بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده کشاورزی
گروه زراعت و اصلاح نباتات

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی‌ارشد (M. Sc.)
در رشته زراعت

همسانه سازی پروموتر اختصاصی ژن پاتاتین در غده سیب زمینی

تحقیق و نگارش
مهدی آقاپور

استاد راهنما
مرحوم دکتر علی حق‌نظری و دکتر باغبان کهنه روز

مهر ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس بی‌پایان درگاه خداوند متعال را که سختی‌های تحصیل علم را در تمام مقاطع تحصیلی بر من هموار نمود.

مفتخرم که یک سال و نیم از راهنمایی‌های استادی دلسوز و عارفی فقید بهره‌مند بوده و صد حیف که من بعد از تجارب علمی و اخلاقی این بزرگوار محروم خواهیم بود. دکتر علی حق‌نظری، روحش شاد و یادش گرامی.

سپاسگزارم از:

- استاد راهنمای محترم و گرامی جناب آقای دکتر بهرام باغبان کهنه روز که به عنوان استاد علم و اخلاق در اجرای مراحل مختلف این پایان نامه از هر گونه تلاشی دریغ ننموده‌اند.
- جناب آقای دکتر محمد رضا عظیمی، دکتر ملکی و دکتر فتوت که زحمت داوری این پایان‌نامه را با وجود مشقت فراوان متقبل شدند.
- استاد مشاورم خانم دکتر اشرف قلی‌زاده که در اجرای مراحل مختلف این پایان نامه نهایت همکاری را مبذول داشته‌اند.
- مدیریت محترم گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تبریز و دیگر همکارانشان که امکان ایجاد این تحقیق را فراهم آوردند تشکر می‌نمایم.

تقدیم به:

پدر و مادر

و همسر عزیزم

که همواره مشوق و پشتیبان من بوده اند

چکیده

امروزه استفاده از راه‌اندازهای اختصاصی از مهمترین فاکتورهای درگیر در ساخت سازه‌های ژنی برای بیان اختصاصی پروتئین‌های نوترکیب در سیستم‌های بیانی می‌باشد. پاتاتین یک گروه از گلیکوپروتئین های سیب زمینی می‌باشد که به وسیله یک خانواده چند ژنی کد می‌شود و بیش از ٤٠٪ پروتئین‌های محلول غده سیب زمینی را به خود اختصاص می‌دهد و می‌توان گفت قوی ترین راه‌انداز اختصاصی در غده می‌باشد. بدلیل جایگاه سیب زمینی به عنوان چهارمین محصول بااهمیت جهان، از راه‌انداز پاتاتین برای بیان پروتئین‌های مختلف در غده‌های سیب زمینی جهت افزایش مقاومت به آفات و تنش‌ها، تولید غده‌های غنی سازی شده نسبت به ویتامین‌ها و تولید داروهای زیستی در غده‌ها استفاده شده است. شبکه آندوپلاسمی سلول‌های گیاهی می‌تواند به طور معمول تجمع بالایی از پروتئین‌ها را بدون تهدید نمو و تولید مثل گیاه، تحمل کند. این ویژگی به منظور تجمع پروتئین نوترکیب بکار گرفته می‌شود. هدف از این تحقیق جداسازی راه‌انداز اختصاصی پاتاتین به همراه نواحی ٥´ UTR و پپتید نشانه شبکه آندوپلاسمی از غده سیب زمینی و استفاده از آنها می‌باشد. در این تحقیق ابتدا پرایمرهای اختصاصی طراحی و با استفاده از تکنیک PCR قطعه مد نظر تکثیر شده و پس از استخراج قطعه از ژل، واکنش اتصال ترانسفورماسیون باکتری *E.coli* سویه DH5α انجام شد. سپس استخراج پلاسمید از باکتری‌های تراریخت صورت گرفته و حظور قطعه مورد نظر در پلاسمیدها بوسیله هضم آنزیمی تأیید شد. درنهایت پلاسمیدهای نوترکیب توالی‌یابی شدند و نتایج حاصل از همردیفی وجود پلی‌مورفیسم تک نوکلوتیدی(SNP) وحضور یک قطعه وارد شده داخل قطعه راه‌انداز را نشان دادند. این مسأله از این جهت که این توالی برای اولین بار در ایران جدا گردیده، حائز اهمیت فراوان است.

