, 31, 31, 17% ずつ施用し, これを慣行区とした。なお, 茨城県の施肥基準によれば定植1年目 (2年生苗) の施肥割合は施肥基準の 20%, 2年目の施肥割合は施肥基準の 50% とあるが, 本試験では, 2年生の苗木を用いて定植1年後および2年後に掘り出し調査することを考え, 便宜的ではあるが, 施肥割合を定植1年目, 定植2年目とも成木園の 50% とした。窒素は約 0.45 mol L^{-1} の硫酸アンモニウム溶液で, リン酸とカリウムは約 0.085 mol L^{-1} のリン酸二水素カリウム溶液と約 0.13 mol L^{-1} の塩化カリウム溶液となっている混合液で施用した。年4回施肥する化学肥料窒素の追跡には $30.7 \text{ atom} \% ^{15}\text{N}$ 標識硫酸水溶液を用い, 第3表に示したとおりに実施した。

(2) 多数回分施肥区

施肥法として慣行区の一部に, 夏肥および秋肥をそれぞれ 10 回 (週 1 回) に分けて施肥した多数回分施肥区 (以下: 分施肥区) を設けた。分施肥区を設置したのは前述 (緒言 i) のとおり, 施肥時期別窒素の利用率を明らかにするとともに

第3表 ^{15}N 標識硫酸水溶液の施用時期。

試験区	追肥			
	夏肥	秋肥	春肥	芽出肥
夏肥区	^{15}N	^{14}N	^{14}N	^{14}N
秋肥区	^{14}N	^{15}N	^{14}N	^{14}N
春肥区	^{14}N	^{14}N	^{15}N	^{14}N
芽出肥区	^{14}N	^{14}N	^{14}N	^{15}N

に, 二番茶期から秋肥にかけて低下する可給態窒素の向上対策を明らかにする必要があると考えたためである。

上記の (1) および (2) の試験区は施肥時期ごとに 1 区 4 ポットとし, 重窒素トレーサー試験を行った。このうち半数は 2004 年 6 月の夏肥から 2005 年 4 月の芽出肥まで重窒素標識硫酸を用いて栽培し, 2005 年 5 月の一番茶摘採期に掘り出した。残り半数は 1 年目を無標識硫酸で慣行栽培後, 2005 年 6 月の夏肥から 2006 年 4 月の芽出肥まで重窒素標識硫酸を用いて栽培し, 2006 年 5 月の一番茶摘採期に掘り出した。前者を定植 1 年目の試験, 後者を定植 2 年目の試験と呼ぶことにする。ポットを設置した圃場は, 通路を除き稲わらでマルチした。また試験地は台地上に位置し, 冬季は北西の風を強く受けることから, 北側に約 1 m の高さのアシのすだれを設置した。

定植 1 年目の慣行区 (夏肥, 秋肥, 春肥および芽出肥) および分施肥区 (春肥と芽出肥) の年 4 回の施肥時期はそれぞれ 2004 年 6 月 7 日, 9 月 14 日, 2005 年 3 月 8 日, 4 月 19 日, 定植 2 年目はそれぞれ 2005 年 6 月 7 日, 9 月 26 日, 2006 年 3 月 9 日, 4 月 18 日であった。分施肥区の夏肥および秋肥の施用開始日は慣行区と同じで, その後, 週 1 回ずつで計 10 回に分けて施用した。

5. 茶樹および跡地土壌の調査方法

2005 年 5 月 18 日 (定植 1 年目) と 2006 年 5 月 24 日 (定植 2 年目) に茶樹を抜き取り, 一番茶新芽を一芯三葉とその他の部位 (四葉, 五葉など) に分別採取した後, 成葉, 茎, 根に分けた。定植 1 年目, 2 年目試験の終了時にはいずれも茶樹の根が不織布の外にはみ出すことはほとんどなかった。新芽および成葉は採取後, クーラーボックスに入れて持ち帰り, 新芽は 30 秒間, 成葉は 50 秒間, それぞれ直ちに蒸熱処理後乾燥した。茎は 2 cm 程度に切断し, 根は十分に水洗後, いずれも風乾した。以上の各器官を 60°C で通風乾燥後, 粉末にし, 分析試料とした。跡地土壌は風乾後, 篩 (2 mm) を通し分析試料とした。

なお, 定植 2 年目の冬季 (2005 年 12 月～2006 年 1 月) に平年を 2°C 程度下回る低温日 (第 1 図) が続き, 茶樹の成葉は 12 月～3 月に殆どが落葉したため, 乾物重を測った以外, 重窒素分析の対象外とした。定植 1 年目の試験については茎, 根および土壌の ^{15}N の分析を反復無しで行ったため, 本論文ではそれらのデータを省いた。

