

<平成26年度助成>

完全人工光型植物工場で生産される野菜の 安全性向上・確保に向けたリスク分析

小 泉 望

(大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)

序 論

近年、植物(野菜)の生産の場として野外(露地)、ハウスに加えて植物工場が注目されている。植物工場は太陽光利用型と完全人工光利用型の2つのタイプに分けられ、後者では蛍光灯やLEDなどを光源とする完全人工光のみが用いられ、通常、水耕(養液)で栽培がおこなわれる。完全人工光利用型植物工場は天候に左右されず環境を制御できることから安定的な野菜の生産が可能となることが利点として挙げられている。また、外界と遮断された閉鎖環境での水耕栽培となるため病害や虫害の心配が無いため農薬を使用せず、品質が一定で、清浄かつ安全性の高い野菜生産が可能とされる¹⁾。

しかし、生鮮野菜による食中毒が過去には報告されている。1996年には大阪府堺市でカイワレダイコンが汚染源と疑われる腸管出血性大腸菌O157(以下O157)の集団感染の例がある。2006年には米国カリフォルニア州においてサラダホウレンソウのやはりO157による汚染により200人以上の食中毒者が出た。他にもサルモネラ菌に汚染されたモヤシによる食中毒など多くの事例が報告されている²⁾。従って、水耕(養液)栽培による植物工場野菜に食中毒のリスクが無いとは言えない。こうした食中毒を防ぐにはO157やサルモネラ菌などの食中毒菌だけでなく一般生菌数を抑えることが予防につながると考えられる。つまり衛生環境の向上が求められる。また食中毒に直結しなくても一般生菌数の低減は植物工場野菜の付

加価値につながる。しかし植物工場野菜は前述のように清浄で一般生菌数も少ないと言われることが多いが、必ずしも根拠が明確でないことも多く、衛生管理方法が確立しているとは言い難い。

食の安全を守るための食品衛生管理方法としてHACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point)が挙げられる³⁾。HACCPは国際的にも認められた衛生管理手法で、食品の製造、加工工程での科学的根拠に基づいたハザード分析(Hazard Analysis)をおこない、そのハザードの重要管理点(Critical Control Point)を監視することで食品の安全性を担保する手法である。つまり定期的な抜き打ち検査に頼るのではなく重要管理点をコントロールする手法である⁴⁾。さらにHACCPの技術的手法にISO9001の経営的手法を取り入れたシステムとしてISO22000がある。しかし、植物工場での野菜生産のためのこうしたシステム構築、つまりマニュアル化の試みはこれまでにない。

一方、HACCPが食品工場等を対象としているのに対し、農作物生産のための管理方法としてGAP(農業生産工程管理: Good Agricultural Practice)が知られる⁵⁾。GAPでは農業生産活動をおこなう上で必要な各工程の正確な実施、記録、点検、評価および改善を持続的におこなうことで改善活動をおこなうものである。GAPは農場安全だけを対象としたものではないが、野菜の安全性等もその中に含まれる。例えば、野菜の汚染源が堆肥であると判明すれば堆肥の見直しをすることとなる。植物工場野菜を農産物と捉えればGAPに即した対応が適当とも考えられる

が、完全人工光利用型植物工場では生産の場は外界から隔離された空間で、生産環境も制御できるため、HACCP及びGMP(適正製造規範: Good Manufacture Practice)の考え方に基づく管理システムの可能性も考えられる。

材料と方法

実験場所 大阪府立大学内植物工場
 対象野菜 フリルレタス(雪印種苗)
 使用培養液 大塚ハウス1号および2号
 生菌数の測定

レタスをリン酸バッファー中にてミキサーで破碎し、適当量を培地生菌数測定用ACプレート(3M社製)に塗布した。公定法に基づき、25℃、48時間でインキュベートした後、赤変コロニーの数を計測した。ただし公定法では35℃での培養であるが、本実験では植物工場内の温度に合わせて25℃でおこなった。ファルコライフサイエンス社に委託した際はストマッカーを使用した。同様のサンプルの場合、ストマッカー使用の場合とミキサー使用ではほぼ同じ値が得られることを確認している。しかし、ストマッカー使用の場合は一定量(25g)を試料に用いるのが原則でありレタス全体を使用しない場合もあるため、レタスのサンプリング箇所によりデータのバラツキがみられた。

培養液およびレタス中の細菌の同定

ACプレート上に優性に生育している形状の異なる細菌群の形態観察等による同定、さらに腸内細菌分類群中の大腸菌群および大腸菌の確認試験を日本食品分析センターに委託しておこなった。