کلمات کلیدی: راه‌انداز اختصاصی، پاتاتین، سیب زمینی، پپتید نشانه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

۱- مقدمه ۲

فصل دوم

۲-۱- گیاهشناسی سیب زمینی ۶

۲- ۲- سطح زیر کشت و میزان تولید ۶

۲-۳- سیب زمینی به عنوان بیوراکتور ۷

۲-۳-۱- مراحل تولید پروتئین نوترکیب ۸

۲-۳-۲- فواید غده سیب زمینی برای کشت مولکولی ۹

۲-۴- سازه‌های ژنی شیمری ۱۰

۲-۵- راه‌اندازهای گیاهی ۱۱

۲-۵-۱- راه‌اندازهای عمومی ۱۳

۲-۵-۲- راه‌اندازهای اختصاصی بافت ۱۴

۲-۶- راه‌انداز اختصاصی غده پاتاتین ۱۶

۲-۷- شبکه آندوپلاسمی و تجمع پروتئین‌ها در آن ۲۴

۲-۷-۱- توالی KDEL و توالی سیگنال (پپتید نشانه) ۲۵

۲-۷-۲- طرق ورود یا اتصال پروتئین‌ها به شبکه آندوپلاسمی ER ۲۶

۲-۷-۲-۱- الصاق توام با ترجمه ۲۶

۲-۷-۲-۲- ساخت روی پلی ریبوزوم‌ها آزاد و سپس اتصال به غشای آندوپلاسمی ۲۶

۲-۷-۲-۳- ذخیره در سطح مجرایی ER توسط توالی‌های خاص اسید آمینه‌ای ۲۶

۲-۷-۲-۴- انتقال برگشتی از دستگاه گلژی ۲۷

فصل سوم

۳- مواد و روش‌ها..... ۲۹
۳-۱- مواد..... ۲۹
۳-۱-۱- پلاسمیدها ۲۹
۳-۱-۱-۱- ناقل کلونینگ..... ۲۹
۳-۱-۲- سویه باکتریایی ۳۰
۳-۱-۳- کیت های مورد استفاده..... ۳۰
۳-۱-۴- مواد واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (PCR)..... ۳۰
۳-۱-۵- آنزیم‌ها..... ۳۱
۳-۱-۶- نشانگر وزن مولکولی DNA..... ۳۱
۳-۲- روش‌ها..... ۳۲
۳-۲-۱- کشت باکتری ۳۲
۳-۲-۱-۱- محیط‌های کشت..... ۳۲
۳-۲-۱-۱-۱- محیط کشت نیمه جامد LB (Luria-Bertani)..... ۳۲
۳-۲-۱-۱-۲- محیط کشت مایع..... ۳۲
۳-۲-۱-۱-۳- محیط LBA دارای آمپی‌سیلین..... ۳۲
۳-۲-۱-۱-۴- محیط حاوی آمپی سیلین، X-gal و IPTG ۳۳
۳- ۲-۱-۲- تهیه استوک $^{\circ}C$ ۸۵- باکتری ۳۳
۳-۲-۲- بافرها و محلول‌ها ۳۳
۳- ۲-۲-۱- محلول‌های استخراج پلاسمید به روش لیز قلیایی (در مقیاس کوچک)..... ۳۳
۳-۲-۲-**۲**- محلول های لازم برای الکتروفورز DNA روی ژل آگارز ۳۵

