

تولید سیب زمینی با روش آئروپونیک

اعظم امیری

دانش آموخته دکترای باغبانی

چکیده

فرآیند رشد گیاهان در شرایط میست یا هوا بدون استفاده از خاک یا محیط کشت متخلخل، آئروپونیک می‌گویند. اساس کشت آئروپونیک، رشد گیاهان به به صورت معلق در محیط بسته یا نیمه بسته توسط اسپری کردن محلول غذایی به صورت اتوماتیک به ریشه‌های آویزان است. کلون کردن از طریق آئروپونیک راحت‌تر و سریع‌تر از هیدروپونیک است چون آئروپونیک باعث توسعه و نموسریع‌تر ریشه از طریق مواد غذایی استریل و اکسیژن زیاد و شرایط مرطوب می‌شود. سیب زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* و از خانواده *Solanaceae* مهم‌ترین منبع غذایی گیاهان دو لپه در تغذیه انسان است. در این روش گیاهچه‌های سیب زمینی در قاب‌های مخصوص بنحوی کاشته می‌شوند که ریشه و غده‌های آن‌ها در هوا معلق بوده و با خاک تماس ندارد. مرکز بین‌المللی سیب زمینی (CIP) در کشور پرو، از این روش جهت افزایش تولید و کاهش هزینه‌های تولید ریز غده‌های سیب زمینی استفاده می‌کند. اسپری مواد غذایی بر روی برگ‌ها و ریشه‌ها به طور معنی‌داری عملکرد سیب زمینی را افزایش می‌دهد. در صورتی که تنها محلول پاشی به اندام هوایی، تعداد غده کمی ایجاد می‌کند. بنابراین جذب مواد غذایی از اندام هوایی برای تولید سیب زمینی در سیستم آئروپونیک به ویژه بعد از تشکیل غده‌ها مهم است. در پایان بسیاری از جنبه‌های این تکنیک به منظور اپتیمم کردن این سیستم باید مورد توجه قرار گیرد مانند محلول غذایی مناسب، تراکم گیاهی و تعداد برداشت و فاصله بین برداشت و تعامل بین این‌ها بررسی شود.

فرآیند رشد گیاهان در شرایط میست یا هوا بدون استفاده از خاک یا محیط کشت متخلخل، آئروپونیک می‌گویند. کلمه **Aeroponic** از یک کلمه یونانی **Aero** به معنای هوا و **Ponos** به معنای کشت گفته می‌شود. بنابراین آئروپونیک به معنای هوا کشتی است. کشت آئروپونیک متفاوت از هیدروپونیک یا کشت بافت گیاهی است و برخلاف هیدروپونیک که از آب برای محیط رشد استفاده می‌شود، آئروپونیک بدون محیط کشت برای رشد است. اما چون از آب برای انتقال مواد غذایی استفاده می‌شود، گاهی به عنوان یک روش هیدروپونیک مورد توجه قرار می‌گیرد (۱۸).

نامگذاری:

Aeroponic growing: به گیاهان رشد یافته در سیستم هوا کشتی گفته می‌شود که بتواند به صورت طبیعی و نرمال رشد و نمو کنند.

Aeroponic growth: به رشد و نموی که از طریق هواکشت بدست آمده، اشاره می‌شود.

Aeroponic system: به اجزا و چهارچوب مونتاژ شده برای نگهداری گیاه در سیستم هواکشت گفته می‌شود.

Aeroponic greenhouse: به گلخانه با محیط کنترل شده و تجهیزات لازم برای رشد گیاه در شرایط میست گفته می‌شود.

Aeroponic conditions: به پارامترهای محیطی کشت هوایی برای حفظ رشد گیاه اشاره می‌شود.

Aeroponic roots: به ریشه‌های رشد کرده در کشت هوایی اشاره می‌شود.

تاریخچه :

در طبیعت و در آب و هوای گرمسیر ارکیده‌ها به طور آزاد بر روی درختان رشد می‌کنند. در سال ۱۹۴۲ کارتر اولین کسی بود که در مورد کشت هوایی تحقیق کرد و روشی برای رشد گیاهان در بخار آب برای سهولت در آزمایش‌های مربوط به ریشه ارائه داد. در سال ۱۹۵۲ تروکل درختان سیب را در شرایط میست پرورش داد سپس در سال ۱۹۵۷ ونت برای اولین بار فرآیند رشد در هوا را به عنوان رشد آئروپونیک بیان کرد و قهوه و

گوجه‌هایی با ریشه‌های آویزان و به کارگیری محلول غذایی به صورت میست در ناحیه ریشه، پرورش داد. اولین دستگاه آئروپونیک به نام سیستم تولید کننده ریشه ساخته و به بازار عرضه داد. (تصویر زیر)



در سال ۱۹۸۵ کمپانی استونر سیستم‌های آئروپونیک را تولید و به بازار عرضه کرد و در مقیاس وسیع در گلخانه سیستم آئروپونیک را برای تولید به صورت تجاری به کار برد. همچنین در سال ۱۹۸۶ مواد غذایی لازم را برای کشت آئروپونیک ساخت و بدین ترتیب استونر به عنوان پدر سیستم آئروپونیک تجاری شناخته شد و تجهیزاتی که به کار برد به سرعت به طور گسترده در دانشگاه‌های کشاورزی و تولید کننده‌های تجاری مورد استفاده قرار گرفت (۱۸).

در سال ۱۹۸۲ Adi limited یک سیستم آئروپونیکی که موفقیت زیادی را به همراه داشت معرفی کرد. در این سیستم که توسط کامپیوتر اداره می‌شد نیاز به یک ساختار مه پاش ویژه، آبشخورها و طرح یک پوشش با حساسیت بالا بود. هر چند محصولات زیادی از این نوع سیستم بدست آمد اما قیمت بالای آن نسبت به سایر سیستم‌های رایج هیدروپونیک قابلیت اقتصادی آن را زیر سوال برد (۱۸).

مزایا :

۱- راندمان بیشتر در استفاده از آب و مواد غذایی

در مقایسه با هیدروپونیک آب و انرژی کمتری به ازای هر متر مربع استفاده می‌کند بدین ترتیب که آئروپونیک ۱۰/۱ آب لازم برای رشد در شرایط هیدروپونیک مصرف می‌کند و این نسبت می‌تواند تا ۲۰/۱ هم کاهش یابد.

۲- عملکرد بیشتر در واحد سطح

چون در این سیستم گیاهان در نزدیکی یکدیگر کاشته می‌شوند، بنابراین می‌توان تعداد گیاه بیشتری در واحد سطح کاشت. همچنین در این سیستم گیاهان سریعتر به بلوغ می‌رسند، بنابراین می‌توان برداشت بیشتری داشت.

