

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

راهنمای مدیریت تلفیق حاصله نری خاک و تغذیه ذرت

زورندگان

محمد بنی عبدالعزیز، تحقیقات شیر، حاصله نری خاک و تغذیه گیاه

فاطمه اسدی، محقق و دانشجو، تحقیقات شیر، حاصله نری خاک و تغذیه گیاه

محمد مهدی طهرانی، ارتقا دهنده تحقیقات شیر، حاصله نری خاک و تغذیه گیاه

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
الف.....	پیش گفتار.....
1.....	1- کلیات.....
6.....	2- روش‌های تشخیص کمبود عناصر غذایی.....
6.....	1-2- آزمون خاک.....
7.....	2-2- علائم ظاهری کمبود عناصر غذایی.....
7.....	1-2-2- علائم کمبود عناصر غذایی پرمصرف.....
11.....	2-2-2- علائم کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف.....
16.....	2-3- الگوی جذب عناصر غذایی.....
17.....	3- مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه ذرت.....
17.....	1-3- مصرف بهینه کودهای شیمیایی.....
18.....	1-1-3- توصیه مصرف نیتروژن.....
26.....	2-1-3- توصیه مصرف فسفر.....
33.....	3-1-3- توصیه مصرف پتاسیم.....
39.....	4-1-3- توصیه کاربرد عناصر کم‌مصرف.....
40.....	2-3- کاربرد ماده آلی در تولید ذرت.....
41.....	3-3- کاربرد کودهای زیستی در زراعت ذرت.....
44.....	3-4- اصول نوین تغذیه ذرت بر اساس مراحل رشد فنولوژیکی.....
45.....	منابع.....
47.....	پیوست- تقویم کوددهی ذرت منطبق بر مراحل فنولوژیکی.....
48.....	پیوست- ضرایب تبدیل برای عناصر غذائی در کودهای مختلف.....

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول 1- مراحل نمو ذرت بر مبنای تقسیم‌بندی هنوی	4
جدول 2- میزان برداشت عناصر غذایی پرمصرف از خاک توسط ذرت دانه‌ای	5
جدول 3- میزان برداشت عناصر غذایی کم‌مصرف از خاک توسط ذرت دانه‌ای	6
جدول 4- برآورد اوره مورد نیاز ذرت دانه‌ای بر حسب کیلوگرم در هکتار در اقلیم معتدل سرد	19
جدول 5- برآورد اوره مورد نیاز ذرت دانه‌ای بر حسب کیلوگرم در هکتار در اقلیم سرد	20
جدول 6- برآورد اوره مورد نیاز ذرت دانه‌ای بر حسب کیلوگرم در هکتار در اقلیم گرم	21
جدول 7- برآورد اوره مورد نیاز ذرت دانه‌ای بر حسب کیلوگرم در هکتار در اقلیم سواحل دریای خزر	22
جدول 8- برآورد دی‌آمونیم فسفات یا سوپرفسفات‌تریپل مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم معتدل سرد	27
جدول 9- برآورد دی‌آمونیم فسفات یا سوپرفسفات‌تریپل مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم سرد	28
جدول 10- برآورد دی‌آمونیم فسفات یا سوپرفسفات‌تریپل مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم گرم	29
جدول 11- برآورد دی‌آمونیم فسفات یا سوپرفسفات‌تریپل مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم سواحل دریای خزر	30
جدول 12- برآورد سولفات پتاسیم مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم معتدل سرد	34
جدول 13- برآورد سولفات پتاسیم مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم سرد	35
جدول 14- برآورد سولفات پتاسیم مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم گرم	36
جدول 15- برآورد سولفات پتاسیم مورد نیاز ذرت دانه‌ای در اقلیم سواحل دریای خزر	37
جدول 16- برآورد ماده آلی مورد نیاز ذرت	40
جدول 17- برنامه تغذیه نوین ذرت دانه‌ای برای کشاورزان کم بازده	44
جدول 18- برنامه تغذیه نوین ذرت دانه‌ای برای کشاورزان متوسط بازده	44
جدول 19- برنامه تغذیه نوین ذرت دانه‌ای برای کشاورزان پر بازده	45

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
8	شکل 1- علایم کمبود نیتروژن در گیاه ذرت.....
9	شکل 2- علایم کمبود فسفر در گیاه ذرت.....
10	شکل 3- علایم کمبود پتاسیم در گیاه ذرت.....
11	شکل 4- علایم کمبود آهن در گیاه ذرت.....
12	شکل 5- علایم کمبود روی در گیاه ذرت.....
13	شکل 6- علایم کمبود منگنز در گیاه ذرت.....
14	شکل 7- علایم کمبود مس در گیاه ذرت.....
15	شکل 8- علایم کمبود بور در گیاه ذرت.....
25	شکل 9- وضعیت جذب نیتروژنی در مراحل مختلف رشد ذرت.....
32	شکل 10- مصرف نواری کود در ناحیه ریشه زیر بذر.....

پیش‌گفتار

دستیابی به غذای کافی، سالم و مغذی به عنوان یکی از حقوق اساسی افراد جامعه در سند چشم‌انداز بیست ساله کشور در افق 1404 مورد تأکید قرار گرفته است. در این راستا بخش کشاورزی خود را موظف به دستیابی به توانمندی لازم در برقراری امنیت غذایی و خوداتکایی در محصولات اساسی می‌داند. با تلقی امانت‌دارانه، خاک امانتی است در اختیار ما که به عنوان منبع پایه و بستر تولید از اهمیت بسزایی برخوردار است به گونه‌ای که امنیت غذا در گرو امنیت خاک دانسته شده و برای تنویر افکار، سال 2015 به عنوان سال جهانی خاک نام‌گذاری گردیده است. در این راستا حاصلخیزی خاک نقشی محوری را در امنیت خاک و پشتیبانی تولید عهده‌دار است. لذا در ابتدای برنامه ششم و سال‌های باقی‌مانده تا 1404 وزارت جهاد کشاورزی مصمم گردیده تا با به‌کارگیری کلیه ذینفعان دخیل در حوزه حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ضریب خوداتکایی محصولات زراعی شامل گندم، جو، کلزا، پنبه، حبوبات، چغندر قند، ذرت و برنج را ارتقاء دهد. به این منظور، معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی تدوین برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه را با هدف افزایش ضریب خوداتکایی هشت محصول زراعی در خرداد ماه 1393 به موسسه تحقیقات خاک و آب محول نمود. در این راستا موسسه تحقیقات خاک و آب با برگزاری هم‌اندیشی با متخصصان این حوزه از جمله پیشکسوتان و محققان ستادی و استانی و بهره‌گیری از نتایج پژوهش‌ها و دستورالعمل‌های قبلی و اخیر موسسه و منابع بین‌المللی، راهنمای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه برای هشت محصول یاد شده را تدوین نمود. در این جلد مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ذرت که عبارت از به‌کارگیری توأمان از منابع شیمیایی، آلی و زیستی برای ارتقاء حاصلخیزی خاک است به صورت ویژه مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به تغییرات اقلیمی، کمبود مواد آلی و شرایط خاکی که کشور با آن مواجه است مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ذرت در شرایط تنش‌های محیطی، مدیریت تغذیه براساس مراحل رشد گیاه، استفاده از کودهای نوین و محرک‌های

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت / 7

رشد گیاهی، تولید محصول مغذی و با کیفیت و جنبه‌های بیولوژیک حاصلخیزی خاک مورد بحث قرار گرفته است. این دستورالعمل به گونه‌ای تنظیم شده است که برای گروه‌های عملکردی در اقلیم‌های مختلف مورد استفاده می‌باشد. به علاوه قابلیت تبدیل سریع به دستورالعمل‌های منطقه‌ای، بولتن‌های ترویجی و پیام‌های تلویزیونی را دارا می‌باشد.

امید است با اتکال به خداوند منان و عزم ملی کلیه دست‌اندرکاران در اجرای توصیه‌های مندرج در این راهنما و نهادینه نمودن اصول ارتقاء حاصلخیزی خاک اعم از مصرف بهینه کود، افزایش مواد آلی خاک و ... در اراضی کشاورزی زمینه تحقق اهداف پیش‌بینی شده در برنامه‌های خوداتکایی، دستیابی به امنیت غذا، سلامت جامعه و حفظ محیط زیست را فراهم نموده و امانت‌داری مسئول باشیم.

کاظم خاوازی

رئیس مؤسسه تحقیقات خاک و آب

آبان‌ماه 1393

1- کلیات

امروزه عملکرد بسیاری از محصولات از جمله غلات در حال افزایش است. به منظور پایداری در افزایش عملکرد و جلوگیری از کاهش رشد آن، توجه به مدیریت تغذیه و حاصلخیزی خاک بسیار الزامی است. ذرت از محصولات مهمی است که به عنوان غذای انسان و دام مطرح است، لذا نه تنها کمیت بلکه کیفیت مطلوب دانه و علوفه آن نیز از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. ذرت گیاهی است پرتوقع که با مصرف متعادل عناصر غذایی می‌توان عملکرد آن را افزایش داد. تغذیه بهینه گیاه، شرط اصلی بهبود کمی و کیفی محصول است. مصرف مطلوب نهاده‌ها مناسب با شرایط رشد گیاه، دستیابی به عملکرد بالای ذرت را ممکن می‌سازد.

ذرت پرمحصول‌ترین غله در جهان محسوب می‌شود به گونه‌ای که از لحاظ مقدار تولید در رتبه اول و از نظر سطح زیر کشت، پس از گندم در رتبه دوم قرار گرفته است. امروزه ذرت در تغذیه بسیاری از مردمان دنیا نقش اساسی دارد. کشورهای عمده تولیدکننده ذرت عبارت‌اند از ایالات متحده آمریکا، یوگسلاوی، رومانی، روسیه، ایتالیا، چین، آرژانتین، برزیل و آفریقای جنوبی.

در ایران بنا به آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی 1389-90، سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در کشور حدود 265 هزار هکتار برآورد شده که سهم اراضی آبی 99/9 درصد و بقیه به صورت کشت دیم می‌باشد. میزان تولید ذرت دانه‌ای در کشور حدود 1/9 میلیون تن برآورد شده که 99/98 درصد آن از اراضی کشت آبی به دست آمده است. استان خوزستان به ترتیب با سهم 38/2 درصد از کل سطح برداشت ذرت دانه‌ای و 37/6 از کل تولید این محصول، بیشترین سطح و میزان تولید ذرت را دارا می‌باشد. استان‌های فارس با سهم 13/8 درصد، کرمانشاه با سهم 9/6 درصد، جنوب استان کرمان با سهم 7/4 درصد، کرمان با سهم 5/7 درصد و اردبیل با سهم 5 درصد به ترتیب، مقام‌های دوم تا ششم را از نظر سطح زیر کشت به خود اختصاص داده‌اند. همچنین استان‌های فارس با سهم 16 درصد، کرمانشاه با سهم 12/2 درصد، جنوب استان کرمان با سهم 6/8 درصد، کرمان با سهم 4/5 درصد و قزوین با سهم 4/5 درصد در تولید ذرت دانه‌ای کشور به ترتیب رتبه‌های دوم تا ششم

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت / 9

را به خود اختصاص داده‌اند. شش استان مزبور جمعاً 79/6 درصد از برداشت اراضی و 80/6 درصد از تولید ذرت دانه‌ای در کشور را دارا می‌باشند.

عملکرد ذرت دانه‌ای کشور در اراضی آبی 7199/2 کیلوگرم در هکتار و در اراضی دیم 2479/4 کیلوگرم در هکتار می‌باشد. استان کهگیلویه و بویراحمد با عملکرد 11725/7 کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد ذرت دانه‌ای آبی و استان مازندران با عملکرد 1500 کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد ذرت دانه‌ای آبی را در کشور دارا هستند.

سطح کشت ذرت علوفه‌ای کشور نیز حدود 164 هزار هکتار و میزان تولید آن حدود 9/3 میلیون تن برآورد شده است. عملکرد ذرت علوفه‌ای کشور در اراضی آبی 57346/5 کیلوگرم در هکتار و در اراضی دیم 18023/5 کیلوگرم در هکتار می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، 1392).

دانه ذرت به رنگ سفید، زرد یا مخلوطی از این دو یافت می‌شود. خوراک‌هایی که با ذرت سفید تهیه می‌شوند، به طور معمول مرغوب‌ترند. دانه ذرت دارای سه بخش آندوسپرم، گیاهک و پریکارپ است. بخش آندوسپرم به طور عمده از نشاسته (آمیلولوز، 78 درصد و آمیلوپکتین، 22 درصد) تشکیل شده که علاوه بر مصارف غذایی برای مقاصد دیگر هم استفاده می‌شود.

