



农业科技入户丛书



肥料

合理使用新技术

刘喜民 主编



 中国农业出版社

农业科技入户丛书

农业科技入户丛书

委员会名单

主任 张宝文

副主任 张宝文

副主任 张宝文

副主任 张宝文

副主任 张宝文

江苏工业学院图书馆

农业科技入户丛书

肥料合理使用新技术

贮藏书章

刘喜民 主编

农业科技入户

编委：杨绍品 沈慎明 宋毅
张洪本 张德修 陈建华
陈萌山 郑文凯 段武德
贾幼陵 夏敬源 唐国结
曹一春 雷于新 薛亮

田庚

主 编 杨先芬 梅家洲 曹金亮
副主编 顾家洪 崔秀峰 王卫国 王厚振
沈茂旺 李金峰
审 稿 苏桂林 曲万文 王春生 巩庆平
摄 影 周少华

中国 农业 出版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

肥料合理使用新技术/刘喜民主编. —北京: 中国农业出版社, 2005. 6 (2007. 1 重印)

(农业科技入户丛书)

ISBN 978 - 7 - 109 - 10213 - 2

I. 肥... II. 刘 III. 施肥—基本知识 IV. S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 005245 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

策划编辑 何致莹

文字编辑 张 志

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2005 年 6 月第 1 版 2007 年 4 月北京第 3 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/32 印张: 2.625

字数: 56 千字 印数: 23 001~29 000 册

定价: 3.20 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

农业科技入户丛书

编委会名单

主任 张宝文

副主任 刘维佳 张凤桐 傅玉祥 刘芳原

庄文忠

委员 (按姓氏笔画为序)

卜祥联 于康振 马有祥 马爱国

王辅捷 王智才 甘士明 白金明

刘贵申 刘增胜 李正东 李建华

杨 坚 杨绍品 沈镇昭 宋 毅

张玉香 张洪本 张德修 陈建华

陈晓华 陈萌山 郑文凯 段武德

姜卫良 贾幼陵 夏敬源 唐园结

梁田庚 曾一春 雷于新 薛 亮

魏宝振

主 编 杨先芬 梅家训 黄金亮

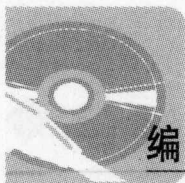
副主编 田振洪 崔秀峰 王卫国 王厚振

庞茂旺 李金锋

审 稿 苏桂林 曲万文 王春生 巩庆平

摄 影 周少华

中国农业出版社



中国人口科学出版社

编著者名单

主 编 刘喜民
参 编 巩庆平 朱传宝 王秀华

(按姓氏笔画为序) 员 委

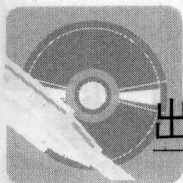
国 金 昌	林 育 昌	梁 泉 干	郑 祥 仁
仰 金 白	阳 士 甘	太 睿 王	戴 群 玉
半 慧 辛	衣 五 辛	组 警 欣	申 贵 欣
尊 宋	留 毅 欣	品 晓 斌	望 斌
半 慧 利	赵 毅 欣	本 兴 洪	香 王 洪
勤 允 昌	唐 文 联	山 萌 初	半 强 初
益 园 春	耿 煜 夏	刻 欣 贾	身 江 姜
亮 莉	潘 于 雷	春 一 曾	夷 田 黎
	夷 金 黄	阮 永 琳	花 兴 琳
琳 帆 王	国 江 王	孙 泰 崧	洪 琳 田
		韩 金 李	丑 英 刘
平 凡 欣	主 春 王	文 武 曲	林 林 燕
			半 心 周

主 编

主 编

审 阅

编 审



出版说明

为贯彻落实党中央提出的把“三农”工作作为全党和全国工作重中之重的战略部署，做好服务“三农”工作，我社配合农业部“农业科技入户工程”，组织基层农业技术推广人员，编写了《农业科技入户丛书》。

这套丛书以具有一定文化程度的中青年农民和乡村干部为读者对象。所述内容力求贴近农业生产实际、贴近农村工作实际、贴近农民需求实际，按农业生产品种和单项技术立题，重点介绍作物无公害生产、标准化栽培管理和病虫害防治；动物无公害生产、标准化饲养和病疫防治。所介绍的技术突出实用性和针对性，以关键技术和新技术为主，技术可靠、先进，可操作性强。文字简明、通俗易懂，真正做到使农民看得懂、学得会、用得上、易操作。