۳- افزایش غلظت اکسیژن در ناحیه ریشه

اکسیژن در ریزوسفر (ناحیه ریشه) برای رشد و سلامت گیاه لازم است. بعضی از سیستم‌های آئروپونیک بهتر از سیستم‌های هیدروپونیک برای رشد گیاهان است، چون هوادهی افزایش یافته و اکسیژن بیشتری به ریشه‌های گیاه می‌رسد و در نتیجه رشد بیشتری را القا و از رشد پاتوژن‌ها نیز جلوگیری می‌کند.

۴- کشت عاری از بیماری‌ها

انتقال بیماری‌ها در سیستم آئروپونیک کاهش می‌یابد، چون گیاهان با یکدیگر در تماس نیستند و اگر یک گیاه آلوده شد به سرعت خارج می‌شود بدون اینکه بقیه گیاهان را آلوده کند. در صورتی که در خاک یا محیط کشت متخلخل، بیماری‌ها از طریق محیط رشد گسترش می‌یابد. بنابراین کاربرد سموم در این سیستم کاهش می‌یابد. و گیاهان رشد یافته از نظر تغذیه سالم‌تر هستند.

۵- برداشت آسان

چون این سیستم بدون محیط کشت است، برداشت گیاهان آسان تر و تمیزتر می‌باشد (۱۸).

۶- به عنوان یک ابزار تحقیق

بعد از توسعه آن، آئروپونیک به عنوان یک ابزار تحقیق با ارزش استفاده شد. آئروپونیک به محققین این امکان را می‌دهد که ریشه‌ها را بدون اینکه آسیب ببینند، مورد بررسی قرار دهند. و به دلیل کنترل صحیح رطوبت در ناحیه ریشه و میزان آب قابل دسترس، روشی برای مطالعه تنش آب فراهم می‌کند. در این سیستم نیز می‌توان مورفولوژی ریشه را بررسی کرد و به دلیل فقدان محیط دانه‌بندی، دسترسی کامل و بدون آسیب امکان پذیر است. همچنین بیان شده آئروپونیک سیستم ریشه‌ای نرمال‌تری نسبت به هیدروپونیک ایجاد می‌کند (۵).

بعضی تحقیقات که در رابطه با آئروپونیک انجام شده به منظور بررسی اثرات غلظت‌های اکسیژن در ناحیه ریشه بوده است. به عنوان مثال بارگر و سافر در سال ۱۹۸۸ اثرات غلظت اکسیژن محلول در تشکیل ریشه‌های نابجا بررسی کردند و نتایج به دست آمده نشان داد، اکسیژن محلول برای تشکیل ریشه ضروری است و تعداد و طول ریشه در ناحیه‌ای که در شرایط میست قرار داشته بیشتر بوده است (۵ و ۱۸).

معایب :

۱- هزینه لازم برای نصب و نگهداری سیستم در طول دوره رشد زیاد است.

۲- اگرچه در این سیستم‌ها بیشتر کارها به صورت مکانیزه و خودکار است ولی هنوز احتیاج به آماده سازی و تولید گیاهان است. و اگر به دلیلی در سیستم مشکلی ایجاد شود، گیاهان در مدت کوتاهی از بین خواهند رفت.

۳- بسیاری از مصرف کنندگان معتقدند که گیاهان رشد یافته به صورت آئروپونیک به اندازه گیاهان دیگر مغذی نیستند (۱۸).

روش ها :

ریشه گیاهان توسط ساختارهای محافظ از یکدیگر جدا می‌شود. چند لایه فوم اطراف ساقه پیچیده و به داخل اتاقک آئروپونیک گذاشته می‌شود. برای گیاهان بزرگتر برای حفاظت وزن شاخساره و میوه از داربست استفاده می‌شود. در این سیستم به دلیل اینکه از محیط کشت استفاده نمی‌شود، ناحیه ریشه از آفات و بیماری‌ها در امان است. بنابراین گیاهان سالم‌تر از رشد در محیط کشت رشد می‌کنند. تجهیزات لازم برای سیستم آئروپونیک شامل میست کننده، اسپری کننده و مه پاش می‌باشد. سیستم آئروپونیک معمولاً به صورت سیستم‌های بسته هستند که مواد غذایی میکرو و ماکرو را برای رشد مناسب گیاه فراهم می‌کنند. نکته مهم در محیط آئروپونیک اندازه قطرات آب است و در کاربرد تجاری از اسپری‌های Hydro Atomizing به کار برده می‌شود تا ناحیه بزرگی از ریشه‌ها را پوشش دهد. ذرات بزرگتر آب اکسیژن کمتری در دسترس ریشه قرار می‌دهند، در صورتی که ذرات ریزتر مانند ذراتی که توسط سیستم میست ایجاد می‌شود به دلیل داشتن اکسیژن بیشتر، تارهای کشنده زیادتری ایجاد می‌کند (تصاویر زیر).