پروتئین موجود در دانه به عوامل مختلفی از جمله محیط، نوع گیاه و شرایط کشت و زراعت بستگی دارد و بین 8 تا 15 درصد متغیر است. پروتئین عمده ذرت، زئین می‌باشد که دارای اسید آمینه تریپتوفان و لیسین است که نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا می‌کنند. پروتئین ذرت گلوتن نداشته و نمی‌تواند حالت چسبنده به وجود آورد. بنابراین، نان حاصل از آن از خمیری تهیه می‌شود که ورنیامده است. میزان روغن دانه ذرت، 4 درصد بوده که بیشتر در گیاهک قرار دارد.

از گیاه ذرت استفاده‌های مختلفی می‌کنند. در تهیه غذاهای مخصوص صبحانه، ذرت کنسرو شده و منجمد (به طور معمول ذرت شیرین)، شیره ذرت، روغن، سس مایونز، مارگارین و همچنین در ساخت لوازم آرایشی و بهداشتی از ذرت استفاده می‌نمایند. بخش عمده ذرت تولیدی به عنوان خوراک دام و طیور مورد مصرف قرار می‌گیرد. از آسیاب نمودن دانه ذرت، آرد ذرت تهیه می‌کنند که خود در تهیه غذاهای مختلف به کار می‌رود.

همچنین از آرد ذرت در تولید چسب، صابون و از نشاسته آن در صنایع رنگرزی، داروسازی، مرکب‌سازی و پلاستیک‌سازی و همچنین تولید کاغذ روغنی و انواع کف‌پوش استفاده می‌نمایند. از ساقه و برگ‌های ذرت نیز در صنایع کاغذ و مقواسازی و همچنین تولید کاغذ دیواری استفاده می‌کنند (<http://naderaliloo.blogfa.com>).

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی تک لپه و یک ساله از خانواده گرامینه می‌باشد. این گیاه بیشتر مخصوص مناطق گرم بوده و دارای مسیر فتوسنتزی C4 می‌باشد. ذرت با وجود آن که یک گیاه گرمسیری است، نمی‌تواند آب و هوای بسیار گرم را تحمل کند. مناسب‌ترین محیط برای کشت آن، ناحیه‌ای است که دمای آن دست کم به مدت 3 تا 4 ماه متوالی، 21 تا 32 درجه سانتی‌گراد باشد. در صورتی که دمای اواسط تابستان کمتر از 18 درجه سانتی‌گراد یا میانگین دمای تابستان کمتر از 13 درجه باشد، میزان رشد گیاه ذرت کاهش یافته و در صورت طولانی شدن کاهش دما، کشت ذرت غیرممکن خواهد بود.

به طور معمول در مراحل گسترش برگ‌ها، گرده‌افشانی و تشکیل دانه که اغلب در ماه‌های گرم تابستان صورت می‌پذیرد، گیاه ذرت به آب زیادی نیاز دارد. تعداد دفعات آبیاری تحت تأثیر خاک و آب و هوا قرار دارد و بین 2 تا 15 بار متغیر است. زراعت ذرت در مناطقی که بارندگی سالیانه بین 250 تا 2500 میلی‌متر دارند، به صورت دیم هم امکان‌پذیر می‌باشد.

میزان عملکرد ذرت در خاک‌های عمیق، حاصلخیز و زهکش دار با بافت متوسط بیشتر است. ذرت نسبت به کمبود اکسیژن در خاک که ناشی از رطوبت یا وجود لایه‌های فشرده زیرزمینی می‌باشد، بسیار حساس است. همچنین ذرت قادر است در خاک‌هایی با پ.ه‌اش 5/5 تا 8 هم رشد نماید. البته پ.ه‌اش مناسب برای این گیاه 6 می‌باشد. پ.ه‌اش کمتر از 6 به طور معمول میزان جذب کلسیم را در گیاه کاهش می‌دهد.

بهترین زمان برای کاشت ذرت، زمانی است که دمای خاک در عمق 7 تا 8 سانتی‌متری به مدت 3 تا 4 روز متوالی در فصل بهار، تقریباً 13 درجه سانتی‌گراد باشد. بدین منظور، اگر کشاورز قادر به اندازه‌گیری دمای خاک نباشد، می‌تواند از میانگین دمای هوا در ساعات 7 صبح و 12 ظهر استفاده نماید.

برای برداشت محصول، رطوبت دانه باید بین 20 تا 25 درصد باشد. اگر قرار باشد که محصول برداشت شده را مورد مصرف دام قرار دهند، ذرت را می‌توان با رطوبت 25 تا

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت / 11

28 درصد هم برداشت کرد. برای انبار کردن دانه‌های بلال، باید رطوبت آن‌ها را به 13-14 درصد رساند. نگهداری ذرت به صورت دانه در رطوبت 14 درصد انجام می‌گیرد. تشخیص و تعیین مراحل مختلف رشد گیاه بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مراحل رشد گیاه ذرت توسط Hanway (1963) تعریف شده است (جدول 1).

جدول 1- مراحل نمو ذرت بر مبنای تقسیم‌بندی هنوی

مرحله نمو	تعریف
صفر، سبز شدن 0/5، دو برگگی	غلاف کولئوپتیل از خاک خارج شده و با پاره شدن نوک آن برگ‌های اولیه ظاهر می‌گردند. ریشه‌های گره‌ای روی گره‌های زیر خاک تشکیل شده، ریشه‌های بذری منشعب و دارای تارهای کشنده هستند.
1، چهار برگگی 1/5، شش برگگی	ریشه‌های گره‌ای منشعب و دارای تارهای کشنده هستند. رشد ریشه‌های بذری کند می‌گردد. مریستم انتهایی ساقه به گل نر تبدیل می‌شود. تمامی برگ‌ها و جوانه‌های بلال نیز تمایز یافته‌اند. نوک ساقه (نقطه رشد) در نزدیکی روی سطح خاک قرار دارد. سیستم اصلی ریشه گیاه را ریشه‌های طوقه‌ای تشکیل می‌دهد. پاجوش‌ها در این مرحله توسعه می‌یابند.
2 هشت برگگی 2/5، ده برگگی 3، دوازده برگگی	طویل شدن سریع ساقه آغاز شده و گل نر در فاصله 5 تا 7 سانتیمتری بالای سطح خاک رشد سریع خود را شروع نموده است. برگ‌ها نیز به سرعت تشکیل می‌گردند. جوانه‌های بلال در گره‌های ششم تا هشتم بالای سطح خاک در حال توسعه می‌باشند. توسعه برگ‌ها در این مرحله تقریباً تکمیل شده، ساقه و گل نر به سرعت در حال رشد می‌باشد. ریشه‌های نگهدارنده هوایی در پایین‌ترین گره ساقه تشکیل می‌شوند. تمایز در سلول‌های بلال سریع است. پتانسیل تعداد تخمدان‌ها در بلال اصلی در این مرحله تعیین می‌گردد.
3/5، چهارده برگگی 4 شانزده برگگی	اندازه گل نر تقریباً کامل شده و ساقه در حال طویل شدن سریع است. یک یا دو بلال به سرعت در حال رشد و نمو هستند. کاکل‌ها از قاعده بلال به طرف رأس آن توسعه می‌یابند. نوک گل نر از غلاف برگ خارج شده است. میانگره‌های بالایی ساقه در حال رشد هستند. رشد و نمو بلال‌ها و کاکل‌ها ادامه دارد.
5 کاکل دهی و گرده‌افشانی 6 شیری شدن دانه 7، خمیری شدن دانه 8، آغاز سخت شدن دانه 9 سخت شدن دانه 10، رسیدگی فیزیولوژیکی	کاکل‌ها از بالا خارج شده و گرده‌ها آزاد می‌شوند. رشد ساقه متوقف می‌گردد. رشد چوب بلال سریع است و کاکل‌ها تا هنگام باروری به رشد خود ادامه می‌دهند. تخمدان‌ها روی چوب بلال در حال بزرگ شدن هستند. توسعه چوب، ساقه و پوسته‌های بلال کامل شده است. وزن خشک دانه در اثر تجمع نشاسته در آندوسپرم سریعاً افزایش می‌یابد که تا مرحله 9 ادامه دارد. دانه‌ها در حال رشد سریع هستند. محور اصلی جنین تمایز پیدا کرده و چهار برگ اولیه در آن تشکیل شده‌اند. تقسیم سلولی در لایه اپیدرمی آندوسپرم متوقف می‌گردد. تعداد کمی از دانه‌ها سخت شده‌اند. ریشه‌چه و برگ‌های اولیه در جنین کاملاً تمایز پیدا نموده و ریشه‌های بذری تشکیل شده‌اند. آندوسپرم به علت افزایش در اندازه سلول بزرگ شده است. همه دانه‌ها سخت شده و جنین یا پنچ‌برگ جنینی از نظر مورفولوژیکی رسیده است. تجمع ماده خشک در دانه‌ها متوقف شده و دانه‌ها در حال خشک شدن هستند. پوسته و بلال و اغلب برگ‌های گیاه سبزی خود را از دست داده‌اند.

نیاز غذایی ذرت در اقلیم‌های مختلف

گیاهان متفاوت دارای نیاز غذایی مختلف می‌باشند. یکسان دانستن نیاز غذایی گیاهان یکی از مشکلات عمده کشاورزی ایران می‌باشد که منجر به برداشت عملکردهای کم و کیفیت پایین محصول گردیده است. بنابراین در ابتدای هر بحث باید نیاز غذایی گیاه مدنظر شرح داده شود.

به طور کلی، قسمت عمده تجمع عناصر غذایی در ذرت بین مراحل گلدهی تا رسیدن دانه اتفاق می‌افتد. تقریباً 50-90 درصد نیتروژن و فسفر گیاه در مرحله گل‌دهی از برگ‌ها و ساقه به سمت دانه حرکت می‌کند. بنابراین اگر گیاه در مراحل اولیه رشد از نظر جذب عناصر غذایی دچار محدودیت شده باشد، به دلیل انتقال کم عناصر به دانه، عملکرد و کیفیت محصول تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. از طرف دیگر، مقدار جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در هر یک از مراحل رشد متفاوت می‌باشد. بنابراین شناخت مراحل رشد فیزیولوژیکی گیاه در پیش‌بینی میزان جذب عناصر غذایی در هر مرحله به ویژه با توجه به تغییرات سالانه اقلیم بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تغییرات اقلیمی سالانه یا منطقه‌ای، مقدار و طول زمان جذب عناصر غذایی گیاه را تغییر می‌دهد. در شرایط رطوبتی و دمایی مطلوب، به دلیل رشد سریع‌تر، نیاز گیاه به عناصر غذایی در اوایل فصل رشد بیشتر است. جداول (2) و (3)، میزان برداشت عناصر غذایی از خاک توسط گیاه ذرت را نشان می‌دهند.

جدول 2- میزان برداشت عناصر غذایی پرمصرف از خاک توسط ذرت دانه‌ای

(کیلوگرم در هکتار)

S	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	اندام گیاهی	عملکرد (تن در هکتار)
12	1/2	18	47	71	129	دانه	9/5*
9	55	55	188	18	62	کلش	
7/8	1/5	9/3	29	40	100	دانه	6/3**
9	15	28	92	23	63	کلش	

* Olsen و Barbers (1968)، ** Aldrich و همکاران، (1986)

جدول 3- میزان برداشت عناصر غذایی کم مصرف از خاک توسط ذرت دانه‌ای
(گرم در هکتار)

Mo	B	Zn	Cu	Mn	Fe	اندام گیاهی	عملکرد (تن در هکتار)
—	50	190	20	60	110	دانه	9/5*
—	140	190	90	280	2020	کلش	
—	—	110	40	70	—	دانه	6/3**
—	—	200	30	940	—	کلش	
10	180	300	110	330	2130	دانه+کلش	9/2***

* Barber و Olson (1968)، ** Aldrich و همکاران (1986)، *** Mengel (1980)

2- روش‌های تشخیص کمبود عناصر غذایی

2-1- آزمون خاک

با آزمون خاک قبل از کشت مشخص خواهد شد که چه عناصری برای رشد کافی ذرت در طول فصل زراعی مورد نیاز خواهد بود. به عبارت دیگر، آزمون خاک به منظور تعیین مقدار عناصر غذایی قابل استفاده گیاه در خاک انجام می‌گیرد. آزمون خاک روشی سریع، کم‌خرج و دقیق بوده که با انجام آن می‌توان توصیه کودی صحیح را ارائه کرد. برنامه آزمون خاک شامل مراحل زیر است:

- نمونه برداری صحیح از خاک که بیشتر توسط زارعین انجام می‌شود.
- تجزیه صحیح خاک در آزمایشگاه تجزیه خاک و گیاه به منظور تعیین دقیق غلظت عنصر غذایی قابل استفاده گیاه در خاک
- تفسیر نتایج آزمایشگاهی و انجام توصیه کودی که توسط کارشناسان مسائل تغذیه گیاهی صورت می‌گیرد.

