

施設ハクサイ収穫後の土壌残存窒素の推定と後作トマトに対する窒素施肥量の算出法

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	奥村, 理 細淵, 幸雄 日笠, 裕治
巻/号	88巻6号
掲載ページ	p. 549-553
発行年月	2017年12月



施設ハクサイ収穫後の土壌残存窒素の推定と後作トマト に対する窒素施肥量の算出法

奥村 理・細淵幸雄[†]・日笠裕治

キーワード 窒素施肥, 土壌残存窒素, ハクサイ, トマト

1. はじめに

土壌の化学性に関する土壌診断では、土壌分析の結果に基づき、作物生産に必要な養分量に応じて施肥量を決めることが主な目的となる。「北海道施肥ガイド2015」(北海道農政部, 2015)は、作物・作型別に基準収量とそれを確保するための施肥標準量を定め、土壌肥沃度に応じて施肥量を増減する施肥対応の方法を示している。北海道の施設栽培では、秋期の作物収穫後から翌年春までの間に土壌分析を実施し、分析結果に基づいた施肥対応を行うのが一般的である。

北海道の南西部地域では、道内の他の地域に比べ積雪が少なく温暖であるという気象条件を活かし、周年被覆のハウスにおいて3月上旬からハクサイ (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) を栽培した後、5月定植、7~9月収穫のトマト (*Solanum lycopersicum*) を栽培する施設内輪作が行われている。「北海道施肥ガイド2015」の施設ハクサイの基準収量は 10kgm^{-2} であり、これを確保するために必要な窒素施肥標準量は $24\text{g}\cdot\text{Nm}^{-2}$ とされている。しかし、病虫害などで収量が想定よりも少ない場合には、収穫後にも多くの窒素が土壌中に残存することとなる。

ハクサイは結球部のみが収穫され外葉は残渣としてすき込まれるのが一般的であり、残渣に含まれる窒素の一部は後作のトマトに利用されると考えられる。しかし、後作の窒素施肥量を決める際にハクサイ残渣の窒素は考慮されておらず、土壌中の窒素が過剰となっている可能性がある。土壌中の過剰な窒素は後作のトマトの草勢を旺盛にすることから、着果不良の誘発、過繁茂による整枝作業の非効率

化や病害発生の一因となる。これを回避するには、土壌に残存している窒素およびハクサイ残渣のすき込みにより土壌に供給される窒素を考慮して施肥することが重要である。

施設野菜では、作付け前の土壌硝酸態窒素含量を分析し、これを診断値として窒素施肥対応が行われている。つまり、上記のような施設内輪作体系では、ハクサイ、トマトの作付け前、それぞれに土壌分析を行うことが基本となる。しかし、生産現場では、ハクサイ収穫からトマト定植までの期間が短いこと、また他の作業と競合する場合があることから、時間的にも労力的にもトマト定植前に土壌分析を行うことが困難な場合が多い。また、限られた期間の中で土壌分析を行う場合でも、ハクサイ残渣をすき込んだ直後の土壌を分析することとなり、その硝酸態窒素含量は後作トマトが利用できるハクサイ残渣に由来する窒素量を反映する値とはならない。

これらのことから、本報では、従来ハクサイ収穫後に行うこととされている土壌分析を実施することなく、後作トマトに対する適正な窒素施肥量を算出する方法について検討したので、その内容について紹介する。

2. 本技術の概要

本技術は、施設栽培においてハクサイ収穫後の土壌残存窒素を推定するとともに、ハクサイ収穫後にすき込まれる残渣に由来する窒素減肥可能量を考慮した後作のトマトに対する窒素施肥対応法を示したものである。土壌残存窒素は、ハクサイ作付け前の土壌硝酸態窒素含量、窒素施肥量およびハクサイの結球収量から推定し、残渣に由来する減肥可能窒素量は、結球収量から推定した外葉窒素吸収量の70%とする。これら2つの値から後作トマトに対する適正な窒素施肥量を算出することが可能である。

3. 本技術の開発手順

1) 試験方法

(1) 土壌残存窒素の推定法

2013~15年の3カ年、北海道立総合研究機構(道総研)道南農業試験場の褐色低地土、のべ5ハウスでハクサイを栽培した。作型は、「北海道野菜地図(その39)」(北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会, 2016)に示される早春まきハウス作型(収穫期5

Osamu OKUMURA, Yukio HOSOBUCHI and Yuji HIKASA:
Estimation of residual soil nitrogen and nitrogen fertilizer
application rates for tomato following Chinese cabbage in
greenhouse

