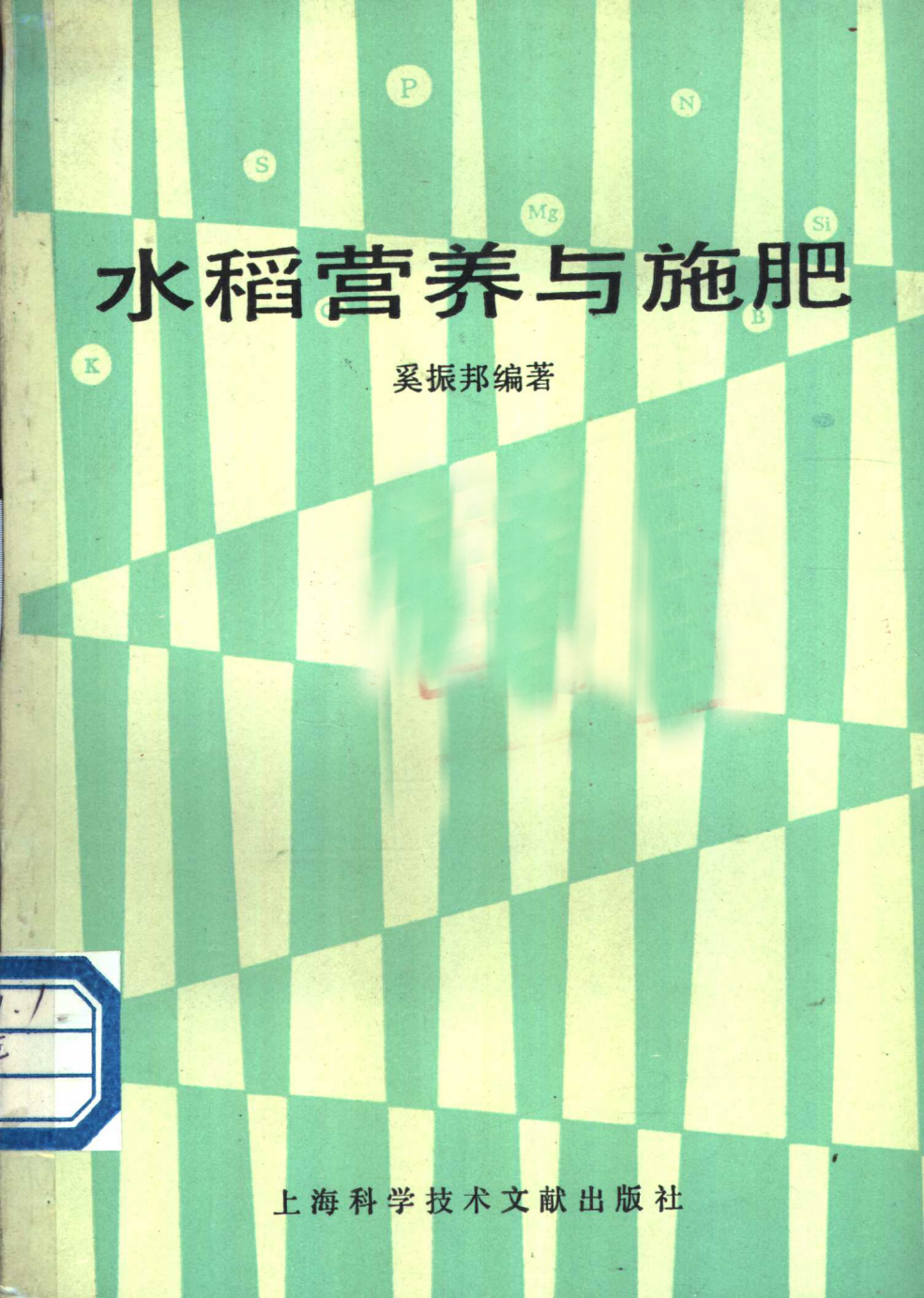




水稻营养与施肥

奚振邦编著



上海科学技术文献出版社

水稻营养与施肥

奚振邦 编著

上海科学技术文献出版社

水稻营养与施肥

奚振邦 编著

•

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号)