培養液中の藻類の同定

培養液をポリ瓶のまま1昼夜放置した後、静かに上澄みを捨て遠心分離機により濃縮し、顕微鏡用資料とした。一部をマイクロピペットで分取し、光学顕微鏡で観察し種の同定、計測を実施した。この同定はリバネス(株)に委託して、おこなった。

結 果

OPU 植物工場におけるレタス生産フローの把握

工程管理のためには生産工程を詳細に把握する必要がある。そのため日産5,000株のレタス生産能力を持つ植物工場での生産ラインの詳細を検討した。機密保持の観点から本報告書では生産ラインの概念図の掲載に留める。自動播種装置により播種されたレタスは播種後6日で苗診断システムにより選別される。その後、20日間前後の育苗期間を経たのち、人力およびロボットで多段式の栽培棚に移動される。その後、レタス苗は収穫までの18日間の過程を人の手が触れることなく、搬送ロボットにより工場内を移動しながら成長し、最終的にはベルトコンベヤーで収穫室に運ばれる。収穫室では人手により根と外側の葉が切り取られ、秤量、袋詰めがおこなわれる(図1参照)。

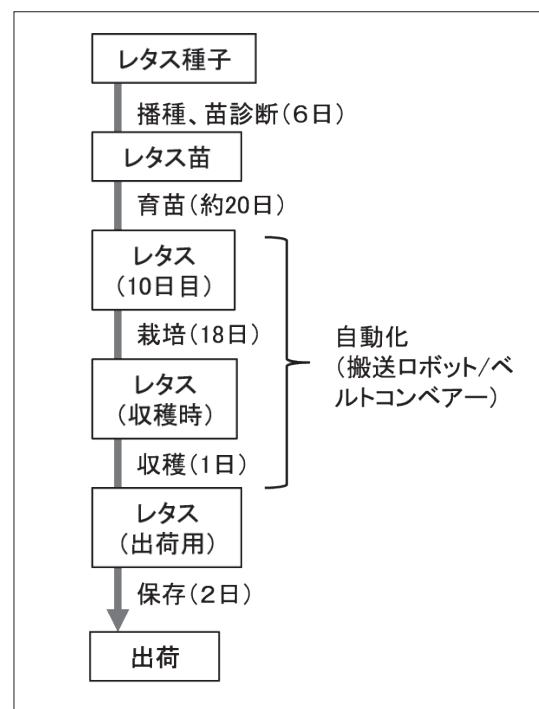


図1 植物工場におけるレタス生産フロー

他社生産レタスとの生菌数の比較

府大産レタス(OPU)を含む市販レタスにおける生菌数の調査のため近隣スーパーでOPU、A社およびB社のレタスを購入し、生菌数の測定をお

こなつた。また収穫直後 (OPU-0) と植物工場
で直販しているレタス (OPU-2) についても測定を
おこなつた。全て品種はフリルレタスであり、A
社産は完全人工光型植物工場で生産されたもの、
B社産はハウス栽培によるものである。図2に
示すように、収穫直後のOPU-0では $10^2 \sim 10^3$ /
gであるが、OPUとOPU-2では 10^5 程度、A社産
が 10^4 、B社産が 10^6 程度であった。いずれの場
合も収穫直後府大レタス (OPU-0) から比べると
100倍から1,000倍に増殖している。各レタスの
スーパー店頭までの保存期間、保存方法は不明で
あり、一概に比較はできないが保存期間中に生
菌数が増殖したと考えられる。

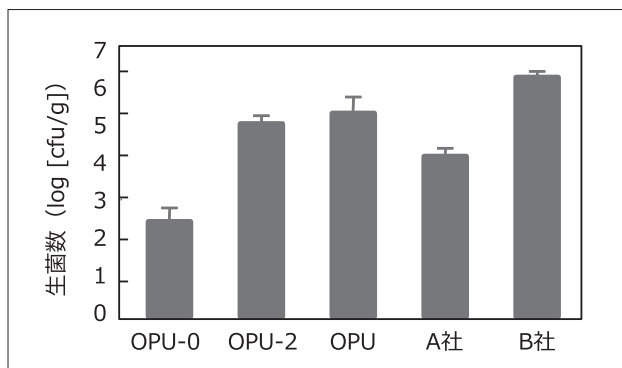


図2 市販レタスの生菌数の比較

保存状態と生菌数の関係

収穫直後、冷蔵 (1週間)、常温 (1週間)、冷蔵 (3
週間) のOPUフリルレタスの生菌数の測定をおこ
なつた。常温は室温 (約25℃)、冷蔵は (4℃) で、
暗所に保存した。図3に示すように冷蔵1週間では
生菌数の増加は殆ど見られないのに対して、常