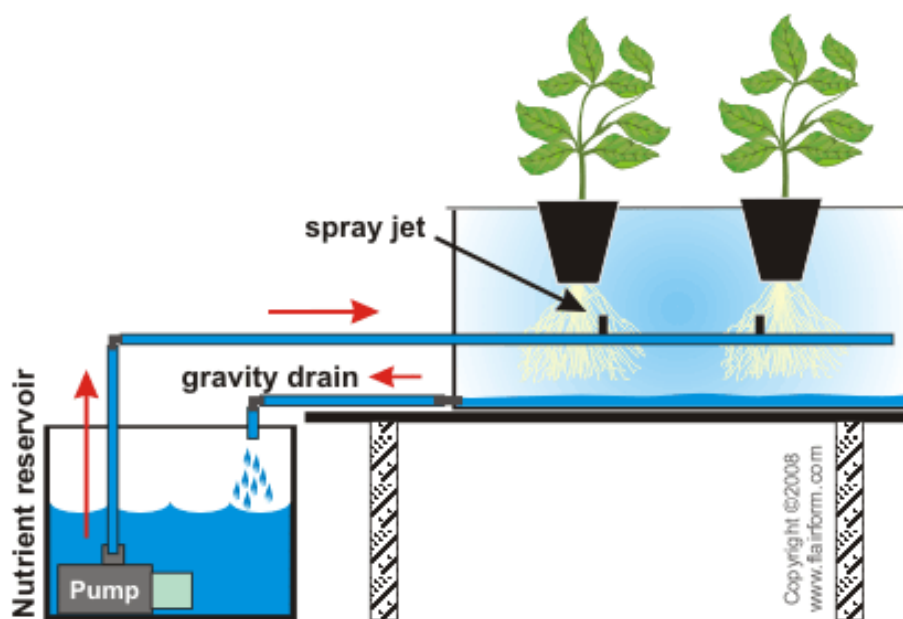
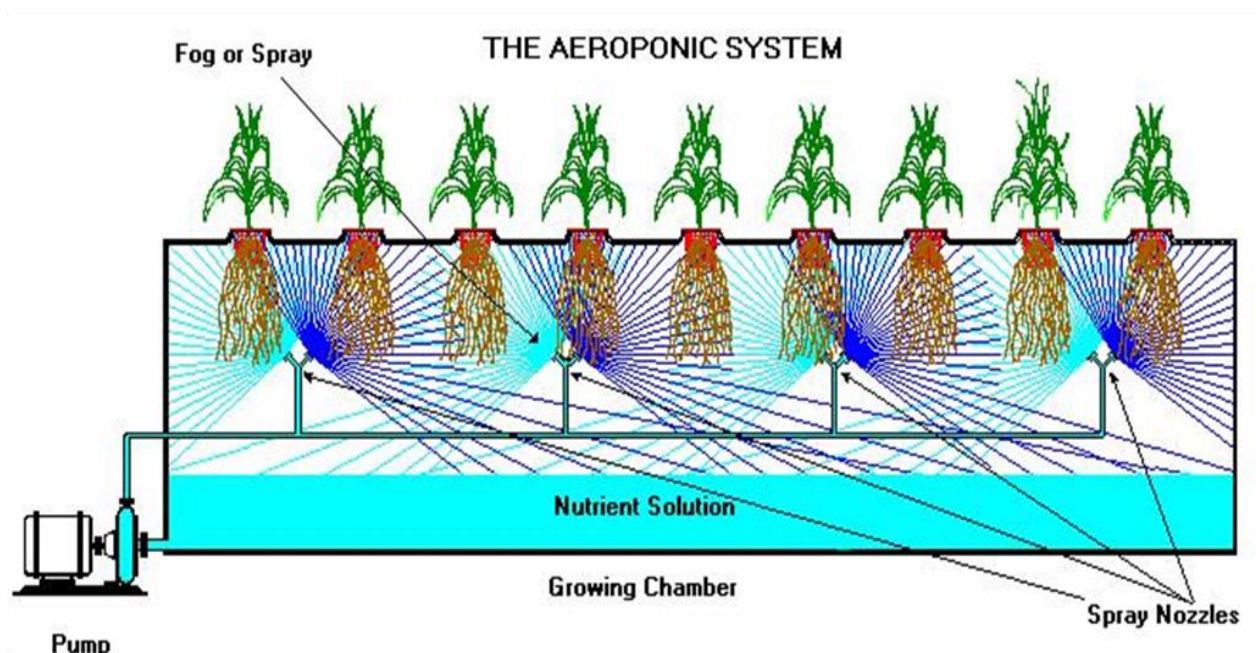


Fig 5.4 Aeroponic system (Basic layout)

انواع سیستم‌های آئروپونیک

I. واحدهایی با فشار کم: در این سیستم ریشه گیاهان در بالای منبع محلول غذایی و یا در داخل کانال‌هایی که با منبع در تماس است، حفظ می‌شود. و محلول غذایی از طریق نازل‌هایی با فشار کم فرستاده و دوباره به منبع بر می‌گردد. این سیستم‌ها به دلیل هزینه کم و فقدان تجهیزات لازم برای

- تصفیه محلول غذایی و از بین بردن پاتوژن‌ها، برای میزهای رشد و برای نشان دادن طرز کار اصول آئروپونیک مناسب است. در این سیستم‌ها چون محلول غذایی به طور یکنواخت به ریشه فرستاده نمی‌شود، بخشی از سیستم ریشه خشک و در نتیجه از جذب کافی محلول غذایی جلوگیری می‌شود.
- II. واحدهایی با فشار بالا:** در این سیستم‌ها محلول غذایی با فشار زیاد فرستاده می‌شود و معمولاً برای کشت گیاهان با ارزش مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم دارای تکنولوژی‌هایی برای تصفیه آب و هوا و استریل کردن محلول غذایی و کنترل فشار هوای سیستم و ... می‌باشد.
- III. سیستم های تجاری:** سیستم‌های تجاری شبیه سیستم‌های پر فشار هستند و دارای ویژگی‌هایی مثل مقاومت به پاتوژن‌ها، زمان‌بندی دقیق، تحت فشار قرار دادن محلول غذایی، سنسورهای گرمادهی و سرمادهی و کنترل دمای محلول می‌باشد. این سیستم‌ها نیز برای کشت گیاهان با ارزش به کار می‌رود (۱۸).

ازدیاد از طریق سیستم آئروپونیک

کشت آئروپونیک انقلابی در تکثیر گیاهان ایجاد کرد، به دلیل اینکه تمام مراحل به صورت خودکار انجام می‌شود. تعداد زیادی از گیاهان که قبلاً به سختی ریشه‌دار می‌شدند، الان به سادگی از طریق قلمه ساقه تکثیر می‌شوند. کلون کردن از طریق آئروپونیک راحت‌تر و سریع‌تر از هیدروپونیک است چون آئروپونیک باعث توسعه و نمو سریع‌تر ریشه از طریق مواد غذایی استریل و اکسیژن زیاد و شرایط مرطوب می‌شود. و در مقایسه با روش کشت بافت، ریشه‌هایی که از طریق آئروپونیک تشکیل می‌شوند مستعد پژمردگی به دلیل شوک انتقال نیستند و گیاهان ریشه‌دار شده به طور مستقیم به مزرعه منتقل می‌شوند (۱۸).

کنترل بیماری‌ها در سیستم آئروپونیک

در یک سیستم آئروپونیک مطلوب پاتوژن‌ها از طریق موارد زیر کاهش می‌یابند:

- ۱) جداسازی گیاهان از یکدیگر و بدین ترتیب از انتشار آلودگی از یک گیاه به گیاه دیگر ممانعت می‌شود.
- ۲) کاربرد مواد ضدعفونی کننده و قارچ کش‌ها به صورت مجزا در ناحیه ریشه
- ۳) توانایی گیاه در رشد و نمو بدون دخالت موانع فیزیکی محدود کننده
- ۴) کاهش در معرض قرار دادن گیاهان در سطوحی که می‌تواند توسط پاتوژن‌ها آلوده شود (۷).

تولید سیب زمینی در سیستم آثروپونیک

سیب زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* و از خانواده Solanaceae مهم‌ترین منبع غذایی گیاهان دو لپه در تغذیه انسان است که با سطح کشتی معادل ۱۹,۱ میلیون هکتار و با تولید سالیانه بیش از ۳۲۸ میلیون تن پس از گندم، ذرت و برنج چهارمین محصول عمده دنیاست و در حدود ۱۴۰ کشور کشت می‌شود که بیش از ۱۰۰ کشور آن در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری واقع شده است. منشا اصلی سیب زمینی آمریکای جنوبی بوده که در قرن ۱۶ وارد اروپا شد و حدود ۱۵۰ سال پیش وارد ایران شد (۱).

سیب زمینی از جمله گیاهانی است که به صورت غیر جنسی و با استفاده از اندام‌های رویشی تکثیر می‌شود. در تولید تجاری سیب زمینی، غده‌ها که بخشی از اندام رویشی گیاه هستند به عنوان بذر به کار می‌رود (۱).