نمونه برداری صحیح از خاک، کاری بسیار مهم و حساس است. نمونه‌های برداشت شده از مزرعه باید به گونه‌ای باشند تا بتوان آن‌ها را نماینده کل خاک آن مزرعه دانست. به طور معمول از هر 10 تا 15 هکتار مزرعه با خاک یکنواخت، یک نمونه مرکب یک کیلوگرمی تهیه می‌کنند. بدین منظور یک مسیر مارپیچ در مزرعه در نظر می‌گیرند. در طی مسیر، حدود 7 الی 10 نمونه برداشت می‌کنند و پس از مخلوط کردن، یک کیلوگرم از آن

14/ برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

را به آزمایشگاه می‌فرستند. عمق نمونه‌برداری در حدود 30 سانتیمتری خاک سطحی است که غالباً عمق منطقه گسترش ریشه ذرت در خاک می‌باشد.

نکاتی که باید در موقع نمونه‌برداری از خاک مزرعه رعایت شود، عبارت‌اند از:

- نمونه خاکی که به آزمایشگاه ارسال می‌شود باید نمودار واقعی زمین زراعی باشد. یعنی اینکه زمین باید قبلاً به قطعات یکنواخت از نظر رنگ، شیب، تاریخچه کشت، تناوب و نوع محصول و غیره تقسیم‌بندی شود.

- قبل از نمونه‌برداری باید کاملاً اطمینان حاصل شود که سطح خاک آغشته به کودهای حیوانی و یا شیمیایی و یا بقایای گیاهی نباشد.

- حتی الامکان باید از برداشت نمونه از قطعاتی نظیر راه آب‌ها، توده‌های قدیمی و پوسیده کاه، کناره دیوار و یا پرچین‌ها خودداری شود.

- در موقعی که زمین خیلی مرطوب است باید از نمونه‌برداری اجتناب کرد. بهترین موقع نمونه‌برداری وقتی است که زمین گاو رو باشد.

- به طور کلی بهترین موقع نمونه‌برداری از خاک در مورد گیاهان زراعی، قبل از کشت می‌باشد.

- نمونه مرکب خاک می‌بایست قبل از انتقال به آزمایشگاه در داخل یک کیسه پلاستیکی یا کاغذی ریخته شده و مشخصات آن روی دو برچسب نوشته شود. یک برچسب در داخل ظرف قرار گرفته و دیگری روی ظرف چسبانده می‌شود. بر روی برچسب زمان نمونه‌برداری، محل نمونه‌برداری، نام نمونه‌بردار، عمق نمونه‌برداری و کشت قبلی نوشته می‌شود.

2-2-2- علائم ظاهری کمبود عناصر غذایی

2-2-2-1- علائم کمبود عناصر غذایی پرمصرف

کمبود نیتروژن: در صورت کمبود این عنصر در گیاه، برگ‌های پیر از قسمت نوک شروع به زرد شدن کرده که در امتداد رگبرگ میانی به شکل V پیش می‌رود (شکل 3-1). از سایر علائم کمبود نیتروژن در ذرت می‌توان به کاهش رشد و کوتاه شدن و زردی بافت‌های گیاه ناشی از توسعه رنگ‌دانه‌های زرد (نظیر کاروتن‌ها و زانتوفیل‌ها) در برگ‌ها و تخریب رنگ‌دانه سبزرنگ کلروفیل اشاره کرد. الگوی توسعه علائم، به شدت کمبود بستگی دارد. چند روز پس از زرد شدن بافت برگ، برگ‌ها از بین رفته

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت /15

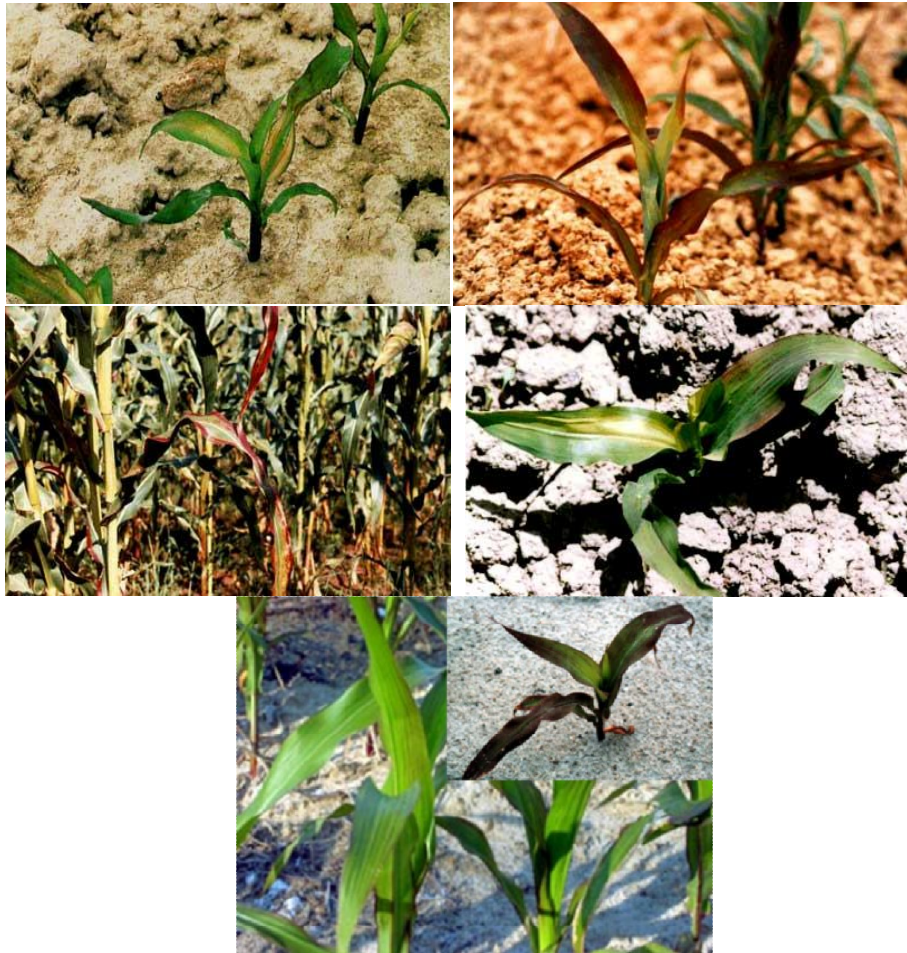
و می‌ریزند. مرگ برگ‌های پایینی گیاه را به طور معمول آتش گرفتگی می‌گویند که ممکن است در شرایط مرطوب یا خشک ایجاد شود. اگرچه تاکنون کمبود نیتروژن را به عنوان مهم‌ترین عامل آتش گرفتگی می‌دانند، اما سایر شرایط، نظیر هوای بسیار خشک یا بسیار گرم نیز سبب مرگ بافت برگ می‌شود. بعد از مرگ برگ‌ها تشخیص علت مرگ مشکل است. یک تفاوت مهم بین آتش گرفتگی ناشی از کمبود نیتروژن با سایر عوامل این است که در صورت کمبود نیتروژن، برگ‌های پایینی دچار این عارضه می‌شوند. زیادی مصرف نیتروژن باعث رشد رویشی زیاد گیاه نسبت به ریشه می‌شود و گیاه را حساس به ورس و خسارت آفات و بیماری‌ها می‌نماید.



شکل 1- علائم کمبود نیتروژن در گیاه ذرت

کمبود فسفر: قرمز شدن لبه برگ‌ها، نکروزه شدن برگ‌های پیرتر همراه با توقف رشد، تأخیر در ظهور ریشک‌ها و تأخیر در رسیدگی از علائم مهم کمبود فسفر در ذرت است. اگر گیاه دچار کمبود فسفر شود، برگ‌ها سبز تیره مایل به بنفش شده و برخی نقاط نکروزه

نمایان می‌شود. همچنین، ساقه، دمبرگ و سطح زیرین برگ‌ها نیز ارغوانی رنگ شده، خوشه‌ها کوچک می‌شوند و دانه‌ها نامنظم می‌رسند. همچنین در شرایط کمبود شدید فسفر، درخشندگی آبی-خاکستری در برگ‌ها پیدا می‌شود (شکل 2). بهار سرد و مرطوب، فسفر قابل دسترس در خاک را کاهش می‌دهد. به عنوان یک اصل کلی، علایم کمبود فسفر، خیلی واضح نیستند و بنابراین تشخیص آن مشکل است. یک علامت دیداری مهم، کوتولگی و کوتاه ماندن گیاه است. گیاهان دچار کمبود فسفر سرعت رشد بسیار کمتری دارند. گیاهان دچار کمبود فسفر، اغلب با گیاهان جوان اشتباه گرفته می‌شوند.



شکل 2- علایم کمبود فسفر در گیاه ذرت

کمبود پتاسیم: پتاسیم در ذرت باعث افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌شود و به رسیدگی یکنواخت و افزایش تعداد دانه در خوشه کمک کرده و ورس را کاهش می‌دهد. در صورت کمبود پتاسیم برگ‌ها نسبتاً دراز و چروکیده شده و خطوط زرد طولی در زیر برگ ظاهر می‌شود. شروع کمبود پتاسیم به طور معمول به وسیله کلروز حاشیه‌ای برگ‌ها آغاز می‌شود. برگ‌ها سوخته و قهوه‌ای شده، خوشه‌ها کوچک باقی‌مانده و دانه تشکیل نمی‌شود. بعضی از این برگ‌ها نکروز حاشیه‌ای نشان می‌دهند (سوختگی نوک برگ). در شرایط پیشرفته کمبود، نکروز در فضاهای بین رگبرگی، رگبرگ اصلی همراه با کلروز بین رگبرگی ایجاد می‌گردد. رگبرگ‌ها سبز باقی می‌ماند و برگ‌ها پیچیده و دنداندار می‌شوند. این‌ها مشخص‌ترین علائم در تشخیص کمبود پتاسیم هستند (شکل 3). در مقایسه با کمبود نیتروژن، کمبود پتاسیم بازگشت ناپذیرتر است، حتی اگر به گیاه پتاسیم دهیم. چون پتاسیم در گیاه بسیار متحرک است، در کمبودهای شدید، علائم فقط روی برگ‌های جوان ظهور می‌یابند.



شکل 3- علائم کمبود پتاسیم در گیاه ذرت

2-2-2- علائم کمبود عناصر غذایی کم مصرف

آهن: حساسیت ذرت به آهن متوسط بوده و کمبود آن به صورت راه راه در برگ ظاهر شده که رگبرگ‌ها سبز و فواصل بین آن‌ها زرد است (شکل 4). برگ‌های دچار کمبود آهن کلروز شدیدی در پایه برگ‌ها همراه با شبکه سبزرنگ نشان می‌دهند. عمده‌ترین علامت کمبود آهن، شروع کلروز بین رگبرگی از سمت خارج جوان‌ترین برگ‌هاست که به سمت داخل پیش می‌رود و در پایان، تمام سطح برگ سفید می‌شود. در مناطق سفید شده اغلب نقاط نکروزه پدیدار می‌شود. تا وقتی که برگ‌ها هنوز کاملاً سفید نشده‌اند، در صورت کاربرد دوباره آهن، ترمیم می‌یابند. در فاز ترمیم، رگبرگ‌ها اولین قسمتی هستند که رنگ سبز روشن خود را به دست می‌آورند. این وضعیت ترمیمی که در مورد کمبود آهن پیش می‌آید، شاید قابل تشخیص‌ترین علامت در بین علائم کلاسیک مواد غذایی باشد. چون آهن قابلیت تحرک کمی دارد، علائم کمبود آن ابتدا در جوان‌ترین برگ‌ها ظاهر می‌شود. کمبود آهن، با آهک و شرایط بی‌هوایی خاک در ارتباط است و این وضعیت اغلب به وسیله زیادی فلزات سنگین نیز به وجود می‌آید.