全炭素および全窒素は NC アナライザー (住友化学製,

第4表 一番茶期における器官別乾物重（定植1年目と定植2年目）。

	施肥法	堆肥施用量	新芽 (g 株 ⁻¹)			成葉 (g 株 ⁻¹)	茎 (g 株 ⁻¹)	根 (g 株 ⁻¹)	全重 (g 株 ⁻¹)
			一芯三葉	その他	合計				
定植1年目	慣行	2 t	5.0	4.5	9.5	7.6	23.0	34.9	74.9
		4 t	7.0	5.3	12.3	7.4	27.7	41.7	89.1
	分施	2 t	6.5	9.0	15.5	10.7	35.7	47.7	109.7
		4 t	7.7	10.1	17.9	12.9	39.8	59.9	130.4
分散分析	施肥法		ns	**	**	*	*	**	**
	堆肥施用量		*	ns	ns	ns	ns	*	ns
	交互作用		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
定植2年目	慣行	2 t	5.7	4.7	10.4	2.2 [#]	31.3	38.4	82.2
		4 t	9.1	7.2	16.3	4.2 [#]	41.6	52.4	114.5
	分施	2 t	7.4	13.3	20.7	4.6 [#]	54.9	58.8	139.0
		4 t	8.8	13.7	22.5	6.1 [#]	56.4	73.9	159.0
分散分析	施肥法		*	**	**	ns	**	**	**
	堆肥施用量		*	ns	ns	ns	ns	**	*
	交互作用		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

表内の値は2反復の平均値。

**, *, ns はそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意でないことを示す。

[#]: 定植2年目の成葉は冬～早春に赤枯れして殆どが落葉したため, 乾物重が1年目より大幅に減少した。

NC-80 A) により測定し, ¹⁵N 濃度は発光分光分析法 (熊沢 1980) (日本分光製, N-150) で測定した。定植前と収穫後の跡地の土壌の pH (HORIBA 製, F-14), EC (HORIBA 製, DS-8 M), 交換性イオン (日立製, Z-6100 型), CEC (ショーレンベルガー法), 無機態窒素および可給態リン酸 (トルオーグ法) を常法 (日本土壌肥料学会 1986) により測定した。

6. 窒素利用率の算出方法

本研究での窒素利用率は, 年間施肥窒素全量中に占める各施肥時期別の化学肥料窒素利用率と各時期施肥窒素量に占める器官別の化学肥料窒素利用率に分けた。算出方法は以下のとおりである。

年間施肥窒素全量中に占める各施肥時期別の化学肥料窒素利用率 (%) は各時期に吸収された ¹⁵N 合計量を年間 ¹⁵N 施用量で除し, 100 を乗じたものとした。

各時期施肥窒素量に占める器官別の化学肥料窒素利用率 (%) は器官別に吸収された ¹⁵N 量を各時期の ¹⁵N 施用量で除し, 100 を乗じたものとした。

結 果

1. 定植1年目の試験結果

一番茶期における器官別乾物重を第4表に示した。定植1年目の施肥法の違いによる分散分析結果をみると, 分施肥区における各器官の乾物重は一芯三葉を除き, 慣行区より有意に高くなった。分施肥の効果は新芽 (その他および合計) と根において1%水準で有意性が認められた。堆肥の効果は一芯三葉と根の乾物重において5%水準で有意差が認められた以外, 他の器官では有意差が認められなかった。茶

樹全重は施肥法の違いにより, 1%水準で有意差が認められた。

茶樹の器官別による施肥時期別の化学肥料窒素の利用率および土壌への窒素残存率を第5表に示した。定植1年目における施肥時期別因子と施肥法因子は新芽および成葉においていずれも1%水準で有意差が認められたが, 堆肥施用量因子による有意性は認められなかった。すなわち, 新芽および成葉の化学肥料窒素の利用率は, 慣行区に比べ, 分施肥区の方が明らかに有意に高かった。奥野 (1994) は主効果因子を含む交互作用が有意であっても, そのF値が主効果のそれより遙かに小さい (1/4~1/5) 場合は交互作用を無視できると報告した。従って, 定植1年目の新芽における施肥時期別と施肥法 (A×B) による交互作用も5%水準で有意であったものの, 交互作用のF値 (4.7) は施肥時期別F値 (45.6) と分施肥の有無F値 (25.7) より小さいことから, それらの交互作用を無視できると判断した (表にF値を省略した)。