۳-۲-۲-۲-۱- محلول TBA ۳۵
۳-۲-۲-۲-۲- محلول اتیدیوم برماید (۱۰ میلی گرم در میلی‌لیتر)..... ۳۵
۳-۲-۲-۲-۳- محلول بارگزاری..... ۳۵
۳-۲-۲-۳- محلول ذخیره IPTG..... ۳۵
۳-۲-۲-۴- محلول ذخیره X - Gal..... ۳۶
۳-۲-۲-۵- بافر TSS..... ۳۶
۳-۲-۲-۶- EDTA نیم مولار pH=۸..... ۳۶
۳-۲-۲-۷- Tris-Cl نیم مولار با pH =۸ ..... ۳۷
۳-۲-۲-۸- بافر استخراج CTAB (۲X)..... ۳۷
۳-۲-۳- محلول ذخیره آمپی سیلین..... ۳۷
۳-۲-۴- ژل آگارز ۰/۸ درصد..... ۳۷
۳-۲-۵- الکتروفورز ژل آگارز..... ۳۷
۳-۳- طراحی آغازگرها..... ۳۸
۳-۳-۱- کنترل صحت آغازگرها..... ۳۸
۳-۳-۲- رقیق سازی آغازگرها..... ۳۹
۳-۴- مواد گیاهی..... ۳۹
۳-۵- استخراج DNA..... ۳۹
۳-۶- بررسی کیفیت و کمیت DNAی استخراج شده..... ۴۱
۳-۷- تکثیر توالی‌های مورد نظر با استفاده از PCR..... ۴۱
۳-۷-۱- مخلوط واکنش..... ۴۱
۳-۷-۲- مراحل PCR ۴۲
۳-۸- استخراج قطعه از ژل..... ۴۲
۳-۸-۱- مراحل استخراج قطعه از ژل..... ۴۲
۳-۹- همسانه سازی محصول PCR در پلاسمید *p*GEM–T..... ۴۴

۳-۹-۱- اتصال محصول ۴۴
۳-۹-۲- آماده سازی سلول‌های مستعد ۴۵
۳-۹-۳- تراریختگی باکتریایی ۴۶
۳-۱۰- غربال کردن کلون‌های نوترکیب در محیط کشت حاوی X-gal و IPTG ۴۸
۳-۱۱- تائید مولکولی کلونی‌های نوترکیب ۴۸
۳-۱۱-۱- تکنیک Colony PCR ۴۸
۳-۱۱-۲-۱- مخلوط واکنش ۴۹
۳-۱۱-۲-۲- مراحل Colony PCR ۴۹
۳-۱۱-۲- روش هضم آنزیمی ۴۹
۳-۱۲- استخراج پلاسمید با استفاده از کیت ۵۰
۳-۱۲-۱- مراحل استخراج پلاسمید با استفاده از کیت ۵۰
۳-۱۳- توالی‌یابی کلونی‌های مثبت ۵۱

فصل چهارم

۴-۱- طراحی آغازگرهای اختصاصی ۵۳
۴-۲- استخراج DNA ژنومی ۵۶
۴-۳- تکثیر راه‌انداز پاتاتین با استفاده از روش PCR ۵۶
۴-۴- نتایج حاصل از کلونینگ ۵۸
۴-۴-۱- اتصال محصول PCR به وکتور پلاسمیدی *p*GEM–T ۵۸
۴-۴-۲- تراریختگی باکتریایی ۵۸
۴-۴-۳- تائید کلونینگ با استفاده از Colony PCR ۵۹
۴-۴-۴- تائید کلونینگ با استفاده از هضم آنزیمی ۶۰
۴-۴-۵- نتایج حاصل از توالی یابی ۶۱
۴-۴-۵-۱- نتایج حاصل از توالی یابی قطعه راه انداز ۶۲