آثروپونیک :

در روش آثروپونیک گیاهچه‌های سیب زمینی در قاب‌های مخصوص بنحوی کاشته می‌شوند که ریشه و غده‌های آن‌ها در هوا معلق بوده و با خاک تماس ندارد. با این روش دیگر نیاز به ضدعفونی خاک با مواد شیمیایی مضر نبوده و غده‌ها نیز سالم می‌مانند. قاب‌ها با پلاستیک سیاه پوشانده می‌شوند تا از نور محفوظ مانده و ریشه‌ها با محلولی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه اسپری می‌شوند (۱۳).

مرکز بین المللی سیب زمینی (CIP) در کشور پرو، از این روش جهت افزایش تولید و کاهش هزینه‌های تولید ریز غده‌های سیب زمینی استفاده می‌کند. این روش تا ده برابر موثرتر از روش‌های معمول تولید ریز غده‌هاست و مزیت دیگر آن برداشت ریز غده‌ها در اندازه دلخواه از ۵ گرمی تا ۳۰ گرمی است (۱۱). اسپری کردن مواد غذایی بطور مستقیم روی ریشه‌ها این امکان را بوجود می‌آورد که مرحله رشد زایشی تا بیش از ۱۸۰ روز بدون وقفه ادامه یابد، کاری که در روش‌های فعلی امکان پذیر نیست. نتایج اولیه بسیار موفقیت آمیز بوده است به طوریکه از برخی از ارقام حدود ۷۰ ریز غده بدست آمده در حالی که در روش‌های متداول امروزی این تعداد بین ۵ تا ۱۰ ریز غده بیشتر نیست (۱۱).

رینگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ اثرات روش‌های متفاوت تغذیه بر تولید غده در سیستم آثروپونیک را مطالعه کردند و نتایج نشان داد، اسپری مواد غذایی بر روی برگ‌ها و ریشه‌ها به طور معنی‌داری عملکرد سیب زمینی را افزایش داد. در صورتی که تنها محلول پاشی به اندام هوایی، تعداد غده کمی ایجاد کرد. بنابراین جذب مواد غذایی از اندام هوایی برای تولید سیب زمینی در سیستم آثروپونیک به ویژه بعد از تشکیل غده‌ها مهم است.

در تحقیق دیگری عملکرد و ویژگی‌های غده سیب زمینی در سیستم آثروپونیک بررسی شد. در این تحقیق بسترهای پیت، پرلایت و سیستم آثروپونیک به صورت جداگانه به کار برده شد. نتایج نشان داد در محیط کشت پیت و پرلایت در مدت زمان ۷۰ روز استولون‌ها تشکیل شدند و تعداد غده‌ها به ازای هر گیاه ۱۵ و

۵,۷ بود در صورتی که در سیستم آئروپونیک این میزان ۹۷ و ۷۶ بود. بنابراین در مقایسه با محیط‌های کشت، سیستم آئروپونیک به طور معنی‌داری ازدیاد سیب زمینی را افزایش می‌دهد (۶).

در سال ۲۰۰۵ نیز تحقیقی به منظور تولید بذور سیب زمینی از طریق سیستم آئروپونیک انجام شد. در این تحقیق سه سیستم کاشت بررسی شد.

۱- سیستم آئروپونیک (T1): اتاقک آلومینیومی به ابعاد $40 \times 20 \times 100 \text{ cm}^3$ و دارای پمپ پرفشار و تانک ۲۰ لیتری بود. و اسپری کننده‌ها زیر اتاقک نصب و هر ۱۰ دقیقه به میزان ۳۰ ثانیه محلول پاشی می‌کردند.

۲- سیستم هیدروپونیک (کشت آبی) باز (T2): این سیستم نیز از جنس آلومینیوم به ابعاد $45 \times 30 \text{ cm}^2$ و دارای سوراخ‌هایی برای نگه‌داری گیاه و تانک ۲۰ لیتری است.

۳- کشت بدون خاک (T3): این سیستم در بلوک‌هایی به ابعاد $40 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ و محیط کشت خاک اره، ضایعات چای و پودر نیم سوخته پوست درخت به نسبت ۱-۱-۱ درست شد.

محلول غذایی Albert در سیستم‌های آئروپونیک و هیدروپونیک استفاده شد و اتاقک‌های رشد با کاغذ سیاه به منظور ممانعت از رسیدن نور، افزایش تشکیل غده و جلوگیری از تشکیل ساقه از استولون‌ها پوشیده شدند. فاکتورهای مثل حجم بوته، ارتفاع، تعداد استولون، تعداد غده و طول ریشه در این آزمایش بررسی شد. حجم و ارتفاع بوته: گیاهان در سیستم‌های آئروپونیک و کشت بدون خاک سریع‌تر از سیستم هیدروپونیک رشد کردند چون این دو سیستم شرایط محیطی بهتری برای اندام هوایی و رشد گیاه ایجاد کردند (جدول زیر).

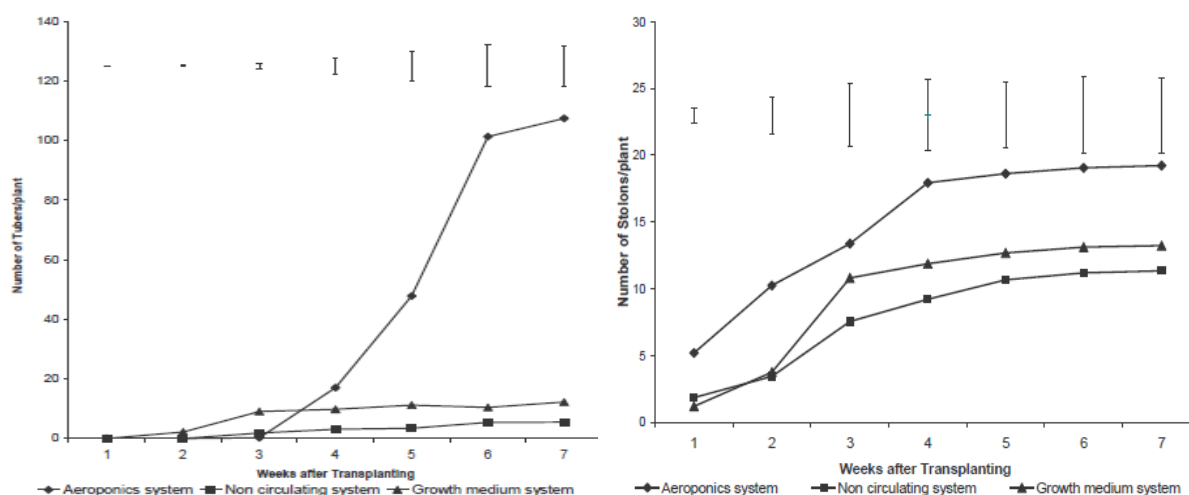
Culture System	Stolons / Plant	Tubers / Plant
Aeroponic system (T1)	17.9 a	101.3 a
Non-circulating solution-culture system (T2)	9.2 b	5.4 b
Soil-less growth medium (T3)	11.9 b	11.9 b
CV (%)	15.8	20.5