(地独)北海道立総合研究機構道南農業試験場(041-1201 北
斗市本町680番地)

[†]現在,(地独)北海道立総合研究機構中央農業試験場(069-
1395 夕張郡長沼町東6線北15号)

Corresponding Author:奥村 理 okumura-osamu@hro.or.jp
2017年6月26日受付・2017年7月26日受理

日本土壌肥科学雑誌 第88巻 第6号 p. 549~553 (2017)

月5日～20日)に準じた作型とし、窒素施肥量は、 $14\sim 33\text{g-Nm}^{-2}$ の範囲で1～4水準、および無窒素とした。2013および2014年の2カ年、北海道北斗市の現地生産者ハウス10カ所において、ハクサイを栽培した。作型は早春まきハウス作型、窒素施肥量は $24\sim 30\text{g-Nm}^{-2}$ の範囲とした。ハクサイは適期に収穫し、外葉と結球に分け、結球部の収量、外葉と結球の窒素吸収量を測定した。また、一部の処理区を除き、作付け前および収穫後の土壌の硝酸態窒素含量を測定した。

(2) ハクサイすき込み残渣の窒素評価

ハクサイ外葉を通風乾燥機で乾燥(70°C , 48時間)した。乾燥物を粉碎し、目開き5mmのステンレス製ふるいでふるい分けし、ふるい下の画分を得た。この画分を目開き2mmのステンレス製ふるいでふるい分けすることにより得たふるい上の画分を埋設用試料とした。埋設用試料1.0gを、ポリエステル・ポリエチレン複合繊維製のメッシュ袋(9.5×6.0cm)に入れた。これを2015年6月17日にトマト栽培ハウスの土壌表面から約10cmの深さに埋設し、マルチフィルムを敷設した。これら試料を1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 43および51日後に取り出し、通風乾燥機で乾燥したのち、内容物を取り出し、窒素分析に供した。また、埋設直後(約1時間後)に取り出したものについて、同様の処理を行い窒素量の初期値とした。各処理は3反復で行った。

(3) 窒素推定による施肥対応の実証

2015年、道南農業試験場の褐色低地土のハウスでハクサイおよびトマトを栽培した。ハクサイは2月2日に播種、3月5日に定植、5月7日に結球部のみを収穫し、5月12日に外葉をほ場にすき込んだ。トマトは、7段取り主枝1本仕立てとし、4月2日に播種、5月27日にハクサイ収穫跡地に定植、7月17日～9月10日に収穫した。トマトの窒素施肥量は、窒素推定区として、本試験で得られた土壌残存窒素の推定値および残渣に由来する減肥可能窒素量を用いて算出した適正窒素施肥量(窒素推定により算出した施肥量)と、従来法区として、ハクサイ収穫後トマト定植前の土壌分析による硝酸態窒素含量を診断値とする従来の施肥対応法に基づく量の2処理とした。

2) 土壌残存窒素の推定法

ハクサイ収穫後の土壌に残存する硝酸態窒素含量の推定法を検討するにあたり、前提条件として、土壌の乾燥密度を低地土の標準的な値である 1Mg m^{-3} 、施肥した肥料が混和される深さを「北海道施肥ガイド2015」で示されている土壌診断のための土壌採取深20cmとした。また、土壌硝酸態窒素含量に関与する成分として、施肥によってほ場内に持ち込まれる窒素および収穫によってほ場外に持ち出される窒素を対象とした。施設栽培では、露地栽培と異なり降雨による窒素の溶脱がほとんど起こらないと考えられることから、これら2因子で窒素収支の大部分が説明できると想定し検討を進めた。

この条件下では、面積 1m^2 、厚さ20cmの土壌の重量

は 200kg となり、 200kg の土壌に 1g の窒素を混和した場合の窒素含量は 5mg kg^{-1} と計算される。つまり、 1m^2 あたり $B\text{g}$ の窒素を施肥した場合、土壌の窒素含量は $5B\text{mg kg}^{-1}$ 増加すると表現できる。同様に、 1m^2 あたりハクサイの総窒素吸収量(外葉窒素吸収量+結球窒素吸収量) $C\text{g}$ が収穫により持ち出された場合、土壌の窒素含量は $5C\text{mg kg}^{-1}$ 減少すると表現できる。ここで、元々土壌に含まれていた作付け前の土壌硝酸態窒素含量を $A\text{mg kg}^{-1}$ として、収穫後の土壌硝酸態窒素含量を算出する式を考案した(式(1))。