۴-۴-۵-۲- ناحیه 5´UTR ۶۹
۴-۴-۵-۳- ناحیه سیگنال پپتید ۷۰

نتیجه‌گیری کلی ۷۲

پیشنهادات ۷۳

فهرست منابع ۷۴

فهرست جداول

۲-۱- مثال‌های بارز از توالی‌های نشانه و مکان‌های هدف ۲۷
۳-۱- محلول شماره ۱ استخراج پلاسمید (برای ۲۵ ml) ۳۳
۳-۲- محلول شماره ۲ استخراج پلاسمید (برای ۵ ml) ۳۴
۳-۳- محلول شماره ۳ استخراج پلاسمید (برای ۲۵ ml) ۳۴
۳-۴- مواد تشکیل دهنده TSS ۳۶
۳-۵- مقدار مواد استفاده شده برای هر واکنش PCR توالی های مورد نظر ۴۲
۳-۶- چرخه‌های حرارتی بکار رفته برای تکثیر توالی های مورد نظر ۴۲
۳-۷- واکنش اتصالی ابتدا DNA حامل (پلاسمید) و DNA درجی ۴۵
۳-۸- محلول برای فعالیت آنزیم برشی *Hin*dIII ۴۹
۳-۹- اجزای لازم برای هضم آنزیم‌های برشی *HindIII* و *NcoI* ۵۰
۴-۱- توالی آغازگرهای پیش‌رو و پس‌رو برای راه‌انداز پاتاتین ۵۳
۴-۲- میزان تشابهات و اختلافات در راه‌انداز همسانه سازی شده ۶۶
۴-۳- توالی‌های درجی و حذف شده در راه‌اندازهای همسانه سازی شده ۶۶

فهرست شکل‌ها

۲-۱- توزیع سطح زیر کشت سیب زمینی استان‌ها در سال زراعی ۸۷- ۱۳۸۶ ..... ۶

۲- ۲- توزیع نسبی میزان تولید سیب زمینی به تفکیک استان‌ها در سال زراعی ۸۷- ۱۳۸۶ ..... ۷

۲-۳- شکل شماتیک از سازه ژنی ۱۱

۲-۴- نمایی از راه‌اندازهای اختصاصی بافتی ۱۶

۲-۵- دو منطقه از بافت غده سیب زمینی ۱۷

۲-۶- موقعیت Bbox و سایت یک و دو در Bbox ۱۹

۲-۷- الگوی بیان راه‌انداز پاتاتین ۲۰

۳-۱- نقشه ژنتیکی *p*GEM-T ۳۰

۳-۲- نشانگرمولکولی Kb ۱ ..... ۳۱

۴-۱- اتصال آغازگرها برای راه‌انداز پاتاتین همراه با ناحیه پپتید نشانه در نرم افزار آنلاین Primer3 ..... ۵۴

۴-۲- اتصال آغازگرها برای راه‌انداز پاتاتین بدون ناحیه پپتید نشانه در نرم افزار آنلاین Primer3 ..... ۵۵

۴-۳- DNA ژنومی گیاه سیب زمینی رقم آگریا ۵۶

۴-۴- تکثیر راه‌انداز پاتاتین به همراه توالی پپتید نشانه (۶۹ bp +۱۱۱۰) با استفاده از روش PCR ۵۷

۴-۵- تکثیر راه‌انداز پاتاتین بدون توالی پپتید نشانه (۱۱۱۰ bp) با استفاده از روش PCR ۵۷

۴-۶- تراریخت کردن باکتری *E.coli* و مشاهده کلونی های سفید و آبی ۵۸

۴-۷- تائید کلونینگ با استفاده از Colony PCR ۵۹

۴-۸- تائید کلونینگ با استفاده از هضم آنزیمی برای قطعه راه‌انداز پاتاتین همراه با ناحیه پپتید نشانه ۶۰

۴-۹- تائید کلونینگ با استفاده از هضم آنزیمی برای قطعه راه‌انداز پاتاتین بدون ناحیه پپتید نشانه ۶۱