تشکیل استولون و نمو آن: به طور کلی بسته به نوع ژنوتیپ، تشکیل استولون‌ها ۲-۳ هفته بعد از کشت شروع می‌شود. در این آزمایش استولون‌ها از هفته دوم تشکیل شدند و به مدت چهار هفته ادامه داشت. و

تشکیل استولون‌ها در سیستم آئروپونیک نسبت به دو سیستم دیگر بیشتر بود (نمودار و جدول زیر)

در سیستم آئروپونیک، تعداد استولون‌ها به طور معنی‌داری بیشتر از دو سیستم دیگر بدست آمد به علاوه استولون‌های ایجاد شده در این سیستم انشعاباتی نیز تولید کرد که احتمالاً به دلیل شرایط مساعدتر ایجاد شده توسط سیستم آئروپونیک باشد.

تشکیل غده : تشکیل غده در انتهای استولون‌ها بسته به ژنوتیپ دو هفته بعد از انتقال شروع و تا سه ماه ادامه دارد. در این تحقیق‌ها تشکیل غده‌ها عمدتاً در سیستم آئروپونیک دیده شد. و به طور معنی‌داری بیشتر از دو سیستم دیگر بود. (نمودار و جدول زیر)



تولید کمتر در دو سیستم دیگر به دلیل رشد آهسته تر بوته‌ها بود. همچنین گیاهان در سیستم آئروپونیک دومین فلش رشد استولون‌ها نیز دیده شد، بدین صورت که برداشت غده‌ها باعث افزایش تشکیل مجدد غده‌ها شد و همچنین گزارش شده برداشت‌های متعدد باعث شکست غالبیت انتهایی و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود. تولید غده در سیستم آئروپونیک ۱۰۱ غده به ازای هر گیاه بود یعنی در حدود ۱۰-۲۰ برابر افزایش غده نسبت به دو سیستم دیگر داشت (۹).

تاثیر قطع محلول غذایی در تولید غده در سیستم آئروپونیک

در تحقیق دیگری پاسخ‌های فیزیولوژیکی سیب زمینی در سیستم آئروپونیک بررسی شد. **Chang** همکاران در سال ۲۰۰۶ گزارش کردند، تولید زود هنگام غده سیب زمینی زمانی شروع می‌شود که دمای ناحیه ریشه نسبتاً بالا باشد (۲۵ درجه سانتیگراد). در این شرایط تولید غده توسط دمای بالا با تاثیر بر کمبود عناصر معینی مثل آهن، منیزیم و ازت و یا از طریق آسیب‌رسانی به سیستم ریشه‌ای باعث تحریک غده‌زایی می‌شود. در این تحقیق از ارقام سیب زمینی مثل Superior, Atlantic, jasim استفاده شد. در ابتدا غده‌ها در محیط کشت پرلایت کاشته شدند تا گیاهان یکنواخت به اندازه ۸ سانتیمتر بدست آید. سپس به سیستم آئروپونیک به ابعاد $23 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 52$ و جنس استیروفوم و تراکم $25 \times 25 \text{ cm}^2$ منتقل شدند. و ۸ نازل در کف بستر محلول غذایی را هر ۵ دقیقه به میزان ۲۰ ثانیه اسپری می‌کردند. منبع غذایی در روزهای ۱۰، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ در طول رشد رویشی قطع شدند.

قطع محلول غذایی طی رشد رویشی سیب زمینی، تاثیراتی بر رشد اندام هوایی، ریشه و استولون داشت و تولید غده را نیز القا کرد. قطع کردن محلول غذایی در روز ۷ باعث افزایش فعالیت ریشه در تمام ارقام شد. و بیان کردند افزایش فعالیت ریشه باعث تغییر در نسبت هورمون‌های داخلی مثل ABA و GA در سیب زمینی می‌شود. بنابراین وقفه در اسپری محلول غذایی باعث تنش مکانیکی و به دنبال آن افزایش فعالیت ریشه و در نتیجه غده زایی القا می‌شود.

در روزهای بین ۲۵ تا ۵۵ بعد از کشت مجدداً به مدت ۱۰ روز وقفه در محلول غذایی ایجاد شد. این وقفه به طور معنی‌داری فعالیت ریشه و میزان آنتوسیانین‌ها را افزایش داد ولی باعث کاهش تعرق و فتوسنتز شد. که این تغییرات در پاسخ‌های فیزیولوژی، تشکیل غده‌ها را القا کرد. همچنین تعداد غده به میزان ۱۸ درصد در رقم Superior افزایش یافت. در این رقم غده‌زایی زودتر از ارقام دیگر القا و از روز ۲۵ بعد از کشت آغاز شد. همچنین هنگامی که محلول غذایی بعد از ۳۵ و ۴۵ روز قطع شد، رشد غده‌ها به میزان ۲۷-۳۶ درصد، ۱۴-۲۰ درصد، ۲۱-۵ درصد به ترتیب برای ارقام Superior, Atlantic, jasim کاهش یافت. به هر حال قطع محلول غذایی زود هنگام رشد غده‌ها را به میزان ۴۰ درصد در تمام ارقام کاهش داد. از طرف دیگر تعداد غده‌ها در رقم Superior به میزان ۱۸ درصد افزایش یافت (۳).