次に, 施肥時期別における各器官の窒素の利用率の多重比較結果を第6表に示した。定植1年目の新芽の春肥, 芽出肥の窒素利用率はそれぞれ30.4%, 36.9%で夏肥, 秋肥より有意に高かった。年4回の施肥のなかで夏肥の化学肥料窒素の利用率は7.3%で最も低かった。これに対し, 成葉の施肥時期別の化学肥料窒素の利用率は, 芽出肥が夏肥より5%水準で有意に低かった以外, 各施肥時期の間に有意差が認められなかった。

2. 定植2年目の試験結果

第4表に示した定植2年目の一番茶期における器官別乾物重に関する分散分析結果をみると, 成葉を除き, 分施肥区

第5表 茶樹の器官別による施肥時期別の化学肥料窒素の利用率および土壌への窒素残存率.

施肥時期別	施肥法	堆肥施用量	定植1年目		定植2年目					
			新芽 (%)	成葉 (%)	新芽 (%)	成葉 ¹⁾ (%)	茎 (%)	根 (%)	土壌 (%)	不明分 ²⁾ (%)
夏肥	慣行	2t	7.3	11.1	4.5	-	2.6	2.9	16.3	73.7
		4t	3.9	7.4	8.2	-	5.7	4.9	32.7	48.6
	分施	2t	9.2	16.4	12.8	-	7.8	7.7	14.5	57.2
		4t	9.1	16.7	7.9	-	8.2	8.1	8.8	67.1
秋肥	慣行	2t	6.4	8.7	10.8	-	4.7	5.2	9.3	70.1
		4t	7.6	8.7	12.2	-	6.0	5.2	10.1	66.4
	分施	2t	20.3	8.6	28.0	-	11.7	12.1	6.2	42.0
		4t	17.6	10.6	25.5	-	10.5	14.4	5.9	43.7
春肥	慣行	2t	26.5	12.0	23.6	-	4.5	7.9	10.7	53.3
		4t	31.3	7.9	20.9	-	5.6	8.0	25.7	39.8
	分施	2t	35.6	16.3	18.6	-	4.2	9.5	10.6	57.1
		4t	28.1	11.8	38.9	-	7.0	11.6	9.0	33.6
芽出肥	慣行	2t	34.3	5.6	26.1	-	5.0	8.5	19.8	40.7
		4t	16.2	2.7	31.9	-	4.1	12.5	32.4	19.1
	分施	2t	47.3	11.6	31.9	-	2.2	11.1	38.1	16.6
		4t	48.6	9.9	36.9	-	5.1	10.3	17.1	30.5
分散分析	施肥時期別 (A)		**	**	**	-	**	**	**	**
	施肥法 (B)		**	**	**	-	**	**	**	*
	堆肥施用量 (C)		ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns
	A × B		*	ns	ns	-	*	*	ns	ns
	A × C		ns	ns	ns	-	ns	ns	*	ns

表内の値は2反復の平均値.

各時期施肥窒素量に占める器官別の化学肥料窒素利用率 (%) = 器官別に吸収された ¹⁵N 量 / 各時期の ¹⁵N 施用量 × 100.

**, *, ns はそれぞれ 1% 水準で有意, 5% 水準で有意, 有意でないことを示す. B × C および A × B × C は有意でない.

1): 定植2年目の成葉は冬～早春に殆どが落葉したため, ¹⁵N の分析対象外となった.

2): 溶脱や脱窒などによる損失した窒素をすべて含む.

第6表 施肥時期別における各器官の窒素の利用率および土壌への残存率の多重比較.

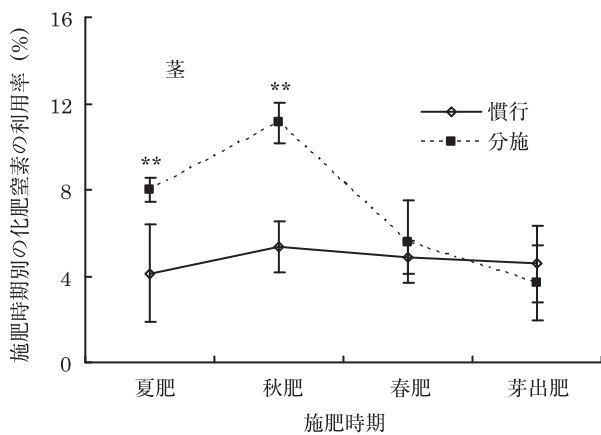
施肥時期別	定植1年目		定植2年目					
	新芽 (%)	成葉 (%)	新芽 (%)	茎 (%)	根 (%)	土壌 (%)	茶樹全体 (%)	不明分 (%)
夏肥	7.3 b	12.9 a	8.3 c	6.1 b	5.9 b	18.1 ab	20.3	61.6 a
秋肥	12.9 b	9.1 ab	19.1 b	8.2 a	9.2 a	7.9 c	36.5	55.5 a
春肥	30.4 a	12.0 ab	26.1 ab	5.3 bc	9.4 a	12.3 bc	40.8	53.5 a
芽出肥	36.9 a	7.7 b	31.7 a	4.1 c	10.6 a	26.9 a	46.4	26.7 b

同一アルファベットは Tukey 法により 5% 水準で有意差のないことを示す.