ハクサイ収穫後の土壌硝酸態窒素含量 (mg kg^{-1})

$$= A + 5B - 5C$$

A: 作付け前の土壌硝酸態窒素含量 (mg kg^{-1})

B: 窒素施肥量 (g m^{-2})

C: 総窒素吸収量 (g m^{-2}) (1)

土壌硝酸態窒素含量は、施設野菜の土壌の診断指標として用いられており、地域の分析機関において分析が可能である。また、窒素施肥量は生産者が自らの営農管理の中で把握可能である。一方、総窒素吸収量は、一般的には分析されていない項目であり、生産現場で把握することが困難であると予想される。そこで、生産現場で把握可能な結球収量に着目し、総窒素吸収量との関係を調査した。

ハクサイの結球収量と総窒素吸収量の関係を図1に示した。結球収量と総窒素吸収量の間には高い正の相関関係($r=0.90$)があったことから、これらを変数とする1次回帰式を作成し、これにより総窒素吸収量を推定することとした(式(2))。さらに、式(2)を式(1)に代入し、この式により得られる値を土壌残存窒素推定値と呼ぶこととした(式(3))。

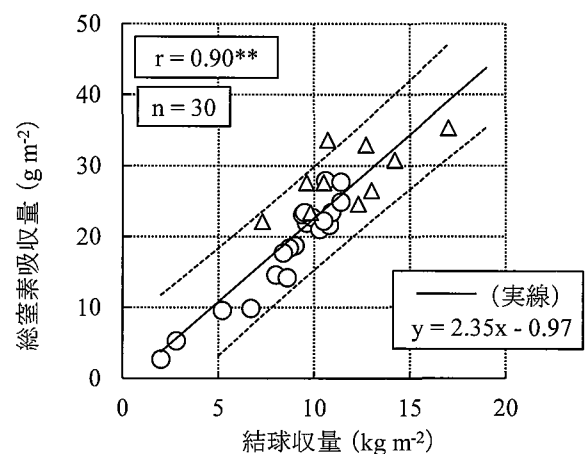


図1 ハクサイの結球収量と総窒素吸収量の関係
○場内 ($n=20$), Δ 現地 ($n=10$).

注1) 点線は、95%信頼区間を示す。

注2) **は、1%水準で有意を示す。

$$\begin{aligned} \text{総窒素吸収量 (g m}^{-2}\text{)} &= 2.35 D - 0.97 \\ \text{D: 結球収量 (kg m}^{-2}\text{)} & \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{土壌残存窒素推定値 (mg kg}^{-1}\text{)} \\ &= A + 5 B - 11.8 D + 4.9 \end{aligned} \quad (3)$$

道南農試で実施したハクサイ栽培試験のうち無窒素区を除く13処理区、および北斗市現地で実施したハクサイ栽培試験のうち土壌硝酸態窒素含量を測定した9処理区のデータを用いて、式(3)により土壌残存窒素推定値を算出し、この値と収穫後に実測した硝酸態窒素含量の関係を図2に示した。土壌残存窒素推定値と実測した硝酸態窒素含量の間には高い正の相関関係 ($r=0.93$) があり、これらを変数とする1次回帰式は傾きがほぼ1であり、切片が-2.94であった。「北海道施肥ガイド2015」の土壌診断に基づく施肥対応(表1)では、トマト作付け前の土壌硝酸態窒素含量を診断値として、0~200 mg kg⁻¹の間を50 mg kg⁻¹毎に分けた4区分と200 mg kg⁻¹以上の計5区分に分割し、その区分に応じた窒素施肥量を示している。土壌残存窒素推定値を用いて後作トマトの施肥対応を行う場合は、従来の土壌分析値の代わりに診断値として用いることになる。回帰式の切片-2.94は、50 mg kg⁻¹に比べ

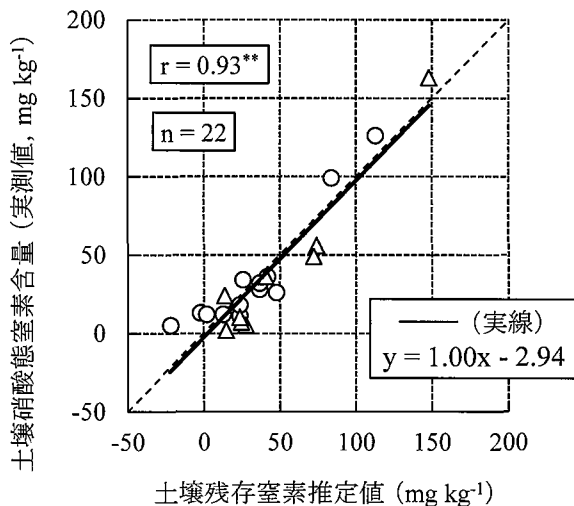


図2 土壌残存窒素推定値とハクサイ収穫後の土壌硝酸態窒素含量(実測値)の関係
○場内 (n=13), △現地 (n=9).
注1) 点線は、y=xを示す。
注2) **は、1%水準で有意を示す。