25 DAT 35 DAT 45 DAT CONT



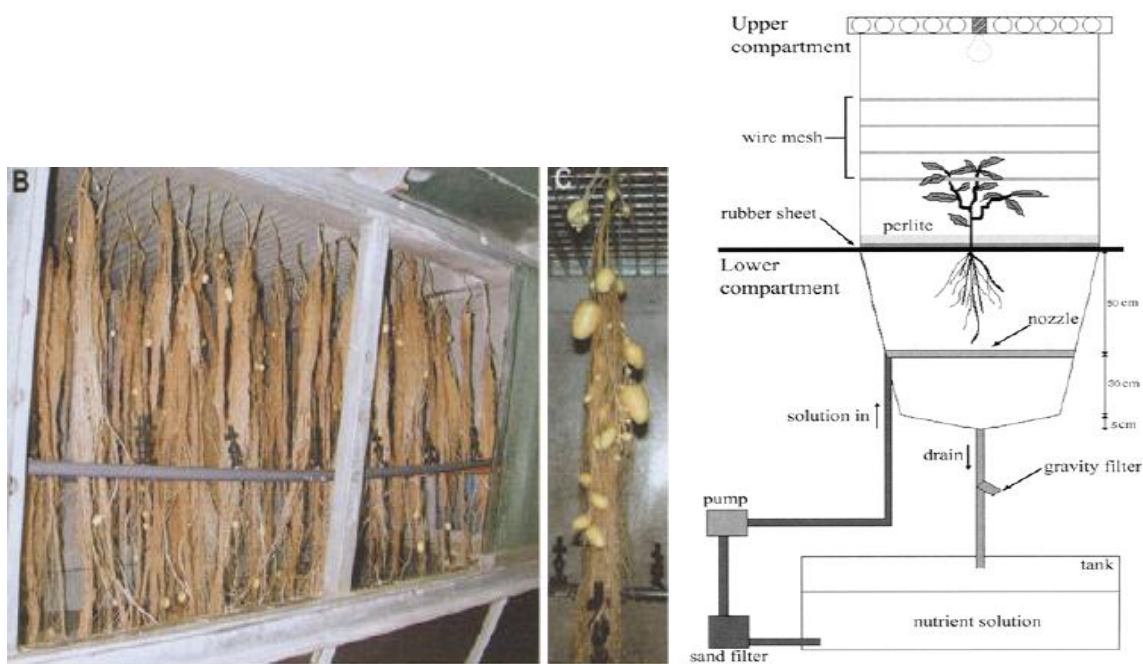
بنابراین در شرایطی که تولید غده در سیب زمینی امکان پذیر نیست مانند دمای بالا و ارقام دیر رس، می‌توان از تکنیک قطع تغذیه به منظور تولید بذر سیب زمینی استفاده کرد (۳).

تراکم گیاهی و فاصله برداشت

گزارش شده تعداد و زمان برداشت از فاکتورهای موثر در تولید غده است. برای اپتیمم کردن سیستم آئروپونیک، محلول غذایی مناسب، تراکم گیاه، تعداد برداشت، فاصله برداشت و اثر متقابل بین آن‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد.

بدین منظور تحقیقی در سیستم آئروپونیک با فاصله برداشت و تراکم مختلف با ظرفیت کنترل دما، نور انجام شد. اندام هوایی در روشنایی و ریشه‌ها در تاریکی بودند (تصویر زیر).

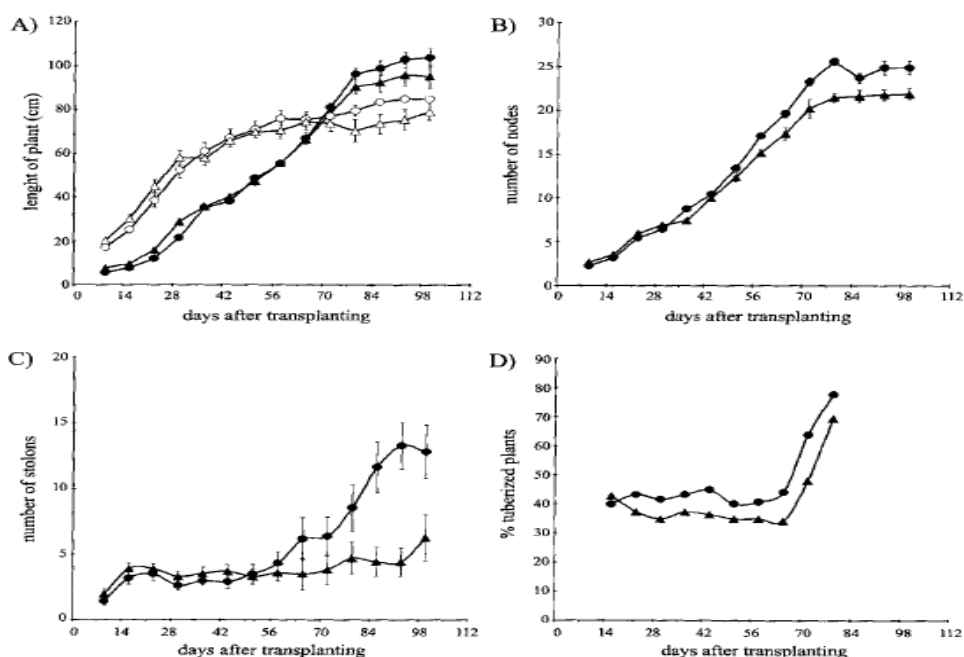
تراکم گیاه ۱۰۰ (۱۰×۱۰) و ۶۰ (۱۳×۱۳) بوته در متر مربع و زمان برداشت با فاصله ۱۴، ۷، ۱۰ روز انجام شد. و در زمان برداشت غده‌هایی که به اندازه ۲ میلی متر بودند برداشت می‌شدند. و ۸ نازل در متر مربع نصب شدند و محلول غذایی را هر ۲۰ دقیقه به میزان ۱۰ ثانیه اسپری می‌کردند.



نتایج نشان داد، اختلاف معنی‌داری در رشد اندام هوایی و ریشه در هر دو تراکم وجود ندارد (نمودار A). تعداد گره‌ها در تراکم ۱۰۰ به دلیل سایه اندازی کمتر بود (نمودار B).

همچنین مشاهده شد رشد شاخه‌ها در ۶۰ روز اول به صورت خطی افزایش یافت و در همان زمان تعداد غده کمتری تشکیل شد (نمودارهای A و D). و بعد از ۶۰ روز به دلیل کاهش منبع نیتروژن، گیاهان رشد کمتری داشتند که به دنبال آن تولید غده به مدت سه هفته صورت گرفت. تعداد استولون‌ها در تراکم ۶۰ افزایش معنی‌داری داشت (نمودار C) (۸).

● تراکم ۶۰ ▲ تراکم ۱۰۰



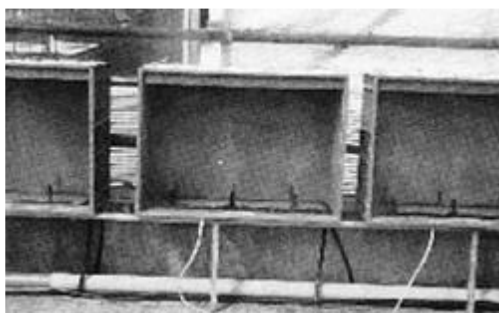
غده‌زایی در ۶۰ روز اول به دلیل طول روز بلند و منبع ازت زیاد به تاخیر و رشد رویشی افزایش یافت. بعد از شروع برداشت استولون کمتری در گیاهان پر تراکم تشکیل شدند. عملکرد غده‌ها در جدول زیر آمده است بدین صورت که تفاوت معنی‌داری در میانگین وزن غده‌ها برای هیچ کدام از زمان‌های برداشت و تراکم گیاهی مشاهده نشد. در زمان برداشت نهایی که بعد از ۱۴۰ روز انجام شد، گیاهانی که هر هفت روز برداشت می‌شدند عملکرد بیشتری داشتند بدین صورت که عملکرد به ازای هر گیاه در تراکم ۶۰، چهار برابر بیشتر از تراکم ۱۰۰ بود (جدول زیر) (۸).