全国新华书店经销

上海联昌印刷厂印刷

•

开本 787×1092 1/32 印张 3.00 字数 66,000

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数: 1—9,000

ISBN 7-80513-701-3/S·26

定价: 1.10元

《科技新书目》229-549

前 言

水稻是我国最主要的粮食作物，其种植面积大，分布广，稻米生产量居世界之冠。新中国成立后的四十年来，我国水稻的平均单产提高了1.8倍，种植面积扩大了0.3倍，总产量增长了3.5倍。在各项增产措施中，施肥量的增加和施肥技术的改进起着关键作用。本书是以现代作物营养与施肥理论为基础，以我国近三十年的水稻施肥研究资料和稻农生产经验为素材而编写的。本书的编写力求做到理论与实践并重，说理简明有据，方法实用易学。

作者热诚将本书奉献给广大读者，尤其是处于第一线的农业技术推广人员、农户和农业院校师生。书中的不妥之处诚望广大读者批评指正。

“水稻营养与施肥”一书，是“肥料知识丛书”中的一册。本书在出版过程中得到了上海长征化工厂的资助，在此深表感谢。

作 者

一九九〇年四月

序

水稻系我国最重要的粮食作物，水稻生产如何对国计民生影响至巨。在稻作增产技术中，合理施肥占有十分突出的位置。科学研究和生产实践不断地证明，水稻的合理施肥是理论性和技术性都很强的农业措施，看似简单，实为复杂。水稻生产的发展迫切需要建立一整套水稻营养与施肥的科学理论和技术。本书的出版将为此作出自己的一份贡献。

本书篇幅不大，但颇有特色，即注重理论与实际的结合。在内容上兼收并蓄，既有几十年来国内外科学研究的成果，又有我国著名传统施肥经验的分析和最新推广的“以水带氮深施”技术。在叙述上，把科学理论的阐述与实用技术的介绍有机地结合起来。文字深入浅出，明白易懂，特别适合水稻生产第一线的技术推广人员和农户阅读，相信能受到广泛的欢迎。

现今举国上下重视发展粮食生产，“科技兴农”，方兴未艾，本书出版，正当其时，故乐为之序。

中国水稻研究所所长，研究员 熊振民
一九九〇年九月写于中国水稻研究所

引 言

我国是世界上最大的稻米生产国和消费国，并有悠久的水稻栽培历史和丰富的栽培经验。合理施肥是水稻栽培的关键，是提高水稻单产、改善稻米品质和培养稻田肥力的基本措施。

我国地域辽阔，有充足的气候资源，多样的水田类型，丰富的水稻品种和多种栽培制度，从而形成了多种多样的施肥制度与施肥技术。

根据调查，70年代以后，在我国用于水稻的有机肥和化肥数量迅速增加的同时，肥料中主要养分的来源与结构也发生了相应的变化。据南方13省市资料(1984年)，水稻上化肥氮的投入量占全部水稻施氮量的67.6%，磷(P_2O_5)占49.4%，只有钾(K_2O)仍主要依靠有机肥，来自有机肥的钾素占94.9%。水稻施肥量与肥料结构的改变，促进了水稻施肥技术的相应发展。

在水稻看苗诊断和合理施肥方面，我国广大农民已积累了丰富的经验。从17世纪“沈氏农书”对单季晚稻处暑后下接力肥的总结，到解放后50年代“南陈北崔”(江苏劳模陈永康和吉林劳模崔竹松)为代表，以看苗施肥为核心的晚稻栽培经验的总结，都反映了这一点。