我们相信，这套丛书的出版将为促进农业技术的推广普及，提高农业技术的到位率和入户率，为农业综合生产能力的增强，为农业增产、农民增收发挥积极的推动作用。文中错误之处，敬请读者批评指正。

中国农业出版社



前 言

随着农业生产的进一步发展,农业产量的大幅提高,作物从土壤中吸收的营养元素日益增多。为满足作物对营养元素的需求,人们向土壤中施入大量化肥,一方面造成了土壤酸化、肥力下降、肥料利用率低,另一方面造成了能源浪费、环境污染、农产品品质下降、生产成本增加、收益锐减。为改变目前传统的施肥习惯,达到合理施肥的目的,就应该充分发挥肥料在农业生产中的作用,促进农业从数量增长向产量质量并重,高产、优质、高效转变。合理施肥是提高农作物产量,改善品质,降低成本,增加收益的有效措施。为此,我们编写了《肥料合理使用新技术》一书,为农业增产、农民增收提供技术服务。

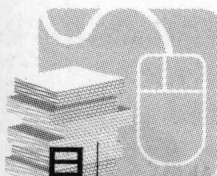
该书从作物施肥原理、作物对营养元素的需求规律、计划产量对营养元素的需要量、当前生产上的主要肥料品种性质、肥料的科学施用方法、肥料的贮存等方面进行了全面介绍,以期达到合理施肥、科学施肥的目的,为农业的持续快速增产、农民的不断增收做出贡献。

本书在编写过程中得到了有关单位和领导的支持,参考了省内外一些科研单位、大专院校和专家的数据和资料,在此一并感谢。文中错误之处,敬请读者批评指正。

(二) 肥料的贮存 66

主要参考文献 67

编 者



目 录

出版说明

前言

一、作物营养与施肥理论	1
(一) 作物的营养元素及其生理功能	1
(二) 作物对营养元素的吸收	3
(三) 作物需肥特点及吸收规律	5
二、作物施肥原理与技术	10
(一) 作物施肥原理	10
(二) 作物施肥技术	12
三、肥料种类及其施用	36
(一) 氮肥	36
(二) 磷肥	41
(三) 钾肥	44
(四) 钙肥、镁肥、硫肥	45
(五) 微量元素肥料	47
(六) 复混肥料	52
(七) 生物肥料	56
四、肥料的混合与贮存	62
(一) 肥料的混合	62
(二) 肥料的贮存	66
主要参考文献	67

一、作物营养与施肥理论

(一) 作物的营养元素及其生理功能

1. 作物必需的营养元素 一般新鲜植物含有 75%~95% 的水分和 5%~25% 的干物质。在干物质中, 组成植物有机体的碳、氢、氧、氮 4 种主要元素占 95% 以上; 另外还有钙、钾、硅、磷、氯、铝、钠、铁、锰、锌、硼、钼、铜、钨、镍、钴、钒等几十种灰分元素, 只占 1%~5%。目前已经肯定的是, 作物生长必需的营养元素有碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、镁、钙、铁、锰、锌、铜、氯、硼、钼等 16 种。根据营养元素在作物体内的含量, 一般将必需营养元素分为下列两类: 一是大量营养元素, 二是微量营养元素。大量营养元素又称常量营养元素, 有碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫 9 种, 它们的含量占作物干重的百分之几十至千分之几。其中的氮、磷、钾三种元素, 由于作物需要的数量比较多, 而土壤中可提供的数量比较少, 常常需通过施肥才能满足作物生长的要求, 因此称为“作物营养三要素”或者“肥料三要素”。微量营养元素有铁、硼、锰、铜、锌、钼、氯 7 种, 它们的含量占作物干重的千分之几至十万分之几。微量元素在植物体内含量虽少, 但由于它们在植物内往往是酶或辅酶的组成部分, 具有很强的专一性, 是作物正常生长发育所不可缺少和不可替代的。当农作物缺乏任何一种微量元素时, 生长发育就会受到抑制, 导致减产和品质下降, 严重的甚至失收。但当微量元素过多, 又会造成中毒现象, 影响作物产量和质量, 还会引起人、畜某些地方病的发生。