۴-۱۰- همردیفی راه‌انداز پاتاتین همراه پپتید نشانه با توالی X03956.1 ۶۳

۴-۱۱- همردیفی راه‌انداز پاتاتین همراه پپتید نشانه با توالی‌های موجود در NCBI ۶۴

۴-۱۲- همردیفی راه‌انداز پاتاتین بدون پپتید نشانه با توالی‌های موجود در NCBI ۶۴

۴-۱۳- همردیفی راه‌انداز پاتاتین بدون ناحیه پپتید نشانه با توالی X03956.1 ۶۶

۴-۱۴- همردیفی توالی تکراری داخل راه‌انداز پاتاتین ۶۷

۴-۱۵- محل اتصال استروکیپر داخل جعبه B ۶۸

۴-۱۶- توالی راه‌انداز پاتاتین همسانه سازی شده و باکس‌های مهم آن ۶۸

۴-۱۷- همردیفی ناحیه UTR ۵ در دو کلاس از راه‌انداز پاتاتین در سه کلون مجزا ۶۹

۴-۱۸- همردیفی ناحیه UTR ۵ در دو کلاس از راه‌انداز پاتاتین ۷۰

۴-۱۹- همردیفی ناحیه سیگنال پپتید پاتاتین ۷۰

۴-۲۰- توالی آمینواسیدی برای پپتید نشانه راه انداز پاتاتین ۷۱

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

امروزه گیاه سیب زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* نه تنها از لحاظ تامین کالری مورد نیاز بشر بوده بلکه دارای مصارف گوناگون صنعتی، دارویی و بهداشتی نیز می‌باشد. یکی از روش‌های دقیق و هدفمند در استفاده موثر از این گیاه و تولید فراورده‌های مورد نیاز انسان دستکاری ژنتیکی این گیاه است و دستیابی به این هدف نیازمند شناسایی و جداسازی ژن‌ها و عناصر عملگر همسو[1] در بیوسنتز این فراورده‌ها همچون راه‌اندازها می‌باشد. راه‌اندازها توالی‌های خاصی از DNA هستند که RNA پلی‌مرازها از طریق آنها به DNA متصل می‌شوند. به عبارت دیگر راه‌اندازها سایت‌های خاصی از ژن می‌باشند که در تنظیم و مدیریت فعالیت مکانی و زمانی ژن‌ها و شکل گیری کمپلکس آنزیم‌های رونویسی در آن نواحی نقش دارند. راه‌اندازهای قوی راه‌اندازهایی هستند که می‌توانند نسبت بالایی از رونویسی را باعث شوند. این راه‌اندازها ژن‌هایی را کنترل می‌کنند که محصولاتشان به میزان زیادی مورد نیاز سلول است. بنابراین قطعه راه‌انداز علاوه بر تعیین محل بیان ژن در میزان نسخه برداری نیز بسیار مهم است. در کل راه‌اندازها می‌توانند بر اساس فعالیت خود به راه‌اندازهای عمومی، راه‌انداز اختصاصی بافت، راه‌اندازهای القایی و راه‌اندازهای مصنوعی تقسیم بندی شوند (Yoshida and Shinmyo., 2000). راه‌اندازهای عمومی مثل CaMV 35S که معمولا در مهندسی ژنتیک گیاهی بطور وسیع استفاده می‌شوند به طور پیوسته ژن‌های پایین دست خود را در تمام دوره زندگی گیاه و در همه بافت‌ها بیان می کنند. اگر ترانس ژن مورد نظر در زمان و بافت نادرستی از گیاه بیان شود، احتمالا نتایج غیر قابل انتظاری در رشد و نمو گیاه حاصل می‌شود (Muren and Rask., 1995). این نه تنها باعث هدرروی انرژی گیاه میزبان می‌شود، بلکه می‌تواند برای آنها مضر نیز باشد. در مقابل راه‌اندازهای اختصاصی بیان ژن در بافت

[1] - Cis-acting

یا مرحله نموی خاصی را کنترل می‌کنند. تراریخته حاصل از این راه‌اندازها تنها در بافت خاصی تظاهر می‌یابد. آنها برای تجمع محصول تراریخته در اندام‌های معین مانند بذور و غده‌ها، حذف احتمال هرگونه اثر منفی روی رشد گیاه و افزایش عملکرد اقتصادی خیلی مفیدند. یکی از این راه‌اندارها در سیب زمینی راه‌انداز پاتاتین[1] می‌باشد که به منظور تولید دکستران، آنتی ژن هپاتیتB ، میمفوتوکسین بتا[2] و کلرا توکسین B [3] در غده سیب زمینی به کار گرفته شده است.