شکل 4- علائم کمبود آهن در گیاه ذرت

روی: ذرت از گیاهان حساس به کمبود روی می‌باشد. روی به افزایش ماده خشک گیاه کمک می‌نماید. روی در گیاه تحرک کمی داشته و علائم کمبود ابتدا در برگ‌ها و اندام‌های جوان ظاهر می‌گردد. در مراحل اولیه کمبود روی، برگ‌های جوان تر زرد شده و سطح بالایی برگ‌های بالغ، به صورت سوراخ سوراخ در می‌آید. همچنین مخروطی شکل شدن برگ‌ها در اثر کمبود روی رایج است. همچنان که کمبود پیشرفت می‌کند، این علائم

به صورت نکروز شدید بین رگبرگی ظاهر می‌شود، اما رگبرگ اصلی مانند مواقع ترمیم کمبود آهن، سبز باقی می‌ماند (شکل 5). علائم عمومی کمبود روی به صورت توقف رشد به علت کم شدن فاصله میان گره‌ها و در نتیجه پیدایش حالت پنجه‌ای در برگ‌هاست. اگر گیاه ذرت دچار کمبود روی شود، نوارهای کلروز روی برگ ایجاد شده و برگ‌ها پیچ خورده می‌شوند. با افزایش شدت کمبود میزان رنگ‌پریدگی و تمایل به زردی و نهایتاً سفیدی بیشتر می‌شود. در ذرت کمبود روی علاوه بر علائم عمومی که زردی برگ‌های جوان است، موجب کچلی بلال و پر نشدن انتهای آن می‌شود.



شکل 5- علائم کمبود روی در گیاه ذرت

منگنز: حساسیت ذرت به منگنز متوسط می‌باشد. هرچند علائم کمبود منگنز در ذرت نادر است، اما کمبود آن در مزارع ذرت، تعداد دانه در بلال را کاهش می‌دهد. علت اصلی این عمل را

گرده‌افشانی ضعیف و یا کمبود کربوهیدرات برای پر کردن بلال می‌دانند. توقف رشد و کلروز بین رگبرگی در برگ‌های جوان و ظهور نقاط قهوه‌ای رنگ روی حاشیه برگ‌های جوان نیز نشانه کمبود منگنز است (شکل 6). کمبود منگنز موجب بی‌رنگ شدن ساقه و برگ گیاه می‌شود. زردی بین رگبرگی در برگ‌های پیرتر و لکه‌های سفید بین رگبرگی و همچنین بافت‌مردگی در لبه‌ها و نوک برگ‌های مسن به وجود می‌آید.



شکل 6- علائم کمبود منگنز در گیاه ذرت

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت 21/

مس: حساسیت ذرت به مس نیز مانند منگنز متوسط بوده و کمبود آن در ذرت نادر است. مس در تشکیل لیگنین و ایجاد دیواره سلولی قوی نقش داشته و مقاومت گیاه را در مقابل پژمردگی افزایش می‌دهد. در صورت کمبود مس، رشد گیاه کاهش یافته، برگ‌ها زرد و پژمرده می‌شوند. کمبود ابتدا در برگ‌ها ظاهر شده، ساقه سفید، برگ‌ها باریک و پیچیده شده و دم‌برگ آن‌ها به سمت پائین خم می‌شود و فاصله بین گره‌ها کوتاه‌تر از حالت عادی می‌گردد (شکل 7). زردی عمومی گیاه، سوختگی و پیچیدگی نوک برگ‌ها و ظهور رنگ سبز کم‌رنگ در برگ‌های جوان نیز دیده می‌شود. برگ‌های تازه بالغ شده ظاهری مشبک از خود نشان می‌دهند. رگبرگ‌های سبز همراه با مناطق سفید شده تا خاکستری مایل به سفید دیده می‌شوند. برخی برگ‌ها، نقاط تو خالی نکروزه داشته نشان داده و تمایل به خمیدن به سمت پائین دارند. کمبود مس روی گل دادن و تلقیح اثر می‌گذارد و انتهای بلال‌ها خالی می‌ماند. زیادی مس نیز می‌تواند موجب کمبود آهن و بروز علائم مربوط به آن گردد.



شکل 7- علائم کمبود مس در گیاه ذرت

بور: حساسیت ذرت به بور کم می‌باشد. بور در توازن نشاسته (قند گیاهی)، انتقال قند و نشاسته، تقسیم سلولی، متابولیسم نیتروژن و فسفر و تشکیل پروتئین نقش دارد. بور به تشکیل دانه گرده کمک کرده و در ساخت دیواره سلولی نقش مهمی ایفاء می‌نماید. در صورت کمبود، رشد گیاه کاهش یافته، کوتولگی به وجود آمده و میزان تولید دانه کم

می‌شود. بور به راحتی در گیاه انتقال نمی‌یابد. گیاهان مبتلا به کمبود، دارای ظاهری جارویی هستند، زیرا فاصله میان گره‌های بالایی زیاد نمی‌شود. در اثر کمبود آن نقاط مرده کوچکی روی برگ‌ها ظاهر می‌گردد. این کمبود در اثر تنش خشکی، تشدید می‌شود. علائم کمبود بور و علائم ناشی از خشکی ممکن است همزمان اتفاق افتد و با یکدیگر اشتباه شود. در اثر کمبود بور، نظم و ترتیب دانه‌ها بر روی بلال‌ها به هم خورده و حالت بدشکلی به بلال می‌دهد، به طوری که بعضی از قسمت‌های بلال از دانه خالی است. برگ‌های دچار کمبود بور یک کلروز عمومی خفیف نشان می‌دهند. تحمل گیاهان به تغییرات زیاد بور، به اندازه‌ای است که غلظت‌های مورد نیاز برای رشد تا غلظت‌های سمی آن برای گیاهان حساس به بور، اختلاف اندکی دارند. بور به طور ناچیز در آوند آبکش بسیاری از گیاهان جا به جا می‌شود، به استثنای گیاهانی که از ترکیبات قندی مانند سوربیتول استفاده می‌کنند. در گیاهان با انتقال کم بور، کمبود بور، باعث نکروز بافت‌های مرستمی در مناطق در حال رشد گردیده که منجر به کاهش غالبیت مرستم انتهایی شده و نمو به صورت روزت باقی می‌ماند. این علائم کمبود، شبیه به علائم کمبود کلسیم می‌باشد. در گیاهانی که بور به آسانی در آوند آبکش منتقل می‌شود، علائم کمبود مانند کمبود نیتروژن و پتاسیم در بافت‌های بالغ متمرکز می‌شوند. هم مغز و هم اپیدرم ساقه‌ها ممکن است تحت تأثیر قرار گرفته که اغلب باعث پوک شدن یا زیر شدن ساقه‌ها می‌شود. پهنک برگ پیچ خورده، تیره شده و اغلب همراه با ترشح مواد شیرۀ گیاهی از آن می‌باشد (شکل 8). برگ‌ها فوق‌العاده شکننده شده و به آسانی می‌شکنند. همچنین برگ‌های جوان اغلب حتی تحت شرایط مطلوب از نظر تهیه آب، پلاسیده می‌شوند زیرا نقاط قطع شده به خاطر کمبود بور، باعث عدم انتقال آب می‌گردد.



شکل 8- علائم کمبود بور در گیاه ذرت

2-3- الگوی جذب عناصر غذایی

در مجموع بین 21 تا 24 عنصر ضروری برای رشد گیاه وجود دارد که شامل عناصر زیر می‌باشد:

1- عناصر اصلی یا اولیه: شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم (N، P و K) هستند که به نام عناصر پرمصرف نامیده می‌شوند. در شرایطی که مقادیر این عناصر برای رشد گیاه کافی نباشد، محدود کننده‌ترین عامل رشد گیاه محسوب می‌شوند.

2- عناصر فرعی یا ثانویه: کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، گوگرد (S)

3- عناصر کم‌مصرف: این عناصر که عناصر کمیاب نیز نامیده می‌شوند شامل کلر (Cl)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، بور (B)، روی (Zn)، مس (Cu)، مولیبدن (Mo) و نیکل (Ni) هستند. این عناصر به مقادیر کم (از چند گرم تا چند صد گرم در هکتار) برای رشد و متابولیسم ذرت مورد نیاز می‌باشد. عنصر سیلیسیم نیز برای ذرت در مقادیر شبیه به عناصر پرمصرف مورد نیاز است.

هرچند همه گیاهان به تعدادی از عناصر غذایی مشابه نیاز دارند، اما مقدار، نسبت و زمان جذب این عناصر با توجه به نوع گیاه، رقم، اقلیم، خصوصیات خاک و نحوه مدیریت متفاوت می‌باشد. ترکیب مجموعه این عوامل احتیاجات غذایی گیاه، ظرفیت عناصر غذایی و در نهایت عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زمان بندی مصرف کودها به نحوی که عناصر غذایی در طول دوره حداکثر جذب توسط گیاه، در دسترس آن قرار گیرند و به عبارتی تشخیص نیاز گیاه به مقادیر مختلف عناصر غذایی در مراحل مختلف رشد، نه تنها کارایی مصرف عناصر غذایی را افزایش می‌دهد، بلکه اثرات مخرب زیست‌محیطی کودها را نیز به حداقل می‌رساند. مصرف کود قبل از وقوع مرحله حداکثر نیاز گیاه، بسیار مهم و حیاتی می‌باشد که منجر به کاهش خطر کمبود عناصر غذایی و جلوگیری از کاهش عملکرد محصول می‌گردد. این نوع مدیریت همچنین هدررفت کود را کاهش داده، موجب افزایش کارایی عناصر غذایی می‌گردد و یک راهبرد زیست‌محیطی مهم می‌باشد.

مهم‌ترین هدف یک برنامه کوددهی مؤثر این است که از دسترسی کافی نیتروژن، فسفر و سایر عناصر قابل جذب در مراحل مختلف رشد گیاه اطمینان حاصل شود، به طوری که هیچ محدودیتی در رشد گیاه و عملکرد آن توسط عناصر غذایی حاصل نگردد. فسفر و نیتروژن بلافاصله بعد از جوانه زدن باید در اختیار گیاه قرار گیرند تا گیاه بتواند رشد ساقه، برگ‌ها و اندام‌های هوایی را آغاز نماید. نیتروژن ناکافی در هفته‌های اول و دوم پس از کشت تا هفته ششم

منجر به کاهش عملکرد پتانسیل گیاه خواهد شد. در دسترس بودن فسفر نیز در مراحل اولیه رشد گیاه ذرت به اندازه نیتروژن حیاتی است، پتاسیم عمدتاً در مرحله رشد رویشی جذب می‌شود و اگر مقدار قابل دسترس آن مناسب باشد، به مقدار زیاد جذب می‌گردد.

3- مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه ذرت

تولید غذا برای جمعیت در حال رشد مستلزم مدیریت تلفیقی عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک توسط کشاورزان می‌باشد. مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه، به صورت استفاده هوشمندانه از ترکیب بهینه منابع آلی، معدنی و بیولوژیکی عناصر غذایی در یک تناوب زراعی برای دستیابی به عملکرد و تولید بهینه بدون آسیب رساندن به اکوسیستم خاک تعریف می‌شود. به عبارت دیگر مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه با حفظ حاصلخیزی خاک و فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه در سطح بهینه، منجر به تولید پایدار محصول به میزان مورد انتظار می‌گردد. استفاده مداوم از مقادیر بالای کودهای شیمیایی اثرات منفی بر تولید پایدار محصول داشته و استفاده نابجای آن‌ها می‌تواند به آلودگی محیط زیست منجر شود. کشاورزی پایدار چیزی جز مدیریت ماده آلی خاک و استفاده نسبی از کودهای آلی و بیولوژیکی، کود سبز، بقایای گیاهی و انواع کمپوست نخواهد بود. از آنجایی که، کودهای آلی به تنهایی قادر به تأمین نیازهای غذایی محصولات کشاورزی پربازده در کشاورزی امروزی نیست، استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی، آلی و زیستی راه حل مناسبی در توصیه کود می‌باشد. از طرف دیگر، استفاده توأم کودهای شیمیایی و آلی می‌تواند به بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک کمک کرده و به دنبال آن سبب افزایش میزان کربن آلی و عناصر غذایی خاک گردد.