2. 各营养元素在作物体内的主要作用

碳、氢、氧：是构成基本结构物质（碳水化合物）的基本元素，作物吸收时主要来自于二氧化碳和水。

氮：是构成生命物质蛋白质和核酸的主要成分，又是叶绿素、维生素、生物碱、植物激素等的组成成分，参与植物体内许多重要的物质代谢过程，对植物的生长发育和产量、品质产生深刻影响。

磷：是作物体内重要化合物的组成元素，如核酸、核蛋白、磷脂、植素等生命物质中都含有磷。能加快碳水化合物的合成和运转；促进氮代谢和脂肪的合成，提高作物的抗逆性。

钾：钾在植物体内不形成有机物，不是植物体的构成成分。但钾能维持细胞膨压，促进植物生长；促进酶的活化，促进光合作用和光合产物的运输，促进蛋白质、脂肪的形成，增强植物的抗逆性。

硫：是含硫氨基酸、蛋白质和许多酶的成分；参与氧化还原反应和叶绿素的形成，活化某些分解蛋白酶，合成某些维生素，形成并存在于洋葱、蒜和十字花科植物中的糖苷油等。

镁：是叶绿素的组成成分，是许多酶的活化剂，参与脂肪代谢和氮的代谢。

铁：是形成叶绿素不可缺少的元素，是多种酶的成分和活化剂，是光合作用中许多电子传递体的组成成分，参与核酸和蛋白质的合成。

锰：参与光系统中的希尔反应，影响光合作用和放氧过程，维持叶绿体膜正常结构的作用，是多种酶的活化剂，调节植物体内氧化还原作用，参与氮的代谢。

钙：是构成细胞壁的重要成分，能稳定生物膜的结构和调节膜的渗透性，细胞伸长所必需。

锌：促进吲哚乙酸（IAA）的合成，是多种酶的成分和活化剂，与蛋白质的合成有密切关系，对叶绿素形成和光合作用有重大影响。

铜：参与光合作用和呼吸作用，参与植物的氮代谢。

氯：参与光合作用，维持细胞中的电荷平衡和膨压，适量的氯有利于碳水化合物的合成与转化；提高作物的抗病性。

作物的必需营养元素在作物体内不论数量多少都是同等重要的；任何一种营养元素的特殊功能不能被其他元素所代替，缺乏了这种营养元素，植物的生长发育将会受到影响。这就叫营养元素的同等重要和不可代替律。

除此之外，有些元素对植物生长有促进作用，或只是某些植物所必需，但并非所有植物所必需。有益的营养元素有钠、硅、钴、镍、硒等，其中以钠和硅最重要。

（二）作物对营养元素的吸收

植物在生长发育过程中需要从外界环境吸收营养物质，根系是作物吸收养分和水的主要器官，叶部（包括部分茎表面）吸收也能补充部分营养。根系和叶部吸收营养的途径是一样的，营养物质都是从介质溶液→细胞壁水膜→细胞壁→原生质膜→细胞内部，参与代谢活动。

1. 根的吸收 根系吸收的养分是溶于土壤溶液中的各种无机态的离子和少量的有机态分子，也可吸收少量的二氧化碳和氧气。

①根的吸收部位。根吸收养分最多的部位是根尖以上的分生区，大致是离根尖1厘米；吸收能力从根尖到基部渐弱。

②根的吸收过程。植物对养分的吸收是一个极为复杂的过程，土壤中无机态养分通过截获、质流和扩散作用到达根表面，然后以质流或扩散等被动过程和主动转运过程通过原生质膜吸收进入根表皮细胞内。

③环境条件对养分吸收的影响。土壤养分的供应状况直接影响着作物的生长，作物从土壤中吸收养分不仅受土壤养分供应状况的制约，而且还取决于作物的营养特性。作物的选择性吸收，就是根据不同时期新陈代谢的要求从土壤中主动吸收养分的过程。影响因素有温度、土壤通气状况、土壤酸碱度、水分等。

温度：温度影响着土壤养分的有效性和根系的活力。在 6~38℃ 范围内，随温度增高，作物吸收养分的数量增加；反之则减少。试验表明，低温显著影响四季萝卜对钙、磷的吸收，而对葱、黄瓜、萝卜的影响则较小。