の各器官の乾物重は慣行区より有意に高くなった. 分施の効果は新芽 (その他および合計), 茎, 根に 1% 水準で有意に現れた. 定植2年目の成葉はほとんど落葉していたため, 成葉の乾物重についての分施の効果が確認できなかった. 堆肥の施用効果は一芯三葉および根の乾物重で有意性が認められた.

前述の第5表によれば, 定植2年目の施肥時期別および施肥法の両因子は新芽, 茎, 根の化学肥料窒素の利用率および土壌への残存率のいずれにおいても 1% 水準で有意差

が認められたが, 堆肥施用量因子においては有意性が認められなかった. また, いずれの器官においても, 分施区の化学肥料窒素の利用率は慣行区のそれよりも有意に高かった. それに対して, 土壌への化学肥料窒素の残存率では分施区の方が有意に低かった. 定植2年目の不明分はポット外への施用硫酸の窒素成分の溶脱, 脱窒および落葉した分であると考えられる. 時期別窒素施用量に占める不明分は, 施肥時期別で夏肥, 秋肥, 春肥の方が芽出肥より有意に大きく (第6表), 施肥法からみると慣行区より分施区の方



第3図 茎と根による時期別の窒素施用量に占める化学肥料窒素の利用率。

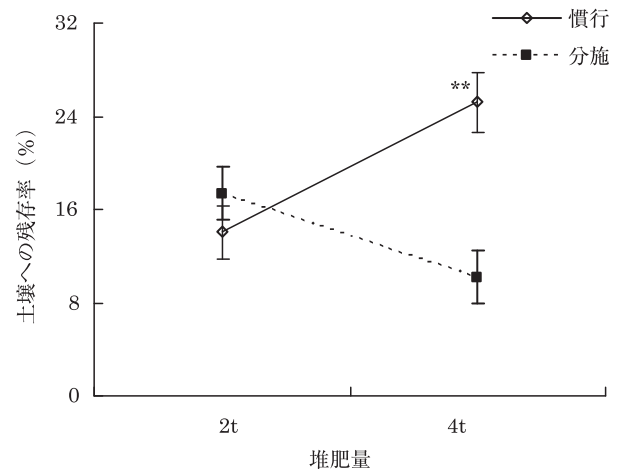
**は Bonferroni 法により 1%水準で慣行区・分施区に有意差があることを示す。

エラーバーは標準偏差 (n = 4)。

が5%水準で有意に低かった(第5表)。また堆肥施用量の違いによる差異は認められなかった。

次に第6表に示した施肥時期別における各器官の窒素の利用率および土壌への残存率の多重比較結果(定植2年目)をみると、新芽では芽出肥が31.7%、春肥が26.1%、秋肥が19.1%、夏肥が8.3%となった。新芽については定植1年目、2年目とも類似の結果となった。すなわち、芽出肥が夏肥や秋肥と比較して有意に高くなった。茎では秋肥の化学肥料窒素の利用率(8.2%)が夏肥、春肥、芽出肥より有意に高くなった。根では夏肥の化学肥料窒素の利用率(5.9%)が有意に低かった以外、秋肥、春肥、芽出肥の利用率の間に有意差は認められなかった。年4回の施肥時期別の化学肥料窒素の利用率は、新芽と根では芽出肥、春肥、秋肥、夏肥の順に、茎では秋肥、夏肥、春肥、芽出肥の順にいずれも減少する傾向がみられた。土壌への化学肥料窒素の残存率では秋肥(7.9%)が低く、芽出肥(26.9%)が最も高かった。

本研究では第5表に示したように、茎、根の化学肥料窒素の利用率が施肥時期別と施肥法(A×B)、土壌への窒素



第4図 堆肥施用量の違いによる土壌への化学肥料窒素の残存率。

**は Bonferroni 法により 1%水準で慣行区・分施区に有意差があることを示す。

エラーバーは標準偏差 (n = 8)。

残存率が堆肥施用量(A×C)の交互作用があり、またそれらのF値は奥野(1994)の指摘した条件に達していなかった(表にF値を省略した)。よって、茎と根による時期別の窒素施用量に占める化学肥料窒素の利用率について因子間の交互作用とその検定結果を第3図に示した。ここでは施肥時期因子の水準ごとに Bonferroni 法で施肥法(慣行と分施)間の有意差の検定(石村 2006)を行った。その結果、茎および根による化学肥料窒素の利用率が慣行区と分施区とを比較して有意差が認められたのは夏肥と秋肥であった。