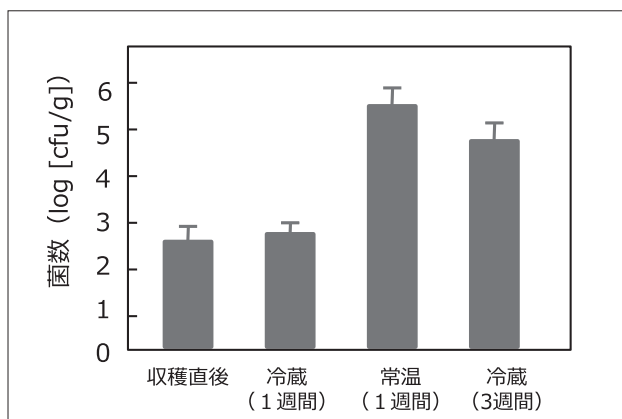


図3 保存状態とレタスの生菌数の関係

温保存では1,000倍以上に増加した。また冷蔵で
も3週間経つと生菌数が100倍程度増加した。上
記の結果と併せて考えると、植物工場生産野菜で
あつても相当数の生菌が検出され、流通、販売に
おいて低温で保管、流通させることがその増加の
抑制に効果的である。

レタスにおける細菌分類群の同定

続いて、植物工場生産レタスにおいて検出され
た細菌の分類群の同定をおこなつた。レタス3検
体と培養液1検体を試験に供した。表1に示すよ
うに腸内細菌、カタラーゼ陽性グラム陽性球菌な
どの分類群が検出された。さらに腸内細菌と同定
された分離菌 a、b、i、l について大腸菌群および
大腸菌か否かの確認試験をおこなつたところ b、i、l
は大腸菌群と判定されたが全ての試料で大腸菌
は陰性であつた。同定はおこなっていないがカタ
ラーゼ陽性グラム陽性球菌には黄色ブドウ球菌が
含まれる。

表1 分離菌の形態観察等による分類群の固定

分離菌	分類群
a	腸内細菌
b	腸内細菌
c	カタラーゼ陽性グラム陽性球菌
d	カタラーゼ陽性グラム陽性球菌
e	カタラーゼ陽性グラム陽性球菌
f	カタラーゼ陽性グラム陽性球菌
g	カタラーゼ陽性グラム陽性球
h	好気性芽胞菌
i	腸内細菌
j	非発酵性グラム陰性桿菌
k	好気性芽胞菌
l	腸内細菌

aからcはレタス1、d、eはレタス2、f、gはレタス3、
hからlは培養液を試料とした。

図4に示したように収穫期にはレタスの生菌数
は比較的低い。これまでの生菌数の測定では地上
部 (葉) のみを試料として供していたため収穫時
のレタスを根、外葉、内葉に分けて生菌数の測定

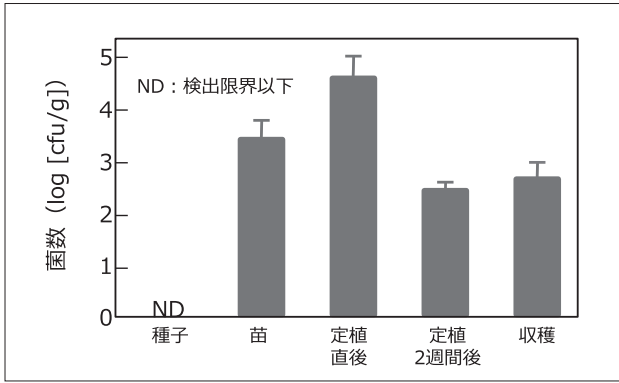


図4 各栽培工程におけるレタス生菌数の変化

をおこなった。実際には外葉を取り除いた内葉に当たる部分を出荷している。その結果、図5に示すように根、外葉、内葉の順に生菌数が多く、根は内葉の1万倍以上の生菌数の値を示した。この結果は、培養液中に多数の細菌が生存していることを示唆している。実際、表1に示したように培養液中から大腸菌群を含む複数の細菌が検出されている。