土壤通气状况：土壤通气状况影响到根部呼吸作用。此外，不良的通气状况能积累毒害物质，根系在肥沃疏松的土壤中生长发育良好，旱田灌水后及时中耕松土能加强作物根部营养。

土壤酸碱度：土壤酸碱度直接影响着阴阳离子的吸收。以番茄吸收铵态氮和硝态氮为例，在一定范围内，pH 越低，则根表面阳性基的解离就越受抑制，而使阴离子吸收增加；反之亦然（表 1）。

表 1 pH 对番茄吸收氮的影响（毫克/100 克鲜重·6 小时）

pH	NH ₄ -N	NO ₃ ⁻ -N	总 N
4.0	3.4	4.8	8.2
5.0	4.2	5.9	10.1
6.0	4.6	4.1	8.7
7.0	6.6	3.0	9.6

在石灰性土壤地区（pH 高），采用磷肥与有机肥结合或采用酸制磷肥；在南方酸性土壤上，施用石灰或窑灰钾肥、草木灰等，不仅直接提供钾、磷、钙等营养，而且能消除 Fe³⁺、Mn²⁺ 等，离子毒害，通过施肥同时达到调节土壤酸碱度，能改善作物对矿物质养分的吸收，可谓一举两得。

土壤水分：土壤水分是各种养分的溶剂和有机物矿化的必要条件。养分的扩散和质流以及根系吸收养分都必须通过水分这一载体来进行。在干旱地区，采取保墒措施，可加强根部对养分的吸收。另外，水分过多，土壤溶液过稀也不利于养分的吸收。

2. 叶的吸收 植物叶面（包括一部分茎）吸收养分物质来营养其本身称为植物的根外营养。植物叶片可以吸收 CO₂、H₂O、SO₂ 等，特别是叶面吸收 SO₂ 对于植物的硫营养起了很大的作用。氮、磷、钾、钙、镁等矿物质元素则通过渗透作用由叶面进入植物

体内，其吸收机制与根部吸收相似。

叶部营养的意义：当土壤环境（如水分过多或干旱、土壤过酸或过碱等）造成根系吸收受阻，作物需要迅速恢复生长时，或作物生长后期根系衰弱时，叶面吸收养分可以弥补根系吸收的不足。此外，某些养分如磷、铁、锰、铜、锌等易在土壤中固定而降低有效性；叶面喷施肥料用量少、见效快，养分有效性高，经济效益也高。

影响叶部吸收效果的因素：叶面施肥的效果受叶子自身条件如叶面积大小、气孔多少、角质层厚薄等因素的影响。此外，溶液的组成、溶液的浓度及酸碱度、溶液湿润叶片的时间也影响着叶部吸收的效果。

（三）作物需肥特点及吸收规律

作物复种指数高，生物产量大，不同的作物品种对外界条件的要求及需肥特点不同。以蔬菜作物为例介绍如下：

1. 蔬菜作物的需肥特点

①需肥量大。蔬菜作物产量高，茎叶及食用器官中氮、磷、钾等营养元素含量均比大田作物高，故与大田作物相比具有需肥量大的特点。

②吸收强度大。蔬菜作物根部的伸长带（根毛发生带）在整个植株中的比例一般高于大田作物，该部位是根系中最活跃的部分，其吸收能力和氧化力强。再者，根系盐基代换量高，作物根系盐基代换量是根系活力的主要指标之一，蔬菜作物根系盐基代换量较大田作物高。

③多为喜硝态氮作物。多数蔬菜在完全硝态氮条件下，产量最高，而对铵态氮敏感，铵态氮占全氮量超过一定比例后，生长受阻，产量下降。一般情况下，铵态氮在施用中的比例不宜超过 $1/3$ 至 $1/4$ 。

④需硼量高。硼在作物体内以无机态的不溶性或可溶性存在，

而不是以有机化合物存在。一般单子叶植物体内可溶性硼含量比双子叶植物高，其再利用率高。蔬菜作物多属双子叶植物，所以其需硼量也就较多。如根菜类蔬菜比麦类高 8~20 倍，比玉米高 5~10 倍（表 2）。