堆肥施用量の違いによる土壌へ化学肥料窒素の残存率について因子間の交互作用とその検定結果を第4図に示した。ここでは堆肥施用量因子の水準ごとに Bonferroni 法で施肥法(慣行と分施)間の有意差の検定を行った。その結果、堆肥2tにおいては分施区と慣行区の土壌への化学肥料窒素の残存率に有意差を認めなかったが、堆肥4tにおいては、明らかに分施区の化学肥料窒素の残存率が慣行区のそれより有意に低くなった。

化学肥料窒素の年間施用量に占める各施肥時期の窒素利用率(定植2年目)を第7表に示した。分施を行った夏肥と秋肥においては分施区の化学肥料窒素の利用率が慣行区のそれより約2倍高かったが、春肥と芽出肥の両区では有意差が認められなかった。茶樹による化学肥料窒素の年間利用率も夏肥・秋肥の分施によって5%水準で有意に高くなった。化学肥料窒素の年間利用率に対する堆肥の施用による有意差は認められなかった。定植2年目の茶樹による年間の化学肥料窒素の利用率は、慣行区が平均28.0%、分施区が平均44.0%であった(成葉の大部分が冬季に落葉したために、成葉の吸収分を除く)。

第7表 化学肥料窒素の年間施用量に占める各施肥時期の窒素利用率 (定植2年目).

施肥法	堆肥施用量	夏肥 (%)	秋肥 (%)	春肥 (%)	芽出肥 (%)	年間 (%)
慣行	2 t	2.1	6.5	11.3	6.9	26.7
	4 t	3.9	7.3	10.8	7.2	29.2
分施	2 t	5.8	16.3	10.4	7.0	39.6
	4 t	5.0	15.8	18.5	9.1	48.3
分散分析	施肥法	**	**	ns	ns	*
	堆肥施用量	ns	ns	ns	ns	ns
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns

表内の値は2反復の平均値.

年間施肥窒素全量中に占める各施肥時期別の化学肥料窒素利用率 (%) = 各時期に吸収された ^{15}N 合計量 / 年間 ^{15}N 施用量 $\times 100$.

**, *, ns はそれぞれ 1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意でないことを示す.

考 察

茶樹の生育量 (第4表) をみると, 成葉を除き, 各器官において定植2年目は定植1年目に比べて, 1株あたりの乾物重が増加したことから, 試験区の茶樹の生育状況はほぼ良好であった. 分施の効果が両年とも新芽 (その他, 合計), 茎および根の乾物重に強く現われたが, 収穫部位としての一芯三葉についての影響は定植2年目しか確認されなかった. これに対して, 堆肥施用の効果が両年とも一芯三葉および根の乾物重でみられた. 以上のことから, 夏肥・秋肥の分施または堆肥施用量の増加により, 茶樹の生育を促進できる. 特に分施は栄養貯蔵器官の乾物重の増加に寄与したと考えられる.

第7表に示したように, 年間の施用窒素の利用率は慣行区が平均 28.0%, 分施区が平均 44.0%であった. しかし, この利用率には殆どが落葉してしまった成葉分が欠落しているので定植1年目の成葉の化学肥料窒素の利用率 (慣行区が 6~8%, 分施区が 13~14%) を参考にすると, 落葉していない場合の茶樹による化学肥料窒素の利用率は, 慣行区が 35%前後, 分施区が 55%前後で推移するものと推測される. 小川 (1981) は成木園の窒素 540 kg ha^{-1} 施肥量での吸収率は 38%であると報告し, 保科 (1985) も成木園において年間 600 kg ha^{-1} の窒素を施用した場合, 1年間の窒素吸収率は 40%前後と推定している. また橘ら (1996) は成木化に伴う茶樹の成長速度の低下とともに肥料窒素の吸収量も減少し, 7年生茶園に窒素 600 kg ha^{-1} を施用した場合, 窒素利用率が 21.5%と報告している. しかし, 本研究 (ポットを用いて地植えた) で用いられた茶樹は2年生幼木であり, 成木園の施肥管理より極めて丁寧に行ったことを考えると, 本研究から得られた化学肥料窒素の利用率は成木園で得られた既存データに比べ大きくないと考えられる. また, 前報 (付ら 2007) で報告したように, 茨城県の窒素の施肥基準量 (480 kg ha^{-1}) で管理された茶園の深度 100 cm の土壌溶液の無機態窒素濃度が, 測定期間の3月~11月を通じて 130 mg L^{-1} 前後となること, また石