سیب زمینی دارای پتانسیل فوق العاده‌ای به عنوان یک محصول تراریخته می‌باشد و مدل خوبی برای آنالیز تنظیم بیان ژن است. این گیاه ژنتیک پیچیده‌ای دارد، اما ثبات ماده ژنتیکی در طول نسل‌ها که از طریق تکثیر غیر جنسی حاصل می‌گردد، آن را برای کشت مولکولی کاربردی، ایده آل کرده است.

پاتاتین یک گروه از گلیکوپروتئین‌های سیب زمینی می‌باشد که به وسیله یک خانواده چند ژنی کد می‌شود و بیش از ٤٠٪ پروتئین‌های محلول غده سیب زمینی را به خود اختصاص می‌دهد و می‌توان گفت قوی ترین راه‌انداز اختصاصی در غده می‌باشد. بدلیل جایگاه سیب زمینی به عنوان چهارمین محصول با اهمیت جهان، از راه‌انداز پاتاتین برای بیان ژن‌های مختلف در غده‌های سیب زمینی جهت افزایش مقاومت به آفات و تنش‌ها، تولید غده‌های غنی سازی شده نسبت به ویتامین‌ها و تولید داروهای زیستی در غده‌ها استفاده می‌شود.

امروزه استفاده از راه‌اندازهای اختصاصی از مهمترین فاکتورهای درگیر در ساخت سازه‌های ژنی برای بیان اختصاصی پروتئین‌های نوترکیب در سیستم‌های بیانی می‌باشد. راه‌اندازها مهمترین بخش سازه‌های ژنی هستند و برای تولید پروتئین‌های هترولوگ ضروری‌اند. با توجه به وجود تفاوت در محتوای پروتئین غده‌ها در بین واریته‌های سیب زمینی، دستیابی به این عناصر تنظیم‌گر ولی از واریته‌های رایج

[1] - patatin promoter
[2] - LTB
[3] - CTB

کشور هدف‌گیری شده است. به نظر می‌رسد یکی از عوامل تغییر در میزان پروتئین غده مربوط به عملکرد راه‌انداز می‌باشد. امید است با دسترسی به توالی راه‌اندازهای پاتاتین گیاهان سیب زمینی کشت شده در کشور بتوان در خصوص تفاوت‌های احتمالی آنها اظهار نظر نموده و در تحقیقات بعدی از راه-اندازهای سازش یافته به شرایط آب و هوایی کشور استفاده کارآمد نمود. بر همین اساس هدف از انجام این تحقیق همسانه سازی راه‌انداز اختصاصی غده پاتاتین به همراه ناحیه '۵–غیر ترجمه شونده[1] هم با پپتید نشانه[2] و هم بدون پپتید نشانه از واریته‌های موجود در کشور می‌باشد.

[1] - 5´UTR
[2] -Signal peptid

فصل دوم

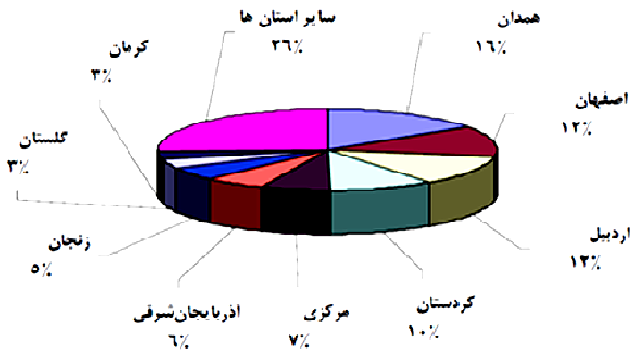
بررسی منابع

۲-۱- گیاهشناسی سیب زمینی

سیب زمینی *Solanum tuberosum* گیاهی دولپه‌ای، یک ساله، علفی، اتوتتراپلوئید و هتروزیگوس بوده و دارای ۲n=٤x=٤٨ کروموزوم می‌باشد (Human, 1986). سیب زمینی متعلق به خانواده *Solanacea* می‌باشد که بیش از ۹۰ جنس و ۲۸۰۰ گونه در این تیره وجود دارد. اگرچه گیاهان این خانواده در سراسر جهان یافت می شوند، ولی بطور عمده در نواحی گرمسیری آمریکای لاتین پراکنده هستند. جنس گیاه سیب زمینی *Solanum* است که به تنهایی تقریباً دارای ۲۰۰۰ گونه می‌باشد.