تراکم ۱۰۰ گیاه در متر مربع				تراکم ۶۰ گیاه در متر مربع		
فاصله برداشت	تعداد غده به ازای هر گیاه	میانگین وزن هر غده (گرم)	عملکرد هر گیاه (گرم)	تعداد غده به ازای هر گیاه	میانگین وزن هر غده (گرم)	عملکرد هر گیاه (گرم)
۷ روز	9 b.3	03 a.7	72 b.27	4 a.13	13 a.8	61 a.118
۱۰ روز	0 b.5	89 a.9	72 b.50	8 b.5	44 a.9	64 b.68
۱۴ روز	8 b.3	84 a.8	30 b.40	0 b.5	75 a.8	13 b.42

به منظور مقایسه سیستم آئروپونیک و هیدروپونیک در تولید ریز غده سیب زمینی تحقیقی در سال ۲۰۰۱ انجام شد. در این آزمایش گیاهچه‌ها از طریق کشت گره در محیط کشت MS به دست آمد. ویژگی‌های دو سیستم به صورت زیر است.

سیستم هیدروپونیک: در این سیستم از محیط کشت پرلایت استفاده شد و عمق محیط کشت ۳۰ سانتیمتر و تراکم گیاه ۱۰×۱۰ و دمای گلخانه ۱۸-۲۲ درجه سلسیوس و بدون اضافه کردن منبع نور بود. بعد از ۱۶ هفته گیاهان رشد رویشی را کامل کردند. در این سیستم دو سیکل تولید در سال به دست آمد.

سیستم آئروپونیک: این سیستم در همان گلخانه با ۶ اتاقک به ابعاد ۸۵×۴۵×۶۰ راه اندازی شد. گیاهچه‌ها در بالای اتاقک منتقل شدند و در روشنایی قرار گرفتند در صورتی که استولون‌ها، غده‌ها و ریشه‌ها در تاریکی بودند. تراکم گیاه، محلول غذایی مشابه سیستم هیدروپونیک بود. مه پاش‌ها در کف اتاقک‌ها نصب شدند و هر ۱۰ دقیقه به میزان ۳۰ ثانیه محلول‌پاشی می‌کردند (تصویر زیر)



ارتفاع گیاهان در سیستم هیدروپونیک به ۹۰-۱۱۰ سانتیمتر رسید در صورتی که در سیستم آئروپونیک به ۱۸۰-۱۵۰ سانتیمتر بود. افزایش در رشد رویشی در سیستم آئروپونیک همچنین در ریشه و طول آن نیز مشاهده شد. گیاهان در سیستم هیدروپونیک هر سیکل رشد ۴ ماه طول کشید در صورتی که گیاهان کشت شده در سیستم آئروپونیک از طریق تولید شاخه‌های جدید از جوانه‌های جانبی به رشد خود ادامه دادند که این رشد ثانویه منجر به تشکیل استولون‌های جدید و غده‌های بیشتر شد. و سیکل زندگیشان را به مدت ۷ ماه تمام کردند. نتایج عملکرد در جدول زیر خلاصه شده است. بدین ترتیب که در سیستم هیدروپونیک ۴/۹ غده به ازای هر گیاه در هر دو سیکل به دست آمد. و عملکرد نهایی تقریباً ۶۵/۳ گرم به ازای هر گیاه و ۱۳/۳ گرم میانگین وزن هر غده بود (۱۵).

در سیستم آئروپونیک عملکرد نهایی ۱۰۹/۹ گرم به ازای هر گیاه و به طور میانگین ۱۲/۴ غده و میانگین وزن ۸,۹ گرم به ازای هر گیاه به دست آمد. که در مقایسه با یک سیکل هیدروپونیک ۳-۴ برابر بیشتر است.

Hydroponic system	TN/P	Y/P	ATW
Cycle I; March 3 to June 29	2.3	36.2	15.8
Cycle II; July 15 to Nov. 10	2.6	29.1	11.2
Total	4.9	65.3	13.3
Aeroponic system (Cycle from May 3 to December 3)			
Harvesting date	TN/P	Y/P	ATW
1. July 5	0.2	0.7	4.6
2. August 3	0.4	2.5	6.5
3. September 4	1.1	17.8	15.5
4. October 6	1.3	19.3	14.7
5. October 22	1.5	19.2	13.2
6. November 5	3.7	37.6	10.2
7. November 19	1.4	6.0	4.2
8. December 3	2.8	6.7	2.4
Total	12.4	109.9	8.9
Pr>F	0.0002	0.002	0.0001

TN/P= average number of tubers per plant,
Y/P=yield per plant (g),
ATW=average tuber weight (g).

در مقایسه با سیستم هیدروپونیک، عملکرد غده‌ها به ازای هر گیاه در سیستم آئروپونیک به میزان ۷۰ درصد بیشتر و تعداد غده‌ها ۲/۵ برابر بود. در صورتی که میانگین وزن غده‌ها ۳۳ درصد کاهش داشت. همچنین تفاوتی در نگهداری (درصد پوسیدگی جوانه‌زنی) و بعد از کاشت در مزرعه اختلافی در رشد و توسعه و عملکرد نداشت. در پایان بسیاری از جنبه‌های این تکنیک به منظور ایتیم کردن این سیستم باید مورد توجه قرار گیرد مانند محلول غذایی مناسب، تراکم گیاهی و تعداد برداشت و فاصله بین برداشت و تعامل بین این‌ها بررسی شود و نتایج به دست آمده نشان داد سیستم آئروپونیک می‌تواند، سیستم مناسبی برای تولید غده سیب زمینی باشد (۱۵).

آئروهیدروپونیک

در این سیستم علاوه بر اینکه محلول غذایی بر روی ریشه‌ها پاشیده می‌شود، جریانی از محلول غذایی نیز در کف سیستم در جریان است. به موازات رشد بوته‌ها، سیستم ریشه‌ای به سمت ته بستر کشت رشد می‌کند و یون‌های غیر آلی را از محلول غذایی که به صورت پیوسته در جریان است، جذب می‌کند. عمق مناسب محلول غذایی در حال چرخش بین ۳ تا ۵ سانتیمتر تخمین زده می‌شود. به ویژه استولون‌های سیب زمینی که حداقل باید به مدت ۲۰ تا ۴۰ روز تا ماکسیمم تولید غده، رشد کند. پاسخ‌های رشدی مثل وزن‌تر و خشک گیاهان رشد کرده در آئروهیدروپونیک تفاوت معنی‌داری با سیستم‌های مرسوم آئروپونیک نداشت. تعداد غده‌های زیر ۲۰ گرم در سیستم آئروهیدروپونیک بیشتر از هیدروپونیک بود. اما تعداد غده‌هایی که بیش از ۲۰ گرم وزن داشتند در دو سیستم تفاوت چندانی نداشت. اگرچه در آئروهیدروپونیک تعداد غده‌هایی با وزن کمتر (۱۲ تا ۱۵ گرم) بیشتری نسبت به آئروپونیک تولید شد اما عملکرد کل غده‌ها از ۱۴ به ۲۳ درصد به دلیل افزایش تعداد غده افزایش یافت. بنابراین آئروهیدروپونیک نیز یک روش مناسب در تولید غده سیب زمینی است (۴).