3-1- مصرف بهینه کودهای شیمیایی

به کارگیری کودهای شیمیایی در بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش بازده محصولات کشاورزی امری ضروری و شناخته شده است. چندین دهه تلاش شده است که با افزودن کودهای شیمیایی به خاک قدرت حاصلخیزی آن افزایش داده شود و در این مسیر از روش‌های متعددی برای توصیه کودی استفاده شده است. با روشن شدن کاستی‌های هر یک از روش‌ها به کمک نتایج تحقیقات درازمدت، در طی زمان در نظام توصیه کودی تغییراتی صورت گرفته است. نکته مهم این

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت / 25

است که استفاده از آزمون خاک به همراه الگوی جذب عناصر غذایی گیاه، بهره‌برداران را در دستیابی به حد مطلوب میزان و زمان مصرف کودها یاری می‌رساند. تعادل عناصر غذایی به معنای فراهم نمودن یک و یا دو عنصر غذایی نیست، بلکه به معنی فراهم نمودن تمام عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در نسبت‌های متعادل در طول رشد گیاه می‌باشد و هدف از آن، تأمین رشد مطلوب گیاه، دستیابی به عملکرد مناسب، دستیابی زارع به سود مناسب و محدود نمودن و یا پیشگیری از خسارات محیطی است. مصرف متعادل عناصر غذایی، عامل کلیدی برای عملیات مدیریت بهینه کودهای شیمیایی است. تعادل عناصر غذایی باید بر اساس نیاز گیاه و محصولی که کاشته می‌شود، تعریف گردد.

3-1-1-1- توصیه مصرف نیتروژن

نیتروژن عنصری است که به میزان نامحدود در اتمسفر وجود دارد، به طور وسیع توسط گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و به طور مداوم بین گیاه، خاک، آب و هوا در گردش است. مقدار نیتروژن معدنی شده در خاک‌های مناطق مختلف کشور با توجه به مقدار ماده آلی خاک متفاوت است. به طور معمول با ماده آلی در محدوده یک درصد، نیتروژن معدنی شده 15 کیلوگرم در هکتار خواهد بود. در بیشتر خاک‌ها، مقدار نیتروژن غیر آلی به طور مؤثر از طریق آزمون خاک ارزیابی می‌شود. در اکثر مناطق کشور، متأسفانه مقدار مواد آلی خاک‌ها در ایران بسیار پایین و اغلب کمتر از یک درصد می‌باشد. در این شرایط توانایی تأمین بخشی از نیتروژن توسط خاک با مشکل مواجه است.

مقدار کود نیتروژنی مورد نیاز: نیتروژن مورد نیاز ذرت برای اقلیم‌های معتدل سرد، سرد، گرم و اقلیم سواحل دریای خزر بر اساس مدل توصیه کودی در جداول (4) تا (7) برآورد شده است. برای محاسبه میزان نیتروژن مورد نیاز ذرت، پس از برآورد پتانسیل تولید مزرعه، درصد نیتروژن کل موجود در خاک را در ستون اول عمودی از جداول فوق‌الذکر پیدا نموده و عملکرد مورد انتظار (پتانسیل تولید) را در سطر اول افقی انتخاب می‌نماییم. از تقاطع این دو ستون نیاز ذرت به کود نیتروژنی برآورد می‌گردد. برای سهولت کار، جداول به جای نیتروژن خالص، برای کود اوره تنظیم شده‌اند که می‌توان آن را به کمک فرمول‌های زیر به سایر کودهای نیتروژنی تبدیل نمود:

مقدار کود بر حسب سولفات آمونیوم = $2/2 \times$ مقدار کود اوره

مقدار کود بر حسب نترات آمونیوم = $1/5 \times$ مقدار کود اوره

نوع کود نیتروژنی: انتخاب منبع کودی مورد استفاده بستگی به مدیریت زراعی، موجود بودن کود در بازار، قیمت کود و محتوای عنصر غذایی موجود در کود دارد. در حال حاضر در بین کودهای نیتروژنی رایج در کشور، کودهای اوره، نترات آمونیوم، سولفات آمونیوم و کود اوره با پوشش گوگردی به عنوان کودهای نیتروژنی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اوره $[CO(NH_2)_2]$ با حدود 46 درصد نیتروژن، بالاترین مقدار نیتروژن را در میان کودهای نیتروژنی دارد. نترات آمونیوم (NH_4NO_3) حاوی 35 درصد نیتروژن است که نصف آن به شکل آمونیوم و نصف دیگر به صورت نترات است. این کود در آب بسیار محلول و شکل خالص آن بسیار جاذب الرطوبه می‌باشد.

نکته قابل توجه این است که راندمان کودهای نیتروژنی رایج در کشور با توجه به روش‌های مصرف نامناسب بسیار پایین می‌باشد. این موضوع به هدر رفت کود و آلودگی محیط زیست منجر می‌گردد. در این میان، کودهای محلول در آب به شرط رعایت موازین استاندارد تولید می‌توانند با کارایی بیشتر و مصرف کمتر مورد استفاده قرار گیرند. کودهای محلول در آب به لحاظ دارا بودن سایر عناصر و بسته به شرایط رشد فیزیولوژیکی گیاه طراحی و تولید می‌گردند، لذا در مراحل رشد حداکثری گیاه ذرت، به منظور ایجاد توازن بین شکل‌های قابل جذب نیتروژن برای گیاه، مصرف کودهای محلول در آب با درصد بالای نیتروژن در مراحل 6 تا 10 برگی به میزان 7 کیلوگرم در هکتار توصیه می‌گردد.

زمان مصرف کودهای نیتروژنی: نکته قابل توجه در خصوص مصرف کودهای نیتروژنی برای گیاه آن است که با توجه به ماهیت و خصوصیات کودهای نیتروژنی، مصرف کود به هنگام کاشت ذرت توصیه نمی‌گردد. حلالیت بالای کودهای نیتروژنی باعث می‌شود کود به همراه آب‌های اول و دوم کاملاً از دسترس ریشه خارج شود. از آنجایی که حلالیت کودهای نیتروژنی زیاد است، هنگام مصرف در مزارع می‌بایست مقدار مصرف را مراعات کرد، به گونه‌ای که آبشویی زیاد کود را به همراه نداشته باشد. بعضی از کشاورزان مقدار زیادی کود نیتروژنی را قبل از کاشت استفاده می‌کنند که مطمئناً با انجام خاک آب و پی آب مقدار زیادی از کود شسته می‌شود و با توجه به اینکه گیاهچه ذرت سیستم ریشه‌ای توسعه یافته ندارد، از این مقدار کود چیزی عاید گیاه نمی‌شود و یا اینکه عده‌ای از کشاورزان در هر نوبت سرک مقدار زیادی کود

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت / 31

استفاده می‌کنند که باز مطمئناً مقدار زیادی از کود، به خصوص در خاک‌های شنی و سبک با آبیاری سنگین همراه با آب شسته شده و از دسترس ریشه خارج می‌شود.

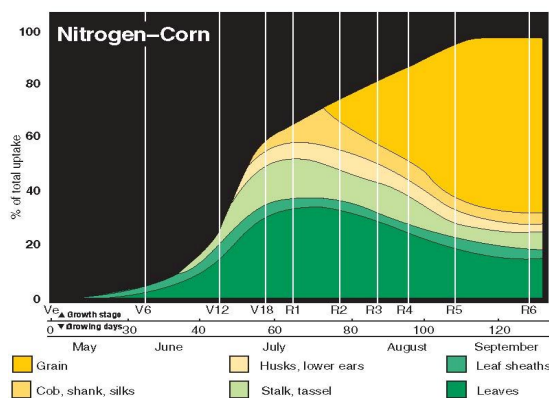
با توجه به نیاز ذرت به نیتروژن که در اواسط فصل رشد به حداکثر می‌رسد (شکل 9)، توصیه می‌شود نیتروژن را در زمان‌های مناسب و در مواقعی که گیاه واقعاً نیاز دارد، مصرف نمود. به عبارت دیگر مصرف کودهای نیتروژنی به صورت تقسیط و در چند نوبت توصیه می‌شود. هرچند اعمال تقسیط‌های بیشتر به لحاظ حفظ محیط زیست و شستشوی کمتر نیتروژن بهتر است، اما هزینه زیادتری نیز به دنبال دارد.

ذرت از شروع ماه‌های دوم و در ماه سوم دوره رشد به نیتروژن بیشتری نیاز دارد، به طوری که در ماه اول، به علت سیستم ریشه دهی ضعیف، تنها 8 درصد از کل نیتروژن مورد نیاز خود را برداشت می‌کند. تا مرحله 6 برگی (V6) تنها 20 درصد از کل نیتروژن گیاه اندوخته می‌شود، سپس تجمع آن تا 2 هفته بعد از مرحله به کاکل رفتن افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته و به 50-60 درصد کل نیتروژن گیاه می‌رسد. پس از آن، روند تجمع نیتروژن آهسته شده و سرانجام متوقف می‌گردد. بیش از نیمی از تجمع کل نیتروژن گیاه ذرت تا مرحله گل‌دهی و به ویژه بعد از مرحله 12 برگی اتفاق می‌افتد. بیش از 50 درصد کل نیتروژن گیاه تا مرحله 10 برگی اندوخته می‌شود.

بخش عمده جذب نیتروژن گیاه بین ماه اول رشد تا مرحله گل‌دهی و به کاکل رفتن اتفاق می‌افتد. مقدار قابل توجهی از نیتروژن طی مرحله پر شدن دانه‌ها از بافت برگی گیاه به دانه انتقال می‌یابد. در زمان رسیدن، میزان نیتروژن برگ و ساقه به طور معنی‌داری کاهش یافته و عمده ذخیره این عنصر در دانه می‌باشد. لذا در زمان شروع رشد رویشی، مصرف اولین تقسیط کود نیتروژنی لازم می‌باشد. در این شرایط سیستم ریشه نیز ایجاد شده، بنابراین می‌توان در آب سوم اولین کود نیتروژنی را با توجه به نیاز گیاه توصیه کرد. در شرایطی که 400 کیلوگرم اوره در هکتار توصیه شده باشد. در زمان سومین آبیاری مصرف 50 کیلوگرم در هکتار کود اوره نیاز اولیه گیاه ذرت را تأمین می‌کند. با توجه به مراحل رشد رویشی ذرت که تا قبل از ظهور گل‌های نر ادامه می‌یابد، تقسیط‌های بعدی مصرف کودهای نیتروژنی می‌بایست در مراحل 6 برگی، 10 برگی و قبل از ظهور گل‌های نر صورت گیرد.

در هر مرحله به میزان 100 کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف می‌شود. به عنوان آخرین تقسیم، در مرحله تشکیل دانه نیز، میزان 50 کیلوگرم در هکتار کود اوره به منظور پر کردن دانه توصیه می‌گردد. مسئله مهم در دادن کود سرک، آبیاری مزرعه بلافاصله بعد از کودپاشی است که بایستی توجه گردد.

به منظور مدیریت تغذیه نوین در ذرت، از آنجایی که 85% نیتروژن جذب شده توسط گیاه به اسیدهای آمینه و پروتئین تبدیل می‌گردد، لذا برای جلوگیری از مصرف انرژی و رشد رویشی گیاه می‌توان در زمان استفاده از علف‌کش‌ها که غالباً در زراعت ذرت در مرحله 6 برگگی انجام می‌گردد، از اسیدهای آمینه استاندارد به میزان 1 لیتر در هکتار به همراه سموم علف‌کش استفاده نمود.



شکل 9- وضعیت جذب نیتروژنی در مراحل مختلف رشد ذرت (منبع، واحد ترویج دانشگاه ایالتی آیوا)

نحوه مصرف کودهای نیتروژنی: از آنجایی که پخش نیتروژن در سطح خاک و در معرض نور خورشید برای مدت طولانی موجب تصعید و در نتیجه اتلاف بخش قابل توجهی از نیتروژن مصرفی می‌گردد، پخش سطحی کودهای نیتروژنی به وسیله دست و یا تراکتور توصیه نمی‌گردد.

توصیه کلی برای مصرف کلیه کودهایی که در خاک مصرف می‌شوند، از جمله کودهای نیتروژنی، روش کوددهی به همراه آبیاری (کودآبیاری) است که می‌تواند کود نیتروژنی را به صورت یکنواخت در سطح مزرعه پخش نموده و از شستشوی کود جلوگیری به عمل آورد. به علاوه با توجه به خصوصیات گیاه ذرت که زمان مصرف سرک کود نیتروژنی نزدیک بهم می‌باشد، این روش می‌تواند مؤثر واقع گردد. مصرف نواری کودهای نیتروژنی همزمان با عملیات

مبارزه با علف‌های هرز و خاک‌دهی پای بوته‌های ذرت به کمک دستگاه کولتیواتور کود کار نیز امکان‌پذیر است. در مراحل ابتدای رشد می‌توان از این روش نیز بهره گرفت.