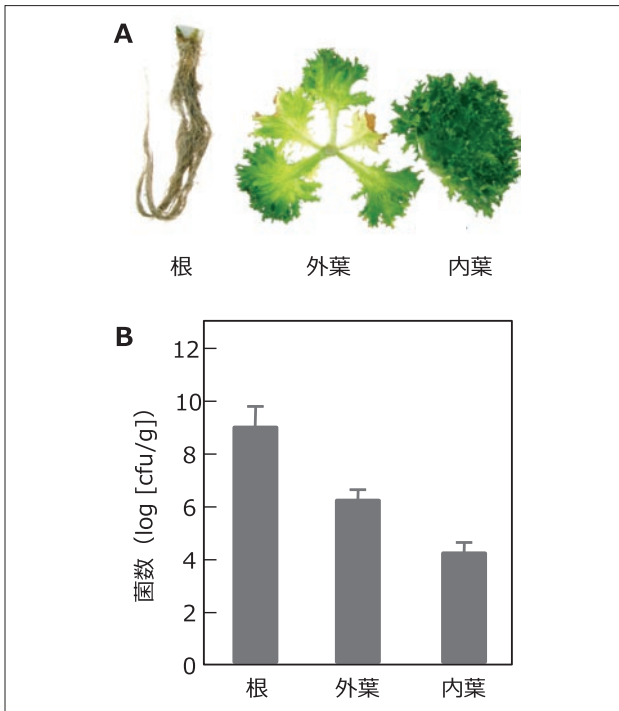


図5 レタスの部位別生菌数

A: レタスの部位別写真
B: Aの各部位の生菌数

培養液中の生菌数と藻類の同定

培養液は水道水と液体肥料(大塚1号、2号)を混合して調整されている。使用前の培養液は

無菌ではないものの生菌はほぼ検出限界以下であった。一方、育苗室、栽培室の培養液中からは多量の生菌が検出された(図6)。このことは循環している培養液中に相当量の植物プランクトンが見られることから、意外ではなく、むしろ想定されるものであった。続いて植物プランクトンの同定をおこなったところ *Phormidium autumnale* と *Klebsorimium klebsin* が主要な出現種であった。

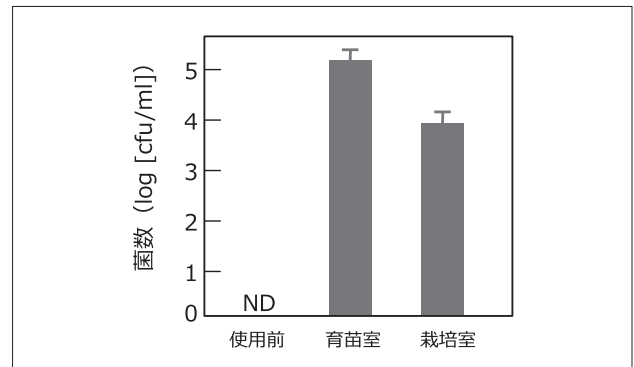


図6 培養液中の生菌数

重要管理点(CCP)の特定に向けてのフローダイアグラムの作成

上述のように植物工場生産レタスからは一定量の生菌が検出される。例えばカット野菜の場合は洗浄、殺菌がおこなわれるが、本研究で対象とするレタスに関してはコスト面、付加価値の点から洗浄、殺菌は現実的ではない。そこで製造(栽培)過程でHACCPの考え方に基づくCCPの決定を試みるため、植物工場におけるレタス生産のフローダイアグラムを作成した。これについても秘密保持の観点から簡略化して記載した(図7)。

考察

生産過程を見る限り殆どの工程が自動化されており、従業員へのPRP(手洗いなどの前提条件)も実施されており、植物工場生産レタスの菌数が少ないことが予測された。しかし、少なくとも店頭で販売されている植物工場生産レタスからは他社産も含めて一定量の一般生菌が検出された(図2)。その数は1gあたり $10^4 \sim 10^6$ であり植物工場産で