سایر تحقیقات انجام شده در این زمینه

۱) اثر هورمون‌ها بر غده‌زایی سیب زمینی در آئروپونیک

در تحقیقی اثرات متیل جازمونات، اسید جیبرلیک بر روی سنتز هورمون‌های داخلی و نمو سیب زمینی در آئروپونیک بررسی شد و نتایج نشان داد زمانی که برگ‌های سیب زمینی با اسید جیبرلیک تیمار شد، میزان ایندول استیک اسید و متیل جازمونات در همه ارقام افزایش یافت درحالی که آبسیزیک اسید تنها در یک رقم کاهش یافت. همچنین کاربرد خارجی متیل جازمونات اثرات القایی بر تشکیل غده داشت. اما زمانی که متیل جازمونات به همراه اسید جیبرلیک به کار برده شد، اثر چندانی نداشت (۱۷).

۲) اثرات تعداد برگ در نمو آن در سیستم آئروپونیک

در این آزمایش برگ‌های بالایی و قسمت پایین ساقه به منظور تغییر در قدرت منبع سیب زمینی، کنده شد. نتایج نشان داد کاهش تعداد برگ به طور معنی‌داری ارتفاع گیاه را در آئروپونیک افزایش می‌دهد و قطر ساقه را کم می‌کند. همچنین حجم ریشه، تعداد استولون و تعداد غده به ازای هر گیاه را نیز کاهش می‌دهد (۱۲).

۳) اثرات روش‌های مختلف تغذیه بر عملکرد سیب زمینی در آئروپونیک

در این تحقیق دو روش کاربرد محلول غذایی به صورت محلول پاشی برگ و تغذیه ریشه در سیستم آئروپونیک بررسی شد. نتایج بیان کرد کاربرد محلول پاشی برگ تعداد غده کمی ایجاد کرد. در صورتی که کاربرد آن‌ها در ترکیب با یکدیگر به طور معنی‌داری عملکرد سیب زمینی را افزایش داد. بنا براین جذب محلول غذایی از طریق برگ به منظور تشکیل غده سیب زمینی در این سیستم از اهمیت به سزایی برخوردار است (۶).

۴) کاربرد دی اکسید کربن در سیستم آئروپونیک

در این آزمایش سیستم ریشه‌ای سیب زمینی رقم Favorita با غلظت‌های مختلف دی اکسید کربن به مدت ۳۵ روز در سیستم آئروپونیک تیمار شدند و مشاهده شد، ارتفاع گیاه، سطح برگ توده ریشه، وزن غده و وزن تر کل گیاه در گلخانه‌های که با گاز CO_2 تیمار شده بودند، افزایش یافت. بنابراین کاربرد CO_2 در غلظت ۳۸۰ تا ۹۲۰ میکرولیتر در لیتر و به همراه ۲۱ درصد اکسیژن در ناحیه ریشه باعث رشد سریع و نمو سیب زمینی می‌شود (۱۶).

نتایج بدست آمده بیان می‌کند آئروپونیک می‌تواند سیستم مناسبی برای تولید غده سیب زمینی باشد. در آخر بسیاری از جنبه‌های این تکنیک به منظور اپتیمم کردن این سیستم مانند محلول غذایی مناسب، تراکم گیاهی، تعداد برداشت و فاصله بین برداشت و تعامل بین این فاکتورها بررسی شود.

- (۱) رضایی، ع. الف. سلطانی. ۱۳۷۵. زراعت سیب زمینی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- (۲)
- 3) Boersig, M.R, and S.A. Wagner. 1988. Hydroponic system for production of seed tubers. Am Potato J .65:470–471.
 - 4) Chang,D.C.2008. Physiological Growth Responses by Nutrient Interruption in Aeroponically Growth Potatoes. Amer J of Potato Res.85 : 315-323
 - 5) Chang, D.C., Kim, S.Y., Park, C.S. and Lee, Y.B. 2007.Aerohydroponic Culture System for Seed Potato Production of Chipping Variety 'Atlantic'. Acta Hort. (ISHS) 761:145-150
 - 6) Christic.C.B,M.A.Nichols.2004. Aeroponics-A Production System and Research Tool.Acta Hort. 648 : 185-190
 - 7) Ding, Fan.2008. Effect of Different Nutrition Application Manner on Minituber Production in Aeroponics . Chinese Potato Journal-07
 - 8) du Toit, L.J., H.W. Kirby and W.L. Pedersen (1997). Evaluation of an Aeroponics System to Screen Maize Genotypes for Resistance to *Fusarium graminearum* Seedling Blight. Plant Disease. 81(2): 175-179.
 - 9) Farran,I.2006.Potato Minituber Production Using Aeroponics: Effect of Plant Density and Harvesting Intervals.Amer J of Potato Res.83: 47-53
 - 10) Kang, J.G., S.Y. Kim, H.J. Kim, Y.H. Om & J.K. Kim, 1996b. Growth and tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in aeroponic, deep flow technique and nutrient film technique culture systems.Journal of the Korean Society for Horticultural Science 37: 24–27.
 - 11) Kim, K.T., S.B. Kim, S.B. Ko & Y.B. Park, 1997. Effects of minituber picking intervals on the yield and tuber weight of potato grown in aeroponics.RDA Journal of Horticulture Science 39: 65–69.
 - 12) Kim, H.S., E.M. Lee, M.A. Lee, I.S. Woo, C.S. Moon, Y.B. Lee & S.Y. Kim, 1999. Production of high quality potato plantlets by autotrophic culture for aeroponic systems.Journal of the Korean Society for Horticultural Science 123: 330–333.
 - 13) Li Biao¹, Wang Jichun¹.2007. Effects of Controlling Leaf Number on the Development of Potato in Aeroponic Culture. Chinese Potato Journal -04

-
- 14) Nichols, M. N. 2005. Aeroponics and Potatoes. *Acta Hort.* 670 : 201-206
 - 15) Ranalli, P., 1997. Innovative propagation methods in seed tuber multiplication programmes. *Potato Research* 40: 439–453.
 - 16) Ritter, E, M. San José. 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Res* 44:127–135.
 - 17) Sun ZhouPing, Li TianLai, Yao Li, Zou HongLi. 2004. Effects of CO₂ treatment of root zone on potato growth and photosynthesis by aeroponics culture *Acta Horticulturae Sinica* <http://www.actahort.org>
 - 18) Zhongqun. Q. 2006. Effect of Gibberellins (GA₃) and Methyl Jasmonate (MeJA) on Endogenous Hormones and Development of Potato in Aeroponics. *Chinese Potato Journal*-01
 - 19) <http://www.wikipedia.com>