て十分に小さく、土壌残存窒素推定値が実測値と異なる区分となる危険性は低いと考えられる。このことから、土壌残存窒素推定値をそのまま診断値として用いても実用上問題は無いと判断した。

3) ハクサイすき込み残渣の窒素評価

ハクサイ外葉の乾燥粗粉砕物を埋設した時の窒素消失率の推移を図3に示した。窒素消失率は埋設翌日から急激に増加し、埋設後14日目では73.1%に達した。その後、消失は緩慢になり、埋設後28日目以降はほぼ一定に推移し、埋設後51日目の窒素消失率は79.7%であった。

埋設試験において、ハクサイの外葉乾燥粗粉砕物が初期から急激に消失したことは、窒素成分が速やかに溶出しているためと考えられる。「北海道緑肥等栽培利用指針」(北海道農政部, 2004)では、露地ハクサイの残渣に含まれる窒素はすき込み直後から放出されるとしている。また、結球収量6 kg m⁻²、外葉窒素吸収量3.6 g m⁻²の時の次作における減肥可能量を2 g m⁻²としており、これは外葉窒素吸収量のおよそ56%に相当する。ハウスでは、露地に比べ温度が高くすき込まれた外葉が速やかに分解されること、降雨による窒素の流亡がないことから減肥可能な窒素量は露地に比べて多くなると考えられる。このことから、埋設試験の14日目以降において確実に土壌中に溶出していると考えられる外葉窒素吸収量の70%に相当する量を、後作で利用可能な窒素量とするのが適当であると判断した。

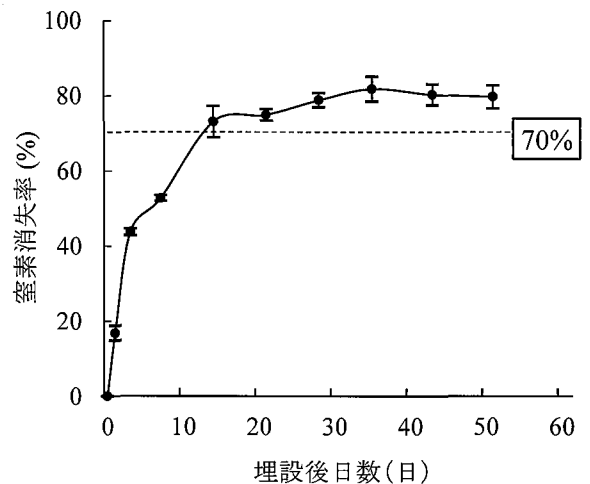


図3 埋設試験におけるハクサイ外葉の窒素消失率の推移
注) エラーバーは、平均値±標準偏差を示す。

表1 北海道施肥ガイド2015における夏秋どりトマトの窒素施肥対応表

窒素肥沃度水準	I	II	III	IV	V
土壌硝酸態窒素含量の範囲 (mg kg ⁻¹)	50 未満	50~100	100~150	150~200	200 以上
施肥量 (g-N m ⁻²)					
基肥	15	10	5	0	0
追肥 (1回目)	4	4	4	0	0
追肥 (2回目以降, 1回あたり)	4	4	4	4	0

〈留意事項(抜粋)〉窒素は各果房の2~3番果実がピンポン球大になった時点ごとに追肥する(摘心した位置から下の2果房は除く)。

後作での減肥可能量を算出するためには、外葉窒素吸収量を測定する必要があるが、総窒素吸収量と同様に生産現場で把握することが困難であると予想されることから、結球収量との関係を調査した。ハクサイの結球収量と外葉窒素吸収量の関係を図4に示した。両者には有意な正の相関関係 ($r=0.76$) があつたことから、これらを変数とする1次回帰式を作成し、この式により外葉窒素吸収量を推定することとした(式(4))。さらに、式(4)に0.7を乗じて、次作で減肥可能な窒素量の算出式を作成し(式(5))、この式により得られる値を残渣由来減肥可能窒素量と呼ぶこととした。