3-1-2- توصیه مصرف فسفر

فسفر از عناصر پرمصرف و ضروری است که به صورت معدنی و آلی در گیاه وجود دارد. فسفر به صورت آنیون‌های H_2PO_4^- و HPO_4^{2-} توسط ریشه جذب می‌شود. به دلیل عدم گستردگی ریشه در ابتدای رشد گیاه، مقدار فسفر قابل جذب اولیه خاک و همچنین مقدار کود فسفوری مصرفی بسیار مهم می‌باشد. فسفر در درون گیاه متحرک بوده و به سرعت از بافت‌های پیرتر به سمت بافت‌های جوان‌تر و فعال حرکت می‌کند. ذخیره کافی فسفر در خاک، گیاه را قادر می‌سازد تا یک سیستم ریشه‌ای قوی و سالم در مراحل ابتدای رشد تشکیل دهد. وجود انشعاب زیاد ریشه و توسعه ریشه‌های ثانویه سبب افزایش سطح تماس بیشتر ریشه با خاک می‌شود. این سطح ریشه گسترده به گیاه فرصت می‌دهد تا بتواند مواد غذایی و رطوبت را از حجم بیشتر و عمق زیادتری از خاک به دست آورد.

نقش فسفر در گیاه: مهم‌ترین نقش فسفر در ذرت مربوط به مراحل رشد رویشی و تأمین ساختارهای سلولی و انرژی مورد نیاز فرآیندهای فیزیولوژی مورد نیاز گیاه می‌باشد. تأثیر فسفر در گیاه شامل مواردی چون مقاومت گیاه به ورس، زودرس کردن محصول، محصول بهتر با کیفیت برتر، رشد شاخه‌های جانبی و نهایتاً افزایش عملکرد می‌باشد.

مقدار کود فسفوری مورد نیاز: بهترین روش برای توصیه کودهای فسفوری آزمون خاک می‌باشد. بنابراین با توجه به روش‌های صحیح نمونه‌برداری خاک و آنالیز دقیق آن می‌توان به نیاز یا عدم نیاز کوددهی فسفوری در زراعت ذرت پی برد. برای محاسبه فسفر مورد نیاز ذرت، پس از برآورد پتانسیل تولید در مزرعه و با داشتن میزان فسفر قابل جذب در خاک از متن جداول (8) تا (11) میزان فسفر مورد نیاز ذرت برآورد می‌گردد. مقدار مصرف کود سوپرفسفات ساده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{مقدار کود بر حسب سوپر فسفات ساده} = 2/88 \times \text{مقدار کود سوپر فسفات تریپل}$$

تذکر: نظر به اینکه دی‌آمونیم فسفات حاوی 18 درصد نیتروژن خالص است، در صورتی

که از این کود استفاده شود طبق فرمول زیر مقدار کود نیتروژنی مصرفی تعدیل می‌شود:

$$\text{توصیه نهایی اوره} = (0/39 \times \text{مقدار دی‌آمونیم فسفات مصرفی}) - \text{مقدار کود اوره}$$

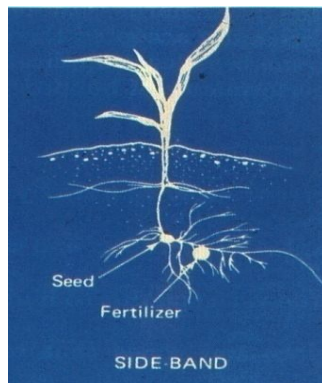
نوع کود فسفوری: کود فسفوری متداول مورد استفاده در کشور برای ذرت، سوپرفسفات تریپل است. سوپرفسفات تریپل دارای 46 درصد فسفر، 14-12 درصد کلسیم و 4-3 درصد گوگرد می‌باشد. دی آمونیوم فسفات کود فسفر دیگری است که حاوی 46 درصد فسفر و حدود 18 درصد نیتروژن خالص است. میزان فسفر موجود در کود سوپرفسفات ساده نیز 16 درصد و بقیه عمدتاً گچ می‌باشد.

لازم به ذکر است به دلیل ماهیت کود سوپرفسفات تریپل و دارا بودن درصد بالای کلسیم، عمده فرم فسفر قابل جذب در این کود، به صورت مونو کلسیم فسفات می‌باشد که با توجه به فراهمی کلسیم بالا در خاک‌های کشور و وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم در خاک، میل به تبدیل شدن این فرم به دی کلسیم فسفات و تری کلسیم فسفات بسیار زیاد است که به شدت از حلالیت و قابلیت استفاده فسفر برای گیاه می‌کاهد. از این رو، تغییر نگرش در فراهم نمودن کودهای فسفوری سازگار با شرایط خاک‌های کشور بسیار ضروری می‌باشد. کودهای محلول در آب مانند اوره فسفات (UP) با دارا بودن 44 درصد فسفر و 18 درصد نیتروژن با کارایی جذب بالا و پ هاش اسیدی می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای متداول فسفوری باشند.

زمان مصرف کودهای فسفوری: تمام کود فسفوری بایستی قبل از کاشت مصرف گردد. ذرت در مراحل اولیه رشد بیشترین مقدار فسفر را جذب و در اندام‌های خود به ویژه برگ‌ها و ریشه‌ها ذخیره می‌نماید. لذا توجه به کوددهی فسفر، روش مناسب کوددهی و منبع کودی در اول فصل رشد بسیار اهمیت دارد.

جذب فسفر به طور معمول به موازات افزایش وزن ماده خشک گیاه، افزایش می‌یابد. در زمان رسیدن، میزان فسفر برگ و ساقه به طور معنی‌داری کاهش یافته و عمده ذخیره این عناصر در دانه است. بر اساس کاهش تدریجی غلظت فسفر در اندام‌های رویشی می‌توان نتیجه گرفت که جذب فسفر نیز مانند نیتروژن در مراحل اولیه رشد (رشد رویشی گیاه) بیشتر از سایر مراحل است. صعود روند تجمع فسفر، در اواخر مرحله رشد رویشی گیاه است و بعد از مرحله گرده‌افشانی در سراسر طول مدت پر شدن دانه‌ها به طور خطی افزایش می‌یابد. روند تجمع فسفر نیز مانند نیتروژن در کل گیاه افزایشی است.

نحوه مصرف کود فسفوری: به دلیل تثبیت فسفر در خاک و عدم تحرک آن در مقایسه با کودهای نیتروژنی، بهتر است کودهای فسفوری همزمان با کاشت با بذرکار زیر بذر به فاصله 5 تا 10 سانتیمتر قرار گیرد. به عبارت دیگر مصرف کودهای فسفوری به صورت نواری نسبت به روش دستپاش، از اولویت بیشتری برخوردار است، ضمن اینکه مقدار کود مصرف شده به دوسوم تا یکدوم مقدار محاسبه شده در روش پخش سطحی تقلیل می‌یابد. همچنین مصرف نواری کود در ناحیه ریشه، کارایی را افزایش می‌دهد، چرا که میزان کمتری از آن جذب سطحی ذرات خاک می‌شود (شکل 10). چنانچه این روش به دلیل عدم وجود تجهیزات کافی عملی نباشد، می‌توان کود فسفوری را با شخم در عمق خاک قرار داد.



شکل 10- مصرف نواری کود در ناحیه ریشه زیر بذر

نکته بسیار مهم این است که حرکت عنصر فسفر در افق خاک بسیار محدود می‌باشد و تحرک مناسبی ندارد. متأسفانه روش رایج کوددهی فسفر بین کشاورزان، پخش در سطح زمین می‌باشد. در این حالت که غلظت فسفر در سطح خاک متمرکز می‌گردد، در حالی که ریشه گیاه به خصوص در مراحل قبل از مرحله زایشی در عمق 10-20 سانتیمتری خاک قرار دارد. در این شرایط به دلیل روش نادرست استفاده از کود، فسفر در دسترس گیاه قرار نگرفته و گیاه علی‌رغم کوددهی از کمبود این عنصر رنج می‌برد.

جذب کودهای رایج فسفوری توسط ریشه گیاه با روش پخشیدگی یا حرکت ریشه به‌سوی کود اتفاق می‌افتد. با توجه به نیاز شدید فسفوری گیاه در مراحل اولیه رشد و عدم توسعه کافی ریشه برای جذب این عنصر، توصیه می‌گردد در آب سوم کاشت ذرت، از کودهای

محلول در آب با درصد بالای فسفر به میزان 7 کیلوگرم در هکتار استفاده گردد. با این کار، نیاز اولیه گیاه به این عنصر تأمین و توسعه ریشه برای دسترسی به خاک بیشتر و منبع کود فسفوری مصرفی صورت می‌گیرد. محلول پاشی فسفر در مراحل 4 و 8 برگی و گل‌دهی می‌تواند کارایی مصرف فسفر را افزایش دهد. محلول پاشی در مرحله گل‌دهی، غلظت فسفر و عملکرد دانه را افزایش داده و یک ابزار مدیریتی کارا در زراعت ذرت محسوب می‌شود.

3-1-3- توصیه مصرف پتاسیم

پتاسیم یکی از سه عنصر پرمصرف و اصلی مورد نیاز گیاه می‌باشد. در غالب گیاهان جذب نیتروژن و پتاسیم شبیه به یکدیگر می‌باشد. بر خلاف نیتروژن و فسفر که نقش ساختمانی در گیاه دارند، پتاسیم این نقش را نداشته ولی با نقش‌های آنزیمی و کوآنزیمی که دارد، نقش حساسی را در گیاه ایفا می‌کند. مصرف کافی این عنصر برای اطمینان از پایداری گیاه در برابر بادزدگی، بیماری و خشکسالی ضروری است. پتاسیم علاوه بر وظایف فیزیولوژیکی بسیار مهمی که در گیاه به عهده دارد، در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی جایگاه ویژه‌ای به خود اختصاص داده است و بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصری است که وظایف متابولیسمی زیادی را در گیاه به عهده دارد. پتاسیم به صورت یون K^+ از طریق ریشه گیاهان جذب می‌گردد. انتقال مواد تحلیل یافته و فتوسنتزی در حضور پتاسیم انجام می‌گردد.

مقدار کود پتاسیمی: برای محاسبه میزان پتاسیم مورد نیاز ذرت، پس از برآورد پتانسیل تولید در مزرعه و با در دست داشتن میزان پتاسیم قابل جذب در خاک، از متن جداول (12) تا (15) میزان پتاسیم مورد نیاز ذرت برآورد می‌گردد. برای سهولت کار، جداول به جای پتاسیم، برای کود سولفات پتاسیم تنظیم شده است که می‌توان از فرمول زیر به کلرید پتاسیم تبدیل نمود.

مقدار کود بر حسب کلرید پتاسیم = $1/2 \div$ مقدار کود سولفات پتاسیم

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت /45

نوع کود پتاسیمی: در خاک‌های با شوری کمتر از 1/7 دسی زیمنس بر متر کلرید پتاسیم یا سولفات پتاسیم و در خاک‌های با شوری بیش از 1/7 دسی زیمنس بر متر سولفات پتاسیم توصیه می‌شود.

با توجه به نقش فیزیولوژیکی پتاسیم در رفع تنش‌های محیطی برای گیاه، توصیه می‌شود در مناطقی که با این‌گونه تنش‌ها روبرو هستند و همچنین در مراحل حساس رشد، که گیاه نیاز پتاسیمی بالایی دارد (لقاح و پرشدن دانه‌ها) از کودهای محلول در آب با درصد بالای پتاسیم به میزان 7 کیلوگرم در هکتار استفاده گردد.

زمان مصرف کودهای پتاسیمی: پتاسیم در مراحل اولیه رشد به سرعت از خاک جذب شده و مقدار آن در گیاه ذرت در طول دوره گلدهی به بیشترین مقدار در واحد سطح می‌رسد. حداکثر مقدار پتاسیم موجود در ماده خشک گیاهی در هنگام گلدهی برای عملکرد مطلوب، 2/5 درصد است و در مرحله بلوغ مقدار کل ماده خشک گیاهی شامل یک درصد پتاسیم خواهد بود. روند جذب پتاسیم گیاه در اواخر مراحل رشد، کاهشی است. پتاسیم برخلاف نیتروژن و فسفر بیشتر در ساقه گیاه ذخیره می‌شود. بالاترین میزان جذب پتاسیم گیاه در ساقه در مرحله به کاکل رفتن اتفاق می‌افتد.