礫に富み根域層が 10~20 cm 程度で薄い茶園土壌では, 二番茶期から秋肥にかけて可給態窒素が著しく低下したことから, 現行の施肥基準でも多量の窒素肥料が溶脱している可能性が高い. したがって, 茶園への施肥量の低減, 施肥時期および方法をさらに検討するなかで窒素の利用率を向上させる対策をたてることが大切と考えられる.

本研究における年4回の施肥 (茨城県施肥基準) のうちに, 各時期の施肥窒素量 (第2表) に対する茶樹の化学肥料窒素の利用率 (第6表の茶樹全体) は夏肥が 20.3%, 秋肥が 36.5%, 春肥が 40.8%, 芽出肥が 46.4%であった. 定植2年目の化学肥料窒素の年間施用量に占める各施肥時期の窒素利用率 (第7表) をみると, 夏肥および秋肥を多数回 (10回) 分施すると, 年間化学肥料の窒素利用率が慣行区より約 1.6 倍 (堆肥 2t 区と 4t 区の平均) 高くなった. ところが, 前述したように二番茶期から秋肥にかけて可給態窒素が著しく低下するにもかかわらず, 夏肥と芽出肥を省く農家もあり, 茶樹の養分実態に即した肥培管理となっていない. したがって, 化学肥料窒素の利用率を向上させるためには, 今回のポット実験で夏肥・秋肥の多数回分施によって得られたような効果が期待できる方法を検討することが重要と考えられる. 辻・木下 (2003) は, てん茶園における樹冠下点滴施肥が, 収量・品質を維持・向上しながら窒素施肥量を削減可能とする有効な手段となりうることを示唆した. 本研究は点滴施肥ではないが, 夏肥と秋肥の多数回 (10回) 分施によって, 夏季の降雨による肥料の流亡を抑制, 根および茎をはじめとする茶樹の生育 (第4表) の促進および施肥窒素の利用率向上 (第7表) をもたらしことが示唆された.

第3図からみると, 茎および根の化学肥料窒素の利用率において慣行区に比べて分施区の夏肥および秋肥の窒素利用率は明らかに高くなったことと, 定植1, 2年目における分施区の茎および根の乾物重は対応する慣行区のそれより有意に高かったことを考え合えると, 分施によって茶樹の茎および根の生育, また化学肥料窒素の吸収に強い影響を与えたと考えられる. 小西ら (1978) は ^{15}N を用いて砂

第8表 栽培跡地土壌の化学性（定植2年目）.

施肥法	堆肥施用量	pH	EC	可給態窒素	可給態リン酸	交換性イオン (cmol _c kg ⁻¹)		
		(H ₂ O)	(μ S cm ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
慣行	2 t	5.06	180.7	45.0	128.0	7.5	1.0	1.0
	4 t	5.13	210.6	50.0	133.0	8.2	1.4	1.3
分施	2 t	5.11	201.8	57.0	83.0	7.5	1.1	1.0
	4 t	5.20	205.6	49.0	117.0	8.3	1.5	1.1
分散分析	施肥法	ns	ns	ns	**	ns	**	ns
	堆肥施用量	*	ns	ns	*	**	**	**
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

表内の値は2反復の平均値.