表 2 各种作物含硼量比较（毫克/千克）

作物	硼含量	作物	硼含量	作物	硼含量	作物	硼含量
大麦	2.3	菠菜	10.4	胡萝卜	25.0	萝卜	49.2
玉米	5.0	芹菜	11.9	苜蓿	25.0	甜菜	75.6
小麦	3.3	马铃薯	13.9	甘蓝	37.1	豌豆	21.7
洋葱	4.3	番茄	15.0	大豆	37.2	菜豆	41.4

⑤作物适宜的土壤溶液浓度高。蔬菜作物水培时，适宜的氮素浓度多在万分之几以上，而水稻、小麦等大田作物氮素适宜浓度仅为 20~30 毫克/千克。

⑥需钙量高。钙在作物体内以果胶酸钙的形态存在，是细胞壁中胶层的组成部分。蔬菜作物需要吸收钙的数量较多（表 4）。其原因是许多蔬菜本身是豆科作物，需钙量大；另一个原因可能是钙能中和作物代谢过程中所形成的有机酸，蔬菜作物较大田作物就需要更多的钙。

2. 吸肥规律 蔬菜作物与大田作物一样，每一生长发育阶段对营养元素的种类、数量和比例都有不同的要求，这就是作物吸收营养的阶段性的规律。作物吸收养分的规律是：生长初期吸收的数量和强度都较低，随后逐渐增强，到成熟阶段，又趋于减弱。作物在营养的吸收上有两个时期对施肥有一定的指导意义，即作物营养的临界期和最大效率期。

表 3 主要蔬菜 1 000 千克产量的氮钙吸收量（千克）

作物	N	Ca	N : Ca
黄瓜	2.3	3.2	100 : 139
番茄	3.0	3.2	100 : 107
茄子	3.7	1.8	100 : 48

(续)

作物	N	Ca	N : Ca
辣椒	5.8	2.5	100 : 43
白菜	1.75	1.6	100 : 91
甘蓝	4.6	3.9	100 : 85
菠菜	5.6	1.3	100 : 23
葱	2.3	1.6	100 : 69
萝卜	2.3	1.0	100 : 43
胡萝卜	7.5	3.8	100 : 51
芜菁	4.3	2.5	100 : 58
禾本科作物	—	—	100 : 21

①作物营养的临界期。作物在生长发育过程中，有一个对某种养分的要求绝对数量并不多但很迫切的时期，这时养分缺少，对作物生长发育所造成的危害，即使以后补施也很难纠正或者弥补，这个时期叫作物营养临界期。

作物营养的临界期，多出现在作物生长发育的转折时期，但对不同养分，临界期的出现并不完全相同。一般作物的生长初期对外界环境条件具有较高的敏感性。从苗期营养来看，种子萌发后的最初几天，应保持适当低的营养水平，避免溶液浓度过高遭受盐的危害，但幼嫩根系吸收力弱，还必须有一定的易于吸收的养分，特别是磷和氮供应，大多数作物磷的临界期出现在幼苗期。因此有“十处肥田不如一处肥秧”的谚语。

②作物营养的最大效率期。在作物生长发育的某一时期，所吸收的某种养分能发挥其生产最大潜力的时期，叫作物营养的最大效率期。这一时期，从作物外部形态来看生长迅速，吸收养分的能力特强，如能及时满足作物养分的需要，对提高产量非常显著。但并不是说仅在这一时期供足肥就能获得高的产量，因为作物营养的各个阶段是相互联系，彼此影响的，一个阶段情况的好坏，必然会影响到下一阶段作物的生长与施肥效果。因此，既要注重关键时期的施肥，又要考虑各阶段的营养特点，采用基肥、追肥、种肥结合的

施肥方法，进行合理施肥才能充分满足作物对养分的需要。

③作物吸肥规律的类型。根据不同作物吸肥规律的差异，可将其分为两种类型：第一种类型是作物对矿质营养的吸收量随生长的进展而增多，如茄果类、瓜类及豆类蔬菜，在产品形成时吸肥最多，吸收的营养几乎有一半被产品携带走；第二种类型主要是，当地上部旺盛生长时是吸收营养最多的时期，当产品形成时吸收营养数量反而有所下降。