$$\text{外葉窒素吸収量 (g m}^{-2}\text{)} = 0.88 D - 0.80 \quad (4)$$

$$\text{残渣由来減肥可能窒素量 (g m}^{-2}\text{)} = 0.62 D - 0.56 \quad (5)$$

また、ハクサイ外葉すき込みからトマト定植までの期間は、短い場合でも1週間程度あり、その後トマトの根が活

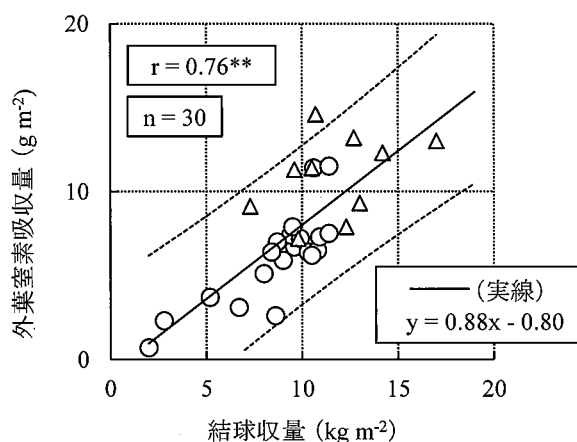


図4 ハクサイの結球収量と外葉窒素吸収量の関係
○場内 ($n=20$), Δ 現地 ($n=10$).
注1) 点線は、95%信頼区間を示す。
注2) ** は、1%水準で有意を示す。

着するまでに数日を要することから考えて、残渣由来減肥可能窒素量は、基肥から減じるのが適当であると判断した。

4) 窒素推定による施肥対応の実証

2015年、道南農試ハウスのハクサイ作付け前の土壌硝酸態窒素含量は 3mgkg^{-1} 、ハクサイの窒素施肥量は 28g-Nm^{-2} 、結球収量は 10.5kgm^{-2} であつた。式(3)により土壌残存窒素推定値は 24mgkg^{-1} 、式(5)により残渣由来減肥可能窒素量は 6.0g m^{-2} と算出された。土壌残存窒素推定値を診断値と見なし「北海道施肥ガイド2015」に照らし合わせると、窒素肥沃度水準Iに該当し、7段取りで対応する施肥量は基肥 15g-Nm^{-2} 、追肥 $4\text{g-Nm}^{-2}\times 5$ 回、合計 35g-Nm^{-2} となり、基肥量から残渣由来減肥可能窒素量を差し引くと 9.0g-Nm^{-2} となつた。この値を参考に窒素推定区の施肥量を基肥 10g-Nm^{-2} 、追肥 $4\text{g-Nm}^{-2}\times 5$ 回、合計 30g-Nm^{-2} とした。一方、ハクサイ収穫後に実測した土壌硝酸態窒素含量は 18mgkg^{-1} であつた。これを診断値として「北海道施肥ガイド2015」に照らし合わせると、式(3)を用いて算出した土壌残存窒素推定値の場合と同様、窒素肥沃度水準Iに該当し、施肥量は基肥 15g-Nm^{-2} 、追肥 $4\text{g-Nm}^{-2}\times 5$ 回、合計 35g-Nm^{-2} となることから、これを従来法区の施肥量とした。

トマトの果実収量および乾物重を表2に窒素含有率および窒素吸収量を表3に示した。良果収量は、窒素推定区が 11.1kgm^{-2} 、従来法区が 10.6kgm^{-2} であり、両者の間に有意な差は認められなかつた。乾物重、窒素含有率および窒素吸収量についても有意な差は認められなかつた。

有機質肥料の中で窒素無機化速度が比較的速いとされる魚かすを、北海道中央部地域の露地ほ場に5月中旬から埋設した試験では、埋設後72日目の窒素消失率が84%であつた(小野寺・中本, 2007)とする報告がある。また、ハウス夏秋どりトマトに対して基肥窒素の全量を堆肥および魚かすとして、定植の約14日前に施用する条件では、窒素全量を化学肥料で施肥した場合と同等の良果収量を得

表2 窒素推定により算出した施肥量で栽培したトマトの収量および乾物重

処理区	窒素施肥量 (g-Nm^{-2})			果実収量 (kgm^{-2})		乾物重 (gm^{-2})			
	基肥	追肥	合計	良果	全体	茎部	葉部	果実	合計
窒素推定	10	4×5回	30	11.1	12.7	224	379	742	1345
従来法	15	4×5回	35	10.6	11.9	215	375	714	1304