**, *, ns はそれぞれ1%水準で有意, 5%水準で有意, 有意でないことを示す.

耕法によって検討したところ, 秋施用, 冬施用の窒素は相対的に根, 茎, 成葉への移行が高く, 早春施用, 春施用の窒素は相対的に新芽に多く移行し, 新芽生成に利用され, その寄与率が高かったと報告している. また, 永年性植物である茶樹に施用された肥料分は, 一時的に成葉・茎・根に分配され, 萌芽期に新芽に再転流すると報告 (小西ら 1978, 保科 1985, Okano ら 1994, 岡野ら 1997, 烏山ら 2000) されている. 本研究の結果はそれらの結果とほぼ符合している. つまり, 夏肥および秋肥の多数回分施は主に栄養貯蔵器官である成葉, 茎, 根への化学肥料窒素の貯蔵を促進し, 生育量を向上させることを示唆する. 松元ら (2002) は鹿児島県大隅半島の茶栽培の研究の中で, 窒素施用量が県の基準施肥量に近い 546 kg ha⁻¹ の成木園で生葉収量 (一番茶, 二番茶) が 10~18 Mg ha⁻¹ である場合の施肥回数は 8~10 回, そのうち夏肥から秋肥にかけて 5~6 回に分施されている例を報告している. ところが, 前報の調査対象となった大子地方における年間窒素施肥量は茨城県の窒素施肥基準量 (480 kg ha⁻¹, 施肥回数 4 回) に近い農家では, 生葉収量は鹿児島県の 1/3~1/4 にすぎない. また, 野中 (2005) が, 主要茶産地の施肥基準にみる年間窒素施用量は 1998 年まで 800 kg ha⁻¹ 以上であったものが, 現在は概ね 500~600 kg ha⁻¹ となっていると述べている. そのうち, 従来から 500 kg ha⁻¹ 前後であったところ (茨城県を含む) は, この間にほとんど改訂されず, 環境保全型農業推進の面からも, さらに施肥基準の見直しを検討する必要がある. また, 施肥方法に関する各地の研究機関の試験から, 点滴施肥 (堺田ら 2005) は有力な施肥法として, 玉露園等の高級茶を生産する地域などで普及が進んでいる. しかし, 主に煎茶を生産するこの地方にとって, 点滴設備が高価 (木下・辻 2005) であり, 夏・秋季の多数回分施は労力面で非現実的であることおよび年 4 回の施肥窒素の利用率を考慮すると, 夏肥・秋肥に被覆肥料等肥効調節型肥料を用いることが考えられる. これについては別に検討する予定である.

ところで, 年間 800 kg ha⁻¹ の窒素を施用した茶園では施用量の約 4.6% が亜酸化窒素として発生したとされた (日

本土壌協会 1996). 第3図に示したように, 堆肥 2 t 区の場合と異なり, 堆肥 4 t 区に分施区において化学肥料窒素の残存率が慣行区のそれより有意に低くなった. この理由は堆肥の増施がしばしば亜酸化窒素の発生を促進するとの指摘 (本土壌協会 1996) から脱窒による窒素の減少の可能性も否定できない. 鶴田 (2000) は, 窒素の溶脱割合は降水量や土性などの影響が大きく, 脱窒割合は化学肥料窒素の施用量, 有機物施用量, 残渣 (落葉), 土壤水分量, 地温などの影響を受けると報告しているが, 本研究では脱窒と溶脱による窒素を測定しなかったことから, 可能性を指摘するに止めたい.

栽培跡地土壌の化学性に関する分析結果 (定植2年目) を第8表に示した. 定植前の土壌 pH 5.79 が, 2年後に pH 5.05~5.20 に低下したのは一般畑に比べて多い窒素 (硫酸) の施用に伴う土壌の酸性化とみられる. また, 可給態リン酸 (P₂O₅) が 450 mg kg⁻¹ から 83~133 mg kg⁻¹ に著しく低下したのは, 施肥リン酸が土壌と反応して難溶性化したことによると考えられる.

謝辞: 本研究の実施にあたってご協力いただいた元茨城県農業総合センター山間地帯特産指導所の鈴木清貴氏, 実験の一部を担当した元宇都宮大学農学部土壌学研究室の伊澤真名美氏, 石井奈緒氏, 岸辰典氏, 降旗佳奈枝氏, 論文作成の際に助言をいただいた本学の吉田智彦教授, 和田義春准教授に深く感謝申し上げます.

引用文献

- 淵之上弘子・八木勇 1982. 関東地方における茶園防寒法に関する研究. 埼玉茶試研報 7: 2-112.
- 付杰奇・高間由美・鈴木清貴・加藤秀正・星野幸一・平井英明 2007. 経済的立地限界の茶栽培 - 茨城県奥久慈地方の茶栽培の課題 -. 土肥誌 78: 501-506.
- 保科次雄 1985. 茶樹による施肥窒素の吸収に関する研究. 茶試研報 20: 1-89.
- 茨城県農林水産統計協会 2005. 2004~2005年茨城県農林水産統計年報. 関東農政水戸統計・情報センター編集 108-109.
- 石垣幸三 1978. 茶樹の栄養特性に関する研究. 茶試研報 14: 1-154.
- 石村貞夫 2006. SPSS による分散分析と多重比較の手順 [第3版]. 東