3. 作物的缺素症状 作物的缺素症是作物内部营养状况失调或障碍的外部反映，由此也就反映了土壤中某种养分的亏缺状况。了解和掌握这些缺素症状，可以对症施肥，及时地补充作物所需的养分。现将几种蔬菜的主要营养元素缺素症状列表如下（表4）。

表4 几种主要蔬菜缺乏氮磷钾钙养分的典型症

蔬菜	缺氮	缺磷	缺钾	缺钙
大白菜	早期缺氮，植株矮小，叶片小而薄，叶色发黄，茎部细长，生长缓慢。中后期缺氮，叶球不充实，包心期延迟，叶片纤维增加，品质降低	生长不旺盛，植株矮化。叶小，呈暗绿色。茎细，根部发育细弱	从下部叶缘变褐枯死，逐渐向内侧或上部叶片发展，下部叶片枯萎。抗软腐病及霜霉病的能力降低	发生缘腐病，内叶片边缘水浸状，至褐色坏死，干燥时似豆腐皮状，又名干烧心、干边，内部顶烧症
茄子	植株矮小。叶片小而薄，叶色淡绿。结果期缺氮，落花落果严重	叶呈深紫色。茎秆细长，纤维发达。花芽分化延迟，结实延迟	下部老叶叶缘变为黄褐色，逐渐枯死。抗病力减低	
萝卜	生长停滞。叶片窄小而薄，叶色发黄。茎细弱。根很小，发育不良，多木质化。辣味增强	叶背呈现红紫色，叶小而皱缩	最初叶片中部呈现深绿色，叶缘卷曲并呈淡黄至褐色。下部叶片和茎秆，显现深黄至青铜色，叶片增厚。根部不正常膨大	

(续)

蔬菜	缺氮	缺磷	缺钾	缺钙
番茄	生长停滞, 植株矮小。叶色淡绿或呈黄色, 叶小而薄, 叶脉由黄绿色变为深紫色。茎秆变硬, 富含纤维, 并呈深紫色。花芽变为黄色, 易脱落。果小, 富含木质	早期叶背呈现红紫色。叶肉组织起初呈斑点状, 随后则扩展到整个叶片, 而叶脉逐渐变为红紫色, 叶簇最后呈紫色。茎细长, 富含纤维。叶片很小, 结果延迟。由于缺磷, 影响氮素吸收, 后期呈现卷叶	植株生长很慢, 发育受阻。幼叶轻度皱缩, 老叶最初变为灰棕色, 而后在边缘处呈现黄绿色, 最后变褐死亡。茎秆变硬, 富含木质, 细长。根部发育不良, 细长, 常呈褐色。后期果实不圆而有棱角, 果肉不饱满而显空隙, 果肉缺少红色素	顶部新叶黄化, 植株瘦弱、萎蔫, 叶柄卷缩, 顶芽死亡, 顶芽周围出现坏死组织, 根系不发达。果实易发生心腐病或空洞果
黄瓜	早期缺氮, 生长停滞, 植株细小。叶色逐渐变为黄绿或黄色。茎细长, 变硬, 富含纤维。果实色浅, 在具有花瓣的一端, 呈淡黄色至褐色, 变为尖削	植株矮小, 细弱。叶脉间变褐坏死。缺磷影响花芽分化, 雌花数量减少。果实呈畸形	叶缘附近呈现青绿色的腐烂组织, 下部老叶首先变黄。果实的尖端膨大, 果柄发育不良	叶缘, 叶脉间呈白色透明腐烂斑点, 严重时脉向失绿, 植株矮化, 嫩叶上卷, 瓜小无味, 花小呈黄白色
洋葱	生长缓慢, 叶片小而薄, 且叶色黄, 根色由红转变为白	多表现在生长后期, 一般生长缓慢, 老叶干枯或叶尖端死亡, 有时叶片有黄绿、褐绿相间的花斑	外部老叶尖端灰黄色, 或浅白色, 随着外部叶片脱落, 缺素症状向内叶扩展, 叶片干枯后呈硬纸状, 上面密生绒毛	
莴苣	生长减慢, 叶片黄绿色, 严重时老叶变白腐烂		生育后期老叶外圈现黄白色斑, 并连扩大后, 干枯脱落	生长受抑制幼叶畸形, 叶缘呈褐色到灰色, 严重时幼叶从顶端向内部死亡, 死亡组织呈灰绿色