注) 各項目とも処理間に有意差なし (t検定, 5%水準)。

表3 窒素推定により算出した施肥量で栽培したトマトの窒素含有率および窒素吸収量

処理区	窒素含有率 (gkg^{-1})			窒素吸収量 (gm^{-2})			
	茎部	葉部	果実	茎部	葉部	果実	合計
窒素推定	14.0	26.1	14.4	3.1	9.8	10.7	23.6
従来法	14.2	25.6	15.1	3.1	9.6	10.8	23.5

注) 各項目とも処理間に有意差なし (t検定, 5%水準)。

表4 トマト栽培試験における基肥相当の窒素供給量と北海道施肥ガイド2015における基肥窒素量

処理区	トマト栽培試験			北海道施肥ガイド2015 における基肥窒素量 (d)	差 (c-d)
	基肥窒素量 (a)	ハクサイ外葉に由来する 窒素量 (b)	基肥相当の窒素供給量の 合計 (c=a+b)		
窒素推定	10	6	16	15	1
従来法	15	6	21	15	6

(単位 g-Nm⁻²)

ることができる(八木ら, 2008)ことが報告されている。本試験の埋設試験において、埋設後51日目の窒素消失率が79.7%であったことから、ハクサイ外葉に含まれる窒素も速効性の有機質肥料とほぼ同様の働きをすると考えられ、少なくとも本試験で設定した残渣由来減肥可能窒素量に相当するハクサイ外葉窒素吸収量の70%は、後作のトマトで利用できる形態に変化していると考えられる。つまり、従来法区では、化学肥料により施用した15g-Nm⁻¹にハクサイ外葉に由来する窒素6g-Nm⁻²が加わり、土壌に供給された窒素の合計は21g-Nm⁻²であったと見なせる。一方、窒素推定区では、化学肥料による10g-Nm⁻²に残渣すき込みによる窒素が加わり、合計16g-Nm⁻²が土壌に供給されたと見なせる。前述のとおり「北海道施肥ガイド2015」で窒素肥沃度水準Iに対応する基肥量は15g-Nm⁻²であり、窒素推定区の基肥量はほぼ適正、従来法区は6g-Nm⁻²程度過剰であると判断できる(表4)。

施設ハクサイの後作トマトでは土壌分析の実施が困難であることから、十分な施肥対応が行われていなかった。また、ハクサイの後作における残渣由来の窒素を考慮した施肥対応法は、露地栽培では一定の基準が示されていたものの、施設栽培では明らかにされていなかった。施設の有効利用に資する施設内輪作体系は、今後増加する可能性がある。このような施設内輪作体系の後作では、土壌残存窒素を推定により求め、これを土壌分析値と見なし施肥対応を行うとともに、前作の残渣に含まれる窒素を考慮して適正施肥量を決めることが重要である。

4. 本技術適用上の留意点

降雨の影響を受けない施設栽培で、施設内の温度が比較的低い早春まきハウス作型のハクサイにおいて、標準的な出荷規格に達した後に収穫される場合に適用できる。

謝辞：本稿をとりまとめるにあたり、農研機構北海道農業研究センター水田作研究領域中村卓司博士、帯広畜産大学グローバルアグロメディシン研究センター教授谷昌幸博士、ならびに道総研中央農業試験場農業環境部長尾明宣部長にご校閲いただきました。ここに、深く感謝の意を表します。

付記：本技術は、2016年1月の北海道農業試験会議において指導参考事項となった。また、本研究の一部は2016年度日本土壌肥料学会佐賀大会で発表した。

文 献

- 北海道農業協同組合中央会・ホクレン農業協同組合連合会 2016. 主要野菜の生産・出荷動向、市場の価格・需要動向および栽培体系。北海道野菜地図(その39), p. 14-151.
- 北海道農政部 2004. ほ場副産物の利用指針。北海道緑肥作物等栽培利用指針(改訂版), p. 73-84.
- 北海道農政部 2015. 園芸作物。北海道施肥ガイド2015, p. 77-195. 北海道農業改良普及協会, 北海道.
- 小野寺政行・中本 洋 2007. 北海道における堆肥と各種有機質肥料を用いた露地野菜の無化学肥料栽培。土肥誌, 78, 611-616.
- 八木哲生・坂口雅巳・日笠裕治 2008. 有機質資材を用いたハウス夏秋どりトマトの無化学肥料栽培指針。土肥誌, 79, 203-208.