现代水稻施肥技术，主要根据不同栽培型水稻的生育和吸肥特点，不同肥料品种的数量质量，以及气候土宜等条件制定。随着农业现代化和水稻施肥技术的发展，水稻施肥正在传统经验的基础上，向简易化、数量化和模式化发展，并已取得了初步效果。

本书以我国近二十年的研究资料为主，阐述有关水稻施肥的基本知识与基本技术。

目 录

引 言	(1)
一、水稻的吸肥特点	(1)
(一)水稻吸收的营养元素	(1)
1. 氮	(1)
2. 磷	(2)
3. 钾	(3)
4. 硅、硫、镁、钙	(3)
5. 微量元素	(5)
(二)不同栽培型水稻的吸肥特点	(9)
1. 单季栽培型水稻的吸肥特点	(9)
2. 双季栽培型水稻的吸肥特点	(10)
3. 杂交水稻的吸肥特点	(10)
(三)水稻的营养障碍	(13)
1. 缺磷障碍	(14)
2. 缺钾障碍	(15)
3. 缺锌障碍	(16)
二、水稻土的供肥特性和养分生产力	(17)
(一)水稻土的供肥特性	(18)
1. 水稻土的剖面与土层	(18)
2. 水稻土中的养分及其有效性	(19)
(二)水田的养分生产力	(23)
三、稻田用肥料的特性	(27)
(一)稻田用有机肥及其特性	(27)
1. 有机肥的主要类型	(27)
2. 有机肥中的养分含量	(28)
3. 有机肥的腐熟与供肥	(30)
4. 有机肥中养分的利用率	(31)
5. 有机肥的作用	(34)

(二)稻田用化肥及其特性	(34)
1. 化肥的肥效与利用率	(35)
2. 碳铵与尿素	(36)
3. 磷钾肥	(39)
四、水稻的施肥技术	(41)
(一)水稻施肥概述	(41)
1. 水稻的需肥量	(41)
2. 水稻的产量结构与施肥	(41)
3. 肥料与土壤的相互作用	(44)
(二)秧田施肥	(45)
1. 基肥与耙面肥	(45)
2. 断奶肥	(46)
3. 起身肥	(46)
(三)大田施肥	(47)
1. 基肥	(48)
2. 追肥	(49)
(四)不同栽培型水稻的施肥技术	(54)
1. 单季晚稻的施肥模式及其施肥技术	(54)
2. 双季稻的施肥模式及其施肥技术	(61)
(五)杂交水稻的施肥技术	(64)
(六)直播水稻的施肥技术	(66)
(七)科学施肥, 提高肥效	(67)
1. 施肥时期	(68)
2. 施肥深度	(68)
3. 施肥数量	(69)
附录	(77)
稻田以水带氮深施技术	(77)
(一)以水带氮深施技术的依据	(77)
(二)以水带氮深施技术的效果	(78)
(三)以水带氮深施技术的应用条件	(85)
结 语	(88)

一、水稻的吸肥特点

水稻与其他农作物一样，有它自身的吸肥特点。

(一)水稻吸收的营养元素

水稻的一生，从种子萌芽到结成种子，都需要从环境中吸收养分。但在“三叶期”以前，稻苗主要依靠种子中贮存的养分，“三叶期”以后，才逐步转向主要是吸收土壤中的养分。

水稻生长中必须的营养元素大致有碳、氢、氧、氮、磷、钾、硫、铁、钙、镁、锌、硼、钼、铜、铁、氯和硅等。

虽然，碳、氧和氢三个元素是水稻生长中最重要的养分，是光合作用的原料，水稻中这三种元素的含量可占到水稻干重的80%左右，但是在通常条件下，水稻不会缺乏这些元素，因为这些元素可来自于空气中的二氧化碳和土壤中的水，所以无须以施肥方式补充。水稻从土壤中吸收的养分，主要是矿质营养元素，包括需要量较大的大量元素(如氮、磷和钾等)、需要量较小的微量元素(如锌、硼和钼等)以及某些有特殊生理作用的元素(如硅等)。其中有些营养元素在土壤中的存在量不足，或有效性不够，或处于难以被水稻吸收的状态，需要以施肥方式予以补充。