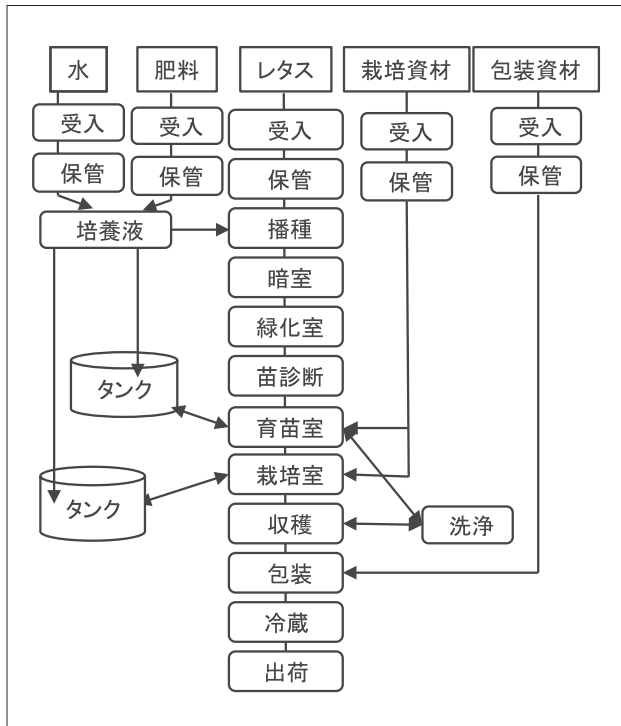


図7 フローダイアグラム

はないレタスの過去の報告 $10 \sim 10^7$ と比べると特に低いものでは無かった⁶⁾。ただし、収穫後の $100 \sim 1,000$ 程度と比べると店頭でのレタスの生菌数は明らかに高かった。冷蔵保存した場合、少なくとも1週間は収穫直後の値が保持され、過去の報告⁷⁾とも合わせて冷蔵での流通、保管が生菌数を抑えるのに重要であることが改めて示された。

レタスから細菌が検出されたことからその同定を試みた。検出された細菌の多様性はさほど大きくないと考えられたがレタスからは腸内細菌、カタラーゼ陽性グラム陽性球菌が主として見つかった。腸内細菌分類群をさらに詳しく調べたところ大腸菌群が検出されたが、大腸菌は観察されなかった。しかし、大腸菌群の検出は食品衛生上好ましいこととはいえない⁸⁾。さらにカタラーゼ陽性グラム陽性球菌には黄色ブドウ球菌などの食中毒菌も含まれ、これら食中毒菌が持ちこまれた場合に増殖する可能性が考えられPRPの徹底は必要と考えられた。

生産工程を目視したところレタスの収穫、袋詰の過程でのレタスの細菌汚染の可能性は低いと考

えられ、むしろ培養液がレタスの汚染源であると考えられた。実際に図4に示すように栽培中にレタスからは相当数の一般生菌が検出された。図4では栽培が後期に進むと生菌数が減少するように読み取れる。しかし、この実験ではサンプリングに用いた試料が培養液のかかり

易い苗あるいは若いレタスと比較すると培養液のかかりにくい外葉であったことが原因とも考えられた。図5では培養液に浸っている根、比較的培養液に接触しやすい外葉そして内葉について計測した。この結果は培養液に接触しやすい部位において生菌数が高いことを示している。そこで培養液中の生菌数を調べたところ図7に示すように育苗室、栽培室ともに高い生菌数を示した。これらの結果からレタスの細菌は主として培養液に由来すると推定された。

さらに栽培ベッドや培養液に緑色の付着物が見られたことから、植物プランクトンが培養液中に生存していると考え、その同定をおこなったところ *P. autumnale* と *K. klebsin* の2種を含む河川、湖沼などの淡水域に見られる一般的な付着性藻類が検出された。*P. autumnale* はカビ臭の原因と考えられる。培養液には元来炭素源は含まれていないので、理論的には一般生菌の増殖は無い。しかし、植物プランクトンの残渣、レタスの根から放出される有機酸、レタスの根の残渣などが炭素源となることで相当数の細菌が培養液中に検出されるようになったと考えられる。

以上の結果を踏まえHACCPの考え方による衛生管理が可能かどうかについて検討するために図7に示すフローダイアグラムを作成した。加熱処理が出来ず、今回のように洗浄を想定していない植物工場野菜の生産においてハザードを特定することは容易ではない。これまで見てきた植物プランクトンに汚染された培養液は地下に設置されたタンクを経て循環している。光さえあれば無機養分の豊富な培養液中で植物プランクトンは増殖

できる。培養液に一切光を当てずに栽培することはほぼ不可能で、一度、植物プランクトンが汚染するとその除去が不可能であり、ある程度の細菌がレタスに付着することは避けられない。

しかし、定期的にラインの洗浄が可能であれば植物プランクトンおよび細菌をある程度除去することが可能であり、レタスの生菌数を減少させられる可能性が考えられる。この場合は設計段階から溶液ラインの洗浄を可能とする工夫が求められるとともに、ラインの洗浄を充分におこなうPRP(前提条件)が必要となる。