جذب پتاسیم نیز مانند فسفر و نیتروژن در مراحل رشد رویشی گیاه افزایش داشته و پس از مرحله 10 برگی تا انتهای مراحل رشد (رسیدن فیزیولوژیکی) دارای نزول تدریجی است. برخلاف روند جذب فسفر و نیتروژن در برگ، در مورد پتاسیم، کاهش چشمگیر میزان جذب پس از مرحله به کاکل رفتن تا رسیدن دیده نمی‌شود. هنگام افزایش روند جذب پتاسیم در بلال، شاهد نزول جذب پتاسیم در برگ می‌باشیم، در صورتی که در ساقه مقدار جذب پتاسیم تا مرحله به کاکل رفتن همچنان افزایشی است و می‌توان چنین نتیجه گرفت که عمده پتاسیم جذب شده در بلال و دانه از طریق انتقال از برگ‌ها تأمین شده است. پتاسیم جذب شده در برگ علاوه بر تأمین پتاسیم بلال و دانه قابلیت تأمین پتاسیم لازم برای ساقه را نیز دارد.

در مرحله رسیدن برخلاف نیتروژن و فسفر، تنها 22/5 درصد از پتاسیم گیاه در بخش بلال و دانه تجمع یافته است. بنابراین دانه ذرت در مرحله برداشت، حتی در عملکردهای بالا نیز پتاسیم کمی را از خاک خارج می‌نماید.

نحوه مصرف کود پتاسیمی: تمام کود پتاسیمی قبل از کاشت مصرف و با دیسک زیر خاک قرار داده می‌شود. در صورتی که پتاسیم موجود در خاک برای رفع نیاز گیاه کافی نباشد و کود پتاسیمی نیز قبل از کاشت مصرف نشده باشد، مصرف سرک کلرید پتاسیم به شرط شور نبودن خاک در یک نوبت در مراحل اولیه رشد ذرت توصیه می‌گردد. به دلیل تحرک اندک پتاسیم در خاک مصرف آن به روش نواری نزدیک به بذر بسیار مفید است. مصرف کود پتاسیمی همراه با بذر و مخلوط با آن، جوانه‌زنی و خروج گیاهچه از خاک را کاهش می‌دهد.

3-1-4- توصیه کاربرد عناصر کم مصرف

آهن: میزان برداشت آهن توسط گیاه ذرت حدود 2130 گرم در هکتار برای 9/5 تن محصول می‌باشد (جدول 3). حد بحرانی آهن در خاک با روش DTPA حدود 4/5 میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و برای رفع کمبود آهن می‌توان از محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت 5-3 در هزار در مرحله 6-7 برگگی استفاده کرد.

روی: میزان برداشت روی توسط گیاه ذرت حدود 380 گرم در هکتار برای 9/5 تن محصول می‌باشد (جدول 3-3). مقدار متوسط روی در برگ‌های ذرت 15 تا 50 و حد بحرانی آن 25 میکروگرم بر گرم ماده خشک می‌باشد.

در شرایط کمبود روی، سولفات روی را می‌توان همزمان با کشت به صورت نواری در خاک مصرف نمود (مصرف نواری سولفات روی به پخش سطحی ترجیح داده می‌شود). علاوه بر این، در صورت نیاز می‌توان از این کود به صورت محلول‌پاشی با غلظت 3-5 در هزار در مرحله 6-7 برگگی استفاده نمود.

منگنز: میزان برداشت منگنز توسط ذرت 340 گرم در هکتار به ازای 9/5 تن محصول می‌باشد. حد بحرانی منگنز در خاک با روش DTPA حدود 4/5 میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و برای رفع کمبود آن می‌توان از محلول‌پاشی سولفات منگنز با غلظت 3-5 در هزار در مرحله 6-7 برگگی استفاده نمود.

مس: میزان برداشت مس توسط ذرت 110 گرم در هکتار به ازای 9/5 تن محصول می‌باشد. حد کفایت مس در برگ‌های گیاه 3 تا 7 میکروگرم در هر گرم ماده خشک و حد سمیت آن 20 تا 30 میکروگرم

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت /47

در گرم ماده خشک برگ گزارش شده است. سولفات مس را می‌توان قبل از کاشت با دیسک زیر خاک نمود و در صورت نیاز با غلظت 1-2 در هزار در مرحله 6-7 برگی، محلول پاشی نمود. بوره: میزان برداشت بوره توسط ذرت 190 گرم در هکتار به ازای 9/5 تن محصول می‌باشد. کود اسید بوریک مورد نیاز گیاه را قبل از کاشت می‌توان با دیسک زیر خاک نمود. در صورت نیاز، محلول پاشی با غلظت 1-2 در هزار اسید بوریک در مرحله 6-7 برگی انجام می‌گردد.

3-2- کاربرد ماده آلی در تولید ذرت

برای محاسبه ماده آلی مورد نیاز ذرت از جدول (16) که بر مبنای درصد کربن آلی خاک می‌باشد استفاده می‌نماییم. لازم به ذکر است مقدار ماده آلی به صورت تکمیلی همراه با کودهای شیمیایی محاسبه شده مصرف می‌گردد.

جدول 16- برآورد ماده آلی مورد نیاز ذرت

OM ماده آلی (تن در هکتار)	کربن آلی OC (درصد)
0/1	2/0
0/2	1/9
0/3	1/8
0/4	1/6
0/5	1/5
0/6	1/4
0/7	1/3
0/8	1/2
0/9	1/1
1/0	1/0
1/1	0/9
1/2	0/8
1/3	0/7
1/4	0/6
1/5	0/5
1/6	0/4
1/7	0/3
1/8	0/2
1/9	0/1
2/0	0

اسید هیومیک و محرک‌های رشد گیاهی

اصولاً با افزایش مواد آلی محلول از قبیل قندها و اسیدهای آمینه در سلول‌های گیاهان زراعی، می‌توان مقاومت آن‌ها را در برابر سرمازدگی افزایش داد. هیومیک اسید نیز با سازوکارهایی می‌تواند تا حدودی مانع سرمازدگی شود. مکانیسم نخست مربوط می‌شود به افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک که خودبه‌خود سبب گرم شدن خاک در اطراف ریشه می‌شود. اگرچه چرخش شیره گیاهی در درون آوندها در شرایط سرمای هوا کند و بطئی است، اما همین چرخش کند هم می‌تواند تا حدودی گرمای ریشه را به قسمت‌های هوایی منتقل کند. دومین سازوکار مربوط می‌شود به حفظ بیشتر رطوبت خاک که به دلیل بالا بودن گرمای ویژه آب مقدار کالری بیشتری در درون خاک ذخیره می‌شود. در طول روز آفتاب به سطح زمین می‌تابد و آن را گرم می‌کند و در شب خاک خشک به سرعت گرما را از دست می‌دهد. اما خاک مرطوب که مقدار بیشتری کالری ذخیره کرده است، آهسته‌تر خنک می‌شود، در نتیجه احتمال سرمازدگی کاهش می‌یابد. سومین سازوکار هیومیک اسید برای مقابله با سرمازدگی این است که رنگ تیره‌ای به خاک می‌دهد و در نتیجه انرژی خورشیدی بیشتر توسط خاک جذب می‌شود. از همه این‌ها گذشته، هیومیک اسید و فولویک اسید متابولیسم درون‌سلولی را افزایش داده و با این مکانیسم هم به مقابله با سرما کمک می‌کنند.

3-3- کاربرد کودهای زیستی در زراعت ذرت

کودهای زیستی به مواد جامد (عمدتاً پودری)، مایع و یا در برخی موارد ژله مانند اطلاق می‌شود که قادر است جمعیت انبوه از یک یا چند نوع ارگانیزم مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیک آن‌ها را روی یک ماده نگاه‌دارنده یا حامل از زمان تولید تا زمان مصرف نگهداری نماید. این دسته از کودها به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و یا افزایش رشد و عملکرد آن‌ها، استفاده می‌شوند. انواع متفاوتی از کودهای زیستی امروزه در دنیا معرفی شده است که توسط زارعین برای کشت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه از مهم‌ترین انواع کودهای زیستی قابل استفاده در کشت ذرت می‌باشند. باکتری‌هایی مانند سودوموناس، فلاوباکتریوم،

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت /49

باسیلوس، ازتوباکتر و آزوسپیریلوم از انواع شناخته شده باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشند. باکتری‌های محرک رشد گیاه به وسیله مکانیسم‌های مختلف، به طور مستقیم و یا غیرمستقیم رشد گیاهان را افزایش می‌دهند.

مکانیسم‌های مستقیم شامل تثبیت بیولوژیک نیتروژن، حلالیت فسفات‌های نامحلول، تولید تنظیم‌کننده‌های رشد و ویتامین‌ها می‌شوند. از مکانیسم‌های غیر مستقیم می‌توان به خصوصیات مانند تولید سیانید هیدروژن، آنتی‌بیوتیک‌ها و سیدروفورها اشاره کرد. مکانیسم‌های غیر مستقیم با تعدیل اثرات منفی تنش‌های زنده و غیر زنده سبب بهبود رشد گیاهان می‌شوند.

نحوه مصرف کودهای زیستی محرک رشد گیاه در ذرت

مقدار و نحوه مصرف کودهای زیستی محرک رشد گیاه بستگی زیادی به نوع فرمولاسیون آن‌ها دارد. این کودها بیشتر به شکل مایع و یا پودری و به ندرت به صورت گرانول تولید می‌شوند. حسب نوع فرمولاسیون هر کود نحوه مصرف آن به شرح زیر می‌باشد.

الف - کودهای زیستی محرک رشد گیاه با فرمولاسیون مایع

1- بذرمال: ابتدا مقدار معینی از بذر داخل ظرف مناسب تمیزی ریخته می‌شود. سپس متناسب با مقدار بذر مصرفی، کود زیستی مایع به آن اضافه شده و برای چند دقیقه محتویات ظرف به خوبی تکان داده می‌شود تا از آغشته شدن کلیه بذور به کود زیستی اطمینان حاصل گردد. سپس بذرها برای کاشت آماده هستند. در صورت آماده نبودن شرایط کاشت، بذرها در مکان مناسب تمیزی (دور از نور مستقیم خورشید و ترجیحاً هوای سرد و خشک) نگهداری می‌شوند. نگهداری بذور در این شرایط بیش از 24 ساعت توصیه نمی‌شود. مقدار کود زیستی مایع مصرفی بستگی به میزان و نوع بذر دارد. در مورد ذرت به ازای هر یک کیلوگرم بذر ذرت کاربرد 20-30 میلی‌لیتر از مایه تلقیح مایع توصیه می‌گردد.

2- محلول‌پاشی: نتایج آزمایش‌های سال‌های اخیر نشان داده است کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه به صورت محلول‌پاشی دارای اثرات مثبتی در رشد و عملکرد گیاهان زراعی و از جمله ذرت است. برای این کار ابتدا با استفاده از یک سمپاش مقدار آب مصرفی برای

محلول پاشی مزرعه کالیبره می‌شود. محلول پاشی به طور معمول در دو تا سه مرحله توصیه می‌شود. بنابراین با توجه به سطح سبز مزرعه، مقدار کود زیستی مصرفی متفاوت خواهد بود. در روش محلول پاشی، به لحاظ اقتصادی قطعاً می‌بایستی کود مورد نظر رقیق گردد. بر اساس جمعیت میکروارگانیسم مؤثر موجود در کود رقیق‌سازی تا صد بار نیز مجاز می‌باشد. بهتر است از کودهای زیستی با جمعیت پایه 10^7 و انواعی که بیش از دو ماه از تاریخ تولید آن‌ها گذشته باشد استفاده نشود. محلول پاشی بهتر است در هنگام غروب آفتاب صورت گیرد تا ضمن جلوگیری از اثرات منفی امواج ماوراءبنفش نور خورشید، از فرصت کافی برای نفوذ به بافت گیاهی برخوردار باشد.

ب- کودهای زیستی محرک رشد گیاه با فرمولاسیون پودری

میزان مصرف کودهای زیستی پودری نیز بستگی به میزان و نوع بذر دارد. همچنین این کودها برای استقرار بهتر بر روی بذر نیازمند به استفاده از یک ماده چسباننده می‌باشند. بعضی از شرکت‌های معتبر در فرمولاسیون خود از مواد چسباننده استفاده کرده‌اند و در نتیجه در خصوص این کودها نیازی به ماده چسباننده وجود ندارد. ولی بیشتر تولیدکننده‌ها یا در کنار کود خود این ماده چسباننده را قرار داده و یا مصرف‌کننده را به استفاده از ماده چسباننده راهنمایی می‌کنند.

به منظور تلقیح بذر با کودهای پودری ابتدا بذر مورد نیاز به داخل ظرف مناسب تمیزی منتقل می‌شود. سپس متناسب با مقدار بذر درون ظرف، مقدار مشخصی از محلول ماده چسباننده به آن اضافه شده و به خوبی بهم زده می‌شود. پس از اطمینان کافی از چسبناک بودن کلیه بذور، کود زیستی اضافه شده و مجدداً به خوبی بهم زده می‌شود. در صورت امکان بهتر است قبل از کشت بذرها اندکی هوا خشک شده (در سایه و در سطح تمیز) و سپس کشت شوند.