- 京図書, 東京. 87-103.
- 鳥山光昭・内村浩二・寿江島久美子・加治俊幸 2000. 成木茶園における窒素の施肥時期と新芽への分配. 鹿児島茶試研報 14: 12-24.
- 木下忠孝・辻正樹 2005. 窒素施肥量を大幅に削減する茶の点滴施肥法. 農業技術 60: 208-212.
- 小西茂毅・太田充・岩瀬文男 1978. 茶樹における窒素の吸収利用に関する研究. I. 茶樹各施肥期に吸収された窒素の新芽への寄与. 土肥誌 49: 221-225.
- 小西茂毅 1991. 茶の植物栄養. 茶の科学. 朝倉書店, 東京. 23-32.
- 熊沢喜久雄 1980. 発光分光分析法による重窒素定量法. 重窒素利用研究法. 三井進午・吉川春寿・中根良平・熊沢喜久雄編. 学会出版センター, 東京. 31-33.
- 松元順・金恵花・堀口泰久・内村浩二・江頭和彦 2002. 茶園土壌の酸性化と養分保持力の関係. 土肥誌 73: 719-724.
- 日本土壤肥料学会監修 1986. 土壤標準分析・測定法. 博友会, 東京. 70-160.
- 日本土壤協会 1996. 平成7年度環境保全型土壤管理対策推進事業-土壤生成温室効果ガス動態調査報告書 (概要編). 日本土壤学会. 1-28.
- 野中邦彦 2005. 茶園における窒素環境負荷とその低減のための施肥技術. 茶試研報 100: 29-41.
- 岡野邦夫・松浦啓晶・鹿島勝義・松尾喜義 1997. 幼茶樹の窒素吸収能力の季節変化. 茶試研報 85: 1-8.
- Okano, K., S. Komaki and K. Matsuo 1994. Remobilization of nitrogen from vegetative parts to sprouting shoots of young tea (*Camellia sinensis* L.) Plants. Jpn. J. Crop Sci. 63: 125-130.
- 奥野忠一 1994. 農業実験計画法小史. 日科技連. 69-71.
- 小川茂 1981. 施肥窒素の収支について. 茶試研報 53: 101.
- 堺田輝貴・森山弘信・中村晋一郎・吉岡哲也 2005. 玉露園における点滴施肥による施肥量削減. 茶試研報 100: 96-98.
- 橘尚明・池田敏久・池田勝彦 1996. 茶樹における樹齢の進行および多肥条件下での窒素吸収特性. 日作紀 65: 8-15.
- 辻正樹・木下忠孝 2003. てん茶園における樹冠下点滴施肥技術. 土肥誌 74: 669-672.
- 鶴田治雄 2000. 地球温暖化ガスの土壤生態系との関わり. 3. 人間活動による窒素化合物の排出と亜酸化窒素の発生. 土肥誌 71: 554-564.

Green Tea Cultivation at the Northern Limit of Economical Cultivation—Rate of uptake of nitrogen fertilizer by young tea plants after application at different periods and the efficient application method—: Jieqi Fu¹⁾, Mayumi CHO²⁾, Koichi HOSHINO³⁾, Hideaki HIRAI³⁾ and Hidemasa KATO³⁾ (¹⁾United Grad. Sch. of Agr. Sci., Tokyo Univ. of Agr. and Tech.; ²⁾Arai Shokuhin Co. Ltd.; ³⁾Fac. Agr., Utsunomiya Univ., Utsunomiya, Tochigi 321-8505, Japan)

Abstract: In order to evaluate the rate of uptake of chemical fertilizer nitrogen by the young tea plants, after application at four seasons in Daigo-machi of Okukuji district, Ibaragi prefecture, ¹⁵N tracer experiments were performed with the pot-vegetation test, in the experimental farm, Utsunomiya University where precipitation and temperature are similar to those in Daigo-machi, Ibaragi. The uptake rate of the chemical fertilizer nitrogen applied in the summer, autumn, spring, and the bud break season was estimated to be 20.3%, 36.5%, 40.8%, and 46.4%, respectively. The rate of uptake by the young tea plants of the chemical fertilizer nitrogen in the second year was 28% when the standard application practice recommended by Ibaragi prefecture was implemented, while it was 44% when frequent split application from summer through autumn was implemented. However, the experiment was conducted under the abnormally cold condition in the winter when there were no mature leaves. Therefore, the uptake rates of nitrogen fertilizer applied by standard and split application method would be estimated to be around 35% and 55%, respectively, if the weather condition in the winter was normal. The split fertilization from summer through autumn improved storage of the fertilizer nitrogen in the nutrient storage organs such the mature leaves, stems, and roots, resulting in the increase in the plant growth. As a measure to suppress the marked decrease in available nitrogen from the second tea season through the autumn fertilization period in the Daigo-machi, frequent split application of chemical fertilizer in the summer and the autumn would be useful.

Key words: ¹⁵N tracer; Tea cultivation at the northern limit; Uptake rate of the chemical fertilizer nitrogen.