一方、出荷前のレタスの生菌数がある値を超えるとハザードにつながると想定することも可能である。この場合、ハザードは食中毒を引き起こすリスクハザードではなく、安心感を与えるクオリティハザードと定義することになる。本研究で用いたペトリフィルムを用いた方法では検出に2日間かかるので、ATP検査などを用いた細菌の迅速な検出方法の確立が有効と考えられる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、多大な研究助成を賜りました(公財)浦上食品・食文化振興財団ならびに

関係者各位に心より感謝を申し上げます。またご支援、ご協力を頂きました東芝テック(株)様ならびに(株)グリーン・クロックス様に感謝いたします。

文 献

- 1) 「人工光型植物工場世界に広がる日本の農業革命」古在豊樹著、オーム社(2012)
- 2) 「生食用野菜及び果物が媒介食品となる感染症」金子賢一『食品衛生学雑誌』40: 417-425(1999)
- 3) 「ISO22000の取り方・活かし方」池戸重信編著、湯川剛一郎・湯地和夫・日佐和夫著、日刊工業新聞社(2006)
- 4) HACCP管理者認定テキスト、日本食品保蔵科学会HACCP管理者認定委員会、建帛社(2015年)
- 5) 「JGAP導入の現場からGAP導入事例」田上隆一著(2009)幸書房
- 6) 「有機・水耕栽培野菜の食中毒菌汚染実態と分離菌株の疫学的解析」小西典子ら『日本食品微生物学会雑誌』18: 9-14(2001)
- 7) 「工場生産された野菜類の衛生的実態調査」東京都健康安全研究センター広域監視部
<http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/shokuhin/hyouka/files/24/jyoho1/shiryo2-3-2.pdf>
- 8) 「市販生食用野菜の安全管理基準に関する諸問題」水野良美ら『日本食品微生物学会雑誌』25: 127-131(2008)

Risk analysis of vegetables produced in completely artificial light type plant factories toward safety management

Nozomu Koizumi

*Graduate Schools of Life and Environmental Sciences
Osaka Prefecture University*

Recently vegetables such as lettuce are often produced inside of building that is so called plant factory. Plant factory can be classified into two types, completely artificial light and sun light using types. Present study focused on the completely artificial light type. This type of plant factory is shut out from the outside and then does not need pesticides. In addition, vegetables are grown hydroponically and then their products often said to be clean and safe. However, food poisoning due to hydroponically grown vegetables has been reported including O-157 infection in lettuce. Actually there is no clear evidence of safety of vegetables grown in the plant factory and then sanitary management will be necessary.

After we understood the culture steps of lettuce in the factory, we monitored bacterial numbers of lettuces sold in a grocery store near by including ones produced in our plant factory. Considerable amount of viable bacteria were detected more or less in all lettuces. The numbers of viable bacteria were 100 to 1,000 times of that of just harvested indicating increase of bacterium during transportation and storage. Subsequently, effect of temperature on increase of bacteria number in lettuces was studied. It was apparent that cold preserved lettuces contained much less bacteria than those kept on room temperature.

Subsequently, bacteria detected lettuce were identified by Japan Food Research laboratories. Most bacteria were classified into Intestinal bacteria and Catalase -positive Gram-positive cocci. In Intestinal bacteria, Coliform bacteria were detected but *Escherichia coli* were not. In order to identify stage where bacterial infection mainly occurs, we monitored each step of lettuce. Even in seedling considerable amount of viable bacteria were detected and almost all stage of lettuce were contaminated with bacteria. However, it is not surprising because culture medium is greenish suggesting apparent contamination with algae or plant plankton. We identified species of plant plankton by outsourcing (by Leave a Nest). The result showed that two main species *Phormidium autumale* and *Klebsormidium klebsil* were in the culture medium. They are common green algae easily found in pond and river.

Theoretically, bacteria cannot grow in culture medium that does not contain carbon source. However, in reality, in addition to residue of algae in the culture medium, residue and secreted organic acid of lettuce roots supply carbon source enough for growth of bacteria. Culture medium circulates through the tank in the underground and cannot be stopped the circulation for cleanup. Thus, in order to keep the bacterial number at the low level, it is important to design the circulation system of culture medium that has bypass and then can be cleaned regularly. Keeping the bacterial number below some level may be also desired to avoid quality hazard of products. To do so, it will be important to develop the quick system for bacterial detection.