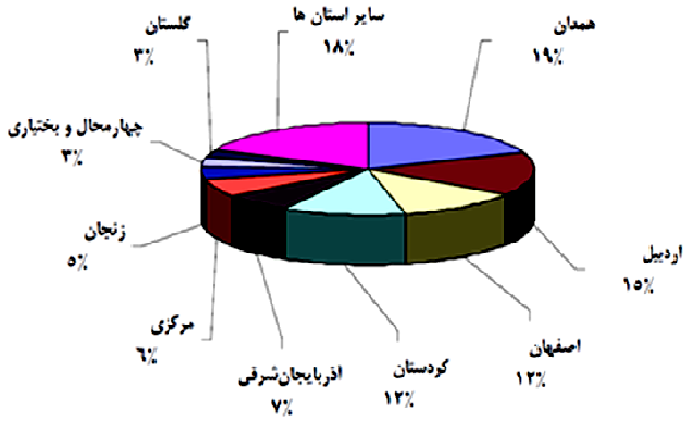
۲-۲- سطح زیر کشت و میزان تولید:

از آنجا که عملکرد سیب زمینی در واحد سطح بسیار بالا می‌باشد از لحاظ گسترش کشت در جهان بعد از ذرت در جایگاه دوم قرار داشته و دومین منبع غذایی ساده بعد از تخم مرغ می‌باشد (Yamaguchi, 1983). مقدار کل تولید در جهان ۳۲۰/۷۱ میلیون تن در جهان می‌باشد (FAO, 2005) که ۱۵۵/۵٦میلیون تن درکشورهای توسعه یافته و ۱٦۵/۱۵ میلیون تن در کشورهای در حال توسعه تولید می‌شود. کشورهای عمده تولید کننده چین، روسیه و هند می‌باشند. طبق آمار سال ۱۳۸۸سطح زیر کشت سیب زمینی در ایران بالغ بر ۱۷۷ هزار هکتار بوده که در شکل (۲-۱) به تفکیک استان‌ها نشان داده شده لست.



شکل۲-۱. توزیع سطح زیر کشت سیب زمینی استان‌ها در سال زراعی ۸۷- ۱۳۸٦ (بی‌نام، ۱۳۸۸)

بر اساس همین آمار میزان کل تولید سیب زمینی حدود ٤/٧ میلیون تن بوده که به تفکیک استان‌ها در سال زراعی ٨٧- ١٣٨٦ طبق شکل ٢-٢ نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد به ترتیب استان‌های همدان، اردبیل، اصفهان، کردستان، آذربایجان شرقی، مرکزی و زنجان از استان‌های مهم تولید کننده محسوب می‌شود.



شکل ٢-٢. توزیع نسبی میزان تولید سیب زمینی به تفکیک استان‌ها در سال زراعی ٨٧- ١٣٨٦ (بی‌نام، ١٣٨٨)

٢-٣- سیب زمینی به عنوان بیوراکتور:

سیب زمینی یک محصول گیاهی با ارزش غذایی بالاست و استفاده از آن به عنوان یک حامل برای تولید واکسن‌های خوراکی و مواد بیولوژیکی دیگر مورد توجه ویژه قرار گرفته است. تعداد فزاینده‌ای از پروتئین‌های دارویی در سیب زمینی تولید شده‌اند: از جمله واکسن وبا (Arakawa, 1997)، لاکتوفرین انسانی (Chung and Langridge, 2000)، اینترلوکین ٢ (Park and Cheong, 2002)، آنتی ژن سطحی هپاتیت B (Richter et al., 2000)، پروتئین روتا کپسید (Yu and Langridge, 2003)، آنتی ژن بیماری‌های پا و دهان (Carrillo et al., 2001) و اتوآنتی ژن[1] دیابتی (Ma et al., 1997). اگر چه این

[1] - autoantigen