برای چسبناک کردن بذور از مواد متعددی استفاده می‌شود. محلول 40 درصد صمغ عربی، 20 درصد شکر، 4 درصد متیل اتیل سلولز نمونه‌ای از این مواد می‌باشند. مقدار مواد چسباننده مصرفی بسیار مهم می‌باشد چرا که اگر ماده چسباننده بیش از نیاز اضافه گردد موجب چسبیدن بذرها به یکدیگر شده و در حالتی که کمتر از نیاز اضافه گردد مقدار کود اندکی را بر روی خود جای خواهد داد. در مورد ذرت کاربرد 20 میلی‌لیتر محلول چسباننده و حدود 25 گرم مایه تلقیح پودری توصیه می‌گردد.

دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه ذرت / 51

4-3- اصول نوین تغذیه ذرت بر اساس مراحل رشد فنولوژیکی

بر اساس مطالب ارائه شده، جداول مدیریت تغذیه ذرت در مرحله داشت بر اساس اصول نوین تغذیه گیاه و مصرف کودهای جدید برای سه گروه تولیدکنندگان با بازده کم، متوسط و زیاد به شرح زیر می‌باشد.

جدول 17- برنامه تغذیه نوین ذرت دانه‌ای برای کشاورزان کم بازده (با عملکرد 5 تن در هکتار)

مرحله محصول	آب دوم یا سوم *	4 تا 6 برگ	ده برگی قبل از ظهور گل نر	ظهور گل‌های نر	گرده افشانی	تشکیل دانه	شیری شدن دانه
High P	*						
High K			*				
Zn		*					
Humic Acid	*						
Urea	*	*		*			
Amin Acid		*					

* تنش گرما: در مناطقی که در هنگام گرده‌افشانی با تنش گرما مواجه‌اند، قبل از مرحله ظهور گل نر یک مرحله مصرف کودهای محلول با پتاسیم بالا به جدول اضافه می‌گردد.

** تنش سرما: در مناطقی که با تنش سرما آخر فصل مواجه‌اند در مرحله تشکیل دانه تا شیری شدن یک نوبت مصرف کودهای محلول با پتاسیم بالا به جدول اضافه می‌گردد.

** برای کاشت ذرت علوفه‌ای یک مرحله مصرف کود اوره در مرحله تشکیل دانه تا شیری شدن دانه مصرف شود.

جدول 18- برنامه تغذیه نوین ذرت دانه‌ای برای کشاورزان متوسط بازده (با عملکرد متوسط 7 تن در هکتار)

مرحله محصول	آب دوم یا سوم *	4 تا 6 برگ	ده برگی قبل از ظهور گل نر	ظهور گل‌های نر	گرده افشانی	تشکیل دانه	شیری شدن دانه
High P	*						
(20-20-20)			*				
High K			*		*		
Zn		*					
Humic Acid	*					*	
Urea	*	*		*			
Amin Acid		*					

* تنش گرما: در مناطقی که در هنگام گرده‌افشانی با تنش گرما مواجه‌اند، قبل از مرحله ظهور گل نر یک مرحله مصرف کودهای محلول پتاسیم بالا به جدول اضافه می‌گردد.

** تنش سرما: در مناطقی که با تنش سرما آخر فصل مواجه‌اند در مرحله تشکیل دانه تا شیری شدن یک نوبت مصرف کودهای محلول پتاسیم بالا به جدول اضافه می‌گردد.

** برای کاشت ذرت علوفه‌ای یک مرحله مصرف کود اوره در مرحله تشکیل دانه تا شیری شدن دانه مصرف شود.

جدول 19- برنامه تغذیه نوین ذرت دانه‌ای برای کشاورزان پربازده

(عملکرد بالای 10 تن در هکتار)

مرحله محصول	آب دوم	4 تا 6 برگ	ده برگی قبل از ظهور گل	ظهور گل‌های نر	گرده افشانی	تشکیل دانه	شیری شدن دانه
High P	*					*	
(20-20-20)			*			*	
High N		*					
High K			*	*	*		*
Zn		*					
Humic Acid	*					*	
Urea	*	*		*			
Amin Acid		*					

*تنش گرما: در مناطقی که در هنگام گرده‌افشانی با تنش گرما مواجه‌اند، قبل از مرحله ظهور گل نر یک مرحله مصرف کودهای محلول یا پتاسیم بالا به جدول اضافه می‌گردد.
 ** تنش سرما: در مناطقی که با تنش سرما آخر فصل مواجه‌اند در مرحله تشکیل دانه تا شیری شدن یک نوبت مصرف کودهای محلول یا پتاسیم بالا به جدول اضافه می‌گردد.
 ** برای کاشت ذرت علوفه‌ای یک مرحله مصرف کود اوره در مرحله تشکیل دانه تا شیری شدن دانه مصرف شود و مصرف کود محلول یا پتاسیم بالا در مرحله شیری شدن حذف گردد.

منابع

- 1- آمارنامه کشاورزی جلد اول محصولات زراعی. سال زراعی 90-1389. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی.
- 2- خادمی، ز. و ف. اسدی. 1391. تغییرات غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (N, P و K) در اندام‌های مختلف گیاه ذرت طی مراحل مختلف رشد. نشریه شماره 40898. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
- 3- سماوات، س. 1390. نقش و کاربرد اسیدهای آمینه، هومیک و سالیسیلیک در کشاورزی. نشریه فنی شماره 518. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.
- 4- ملکوتی، م. ج.، ع. شهابی، و ک. بازرگان. 1384. پتاسیم در کشاورزی ایران. چاپ اول. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، 292 ص.
- 5- Aldrich, S. R.; W.O Scott, R.G Hoeft. 1986. Modern corn production. Champaign: A and L Publ., 386p.

- 6- Barber, S. A., and R. A. Olson. 1968. Fertilizer use on corn. In L.B.Nelson, et al. (eds). Changing Patterns in Fertilizer Use, pp. 163-188. Soil Sci. Soc. of Amer., Inc., Madison, Wis.
- 7- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89: 1- 6.
- 8- Emam, Y. 2012. Cereal Crop Production. 4th ed., Shiraz University Press. 190 pp. (In Farsi)
- 9- Evanylo, G. K. and M. M. Alley. 1996. Nitrogen soil testing for corn in Virginia. Virginia Cooperative Extension Publication 418-016. [http://pubs.ext.vt.edu/418-016/ Virginia Tech](http://pubs.ext.vt.edu/418-016/Virginia%20Tech), Blacksburg, VA.
- 10- Freeman, K. W., K. Girma, D. B. Arnall, R. W. Mullen, K. L. Martin, R. K. Teal, and W. R. Raun. 2007. By-plant prediction of corn forage biomass and nitrogen accumulation at various growth stages using remote sensing and plant height measures. Agronomy Journal 99: 530-536.
- 11- Girma, K., K. L., K. W. Martin, K. W. Freeman, J. Mosali, R. K. Tel, W. R. Raun, S. M. Moges and D. B. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38 (9 & 10): 1137 - 1154.
- 12- Girma, K., S. Holtz, B. Tubana, J. Solie, and W. Raun. 2010. Nitrogen accumulation in shoots as a function of growth stage of corn and winter wheat. Journal of Plant Nutrition 33:165-182.
- 13- Hanway, J. J. 1962 b. Crop growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. Agronomy Journal 54: 217-222.
- 14- Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L). Agronomy Journal 55: 487-491.
- 15- Heard, J. 2004. Nutrient accumulation and partitioning by grain corn in Manitoba. <http://www.gov.mb.ca/agriculture/msss/2004/mss601-pdf>.
- 16- Ma, B. L., L. M. Dwyer, and E. G. Gregorich. 1999. Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize. Agronomy Journal 91: 650-656.
- 17- Mengel, D.B. 1980. Role of micronutrients in efficient crop production. *IN Coop. Ext. Serv.* AY-239.
- 18- Mengel, K., 1997. Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. *Eur. J. Agron.* 7, 221-233.
- 19- Pandey, R. K., J.W. Maranville and A. Admou. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46: 1-13.
- 20- Taiz, L., and E. Zeiger. 2002. Plant physiology, 3rd edition, Sinauer Associates, Sunderland, Mass. 690 pages.
- 21- Van Noordwijk M., G. Cadisch. 2002. Access and Excess Problems in Plant Nutrition. *Plant and Soil* 247: 25-40.
- 22- Waraich, E.A., R. Ahmad, Saifullah, M.Y. Ashraf and Ehsanullah. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Aust. J. Crop Sci.* 5 (6), 764-777.

پیوست:

جدول پیوست 1- تقویم کوددهی ذرت منطبق بر مراحل فنولوژیکی

مراحل فنولوژیکی							نوع کود
شیری شدن دانه	گرده افشانی	ظهور گل های نر	10 برگی قبل از ظهور گل نر	4 تا 6 برگی	دومین آبیاری	هنگام کاشت	
		25 درصد توصیه	25 درصد توصیه	25 درصد توصیه	25 درصد توصیه		کود نیتروژنی
						100 درصد توصیه ترجیحاً به صورت نواری	کود فسفوری
						100 درصد توصیه ترجیحاً به صورت نواری	کود پتاسیمی
			محلول پاشی	محلول پاشی			کودهای حاوی عناصر ریزمغذی
محلول پاشی - کودآبیاری	کودآبیاری	محلول پاشی	محلول پاشی				کودهای قابل حل با پتاسیم بالا
				محلول پاشی	کودآبیاری		کودهای قابل حل با فسفر بالا
						اختلاط با خاک توسط دیسک	کودهای آلی
					محلول پاشی	بذر مال	کودهای زیستی
	همراه با آب آبیاری			محلول پاشی	کودآبیاری	بذر مال	اسیدهای هیومیک
				محلول پاشی			محرك های رشد گیاهی

جدول پیوست 2- ضرایب تبدیل برای عناصر غذایی در کودهای مختلف

از این فرم	ضرب در این عدد	برای رسیدن به این فرم / یا از این فرم	ضرب در این عدد	برای رسیدن به این فرم
NO ₃	0/226	N	4/427	NO ₃
NH ₃	0/820	N	1/216	NH ₃
NH ₄	0/776	N	1/288	NH ₄
CO(NH ₂) ₂ -urea	0/463	N	2/160	CO(NH ₂) ₂ -urea
(NH ₄) ₂ SO ₄	0/212	N	4/716	(NH ₄) ₂ SO ₄
NH ₄ NO ₃	0/350	N	2/857	NH ₄ NO ₃
P ₂ O ₅	0/436	P	2/291	P ₂ O ₅
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0/458	P ₂ O ₅	2/182	Ca ₃ (PO ₄) ₂
K ₂ O	0/830	K	1/205	K ₂ O
KCl	0/632	K ₂ O	1/580	KCl
KCl	0/525	K	1/905	KCl
ZnSO ₄ · H ₂ O	0/360	Zn	2/778	ZnSO ₄ · H ₂ O
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	0/230	Zn	4/348	ZnSO ₄ · 7 H ₂ O
SO ₂	0/501	S	1/997	SO ₂
SO ₄	0/334	S	2/996	SO ₄
MgSO ₄	0/267	S	3/750	MgSO ₄
MgSO ₄ · H ₂ O	0/230	S	4/310	MgSO ₄ · H ₂ O
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0/130	S	7/680	MgSO ₄ · 7 H ₂ O
(NH ₄) ₂ SO ₄	0/250	S	3/995	(NH ₄) ₂ SO ₄
SiO ₂	0/468	Si	2/139	SiO ₂
CaSiO ₃	0/242	Si	4/135	CaSiO ₃
MgSiO ₃	0/280	Si	3/574	MgSiO ₃
MgO	0/603	Mg	1/658	MgO
MgO	2/986	MgSO ₄	0/335	MgO
MgO	3/432	MgSO ₄ · H ₂ O	0/290	MgO
MgO	6/250	MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0/160	MgO
MgO	2/091	MgCO ₃	0/478	MgO
CaO	0/715	Ca	1/399	CaO
CaCO ₃	0/560	CaO	1/780	CaCO ₃
CaCl ₂	0/358	Ca	2/794	CaCl ₂
CaSO ₄	0/294	Ca	3/397	CaSO ₄
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0/388	Ca	2/580	Ca ₃ (PO ₄) ₂
FeSO ₄	0/368	Fe	2/720	FeSO ₄
MnSO ₄	0/364	Mn	2/748	MnSO ₄