水稻所吸收的必须营养元素，在水稻生长中起着重要的生理作用。下面简要说明各种矿质营养元素的生理作用。

1. 氮

水稻植株内的含氮量，一般占干重的1~5%，视不同的

水稻类型、所处的生育期和不同的器官而异。通常生育期短的早稻含氮量比生育期长的晚稻高；分蘖期的含量比成熟期高；稻叶和稻谷中的含量比根茎高。

氮是蛋白质的主要成分，蛋白质是每个细胞维持生命活动和分裂繁殖的物质基础。蛋白质平均含氮约16%。氮也是叶绿素、核酸等水稻体内一系列重要物质的组成成分。水稻一生中，氮元素总是较多的集中在生理活动最旺盛的器官。水稻生长期间，氮集中在幼叶、根尖等幼嫩部分，至成熟期，氮将集中在稻谷部分。

水稻吸收氮元素量是否充足，能迅速从其叶色和长相上反映出来。氮元素供应充足的话，叶色深，长势旺，分蘖多，生长快，稻穗大。但若水稻吸氮过多，则长势过旺，茎叶柔弱，易遭病虫为害，贪青倒伏，成熟延迟，穗子虽大但空秕谷粒多，反而影响产量。氮素供应不足的话，则水稻的叶色浅，下部出现黄叶，分蘖和长势差，稻穗小，而且成熟提早，同样也影响产量。

水稻吸收氮的主要形态是铵离子 (NH_4^+)，硝酸根离子 (NO_3^-)，尿素分子及少量可溶性氨基酸等含氮有机物。

2. 磷

水稻植株内的磷含量，一般占干重的0.2~1.2% (以磷酐即 P_2O_5 表示)。分蘖期水稻的磷含量高于成熟期，谷粒中的磷含量高于茎秆。

磷元素同样存在于水稻的每一个细胞中，是磷酸和核酸组成的必须成分，常较多集中在水稻的新生幼嫩部分，对细胞的分裂繁殖有重大作用。磷元素充足时，水稻外观老健，发根和分蘖好，稻谷饱满；磷元素不足时，水稻根系生长差，分蘖少，形似一根葱，叶色呈现不正常的暗绿，植株矮小，稻谷成熟不

良。

水稻吸收磷的主要形态是正磷酸根 (H_2PO_4^- 和 HPO_4^{2-})。

3. 钾

水稻植株内钾的含量，一般占干重的0.5~4.0% (以氧化钾即 K_2O 表示)，也视不同生育期和器官而异。通常生长期的含量高于成熟期。与氮、磷两元素相反，钾在水稻成熟期大部分集中在茎叶中，可占到吸入量的85%左右，谷粒中只占15%左右。

钾在植物体内不参予有机物的组成，主要存在于细胞的充水部分，是细胞充水度的调节剂和多种酶的激活剂，有助于加速各种生理反应的进行和各种有机物的合成、转化与输送。所以钾含量充足时，稻株的茎秆老健，抗倒抗逆力强，病虫害少，灌浆成熟度好，千粒重高。反之，当钾元素供应不足时，稻株矮小，叶片变窄，抗病抗倒力弱，稻谷成熟度差。

水稻吸收的钾形态，都是钾离子 (K^+)。

氮、磷、钾三种营养元素对水稻生育的影响重大，而且又常缺乏，所以施肥时必须优先考虑这“三要素”。不同生育期水稻植株中的三要素含量，对构成水稻产量的穗数、粒数等有重大影响(见表1)。

4. 硅、硫、镁、钙

硅 水稻是典型的喜硅植物之一。稻株茎叶中含硅量 (SiO_2) 占干重的4~20%，几乎是含氮量的10倍。水稻无论处于营养生长期或生殖生长期，都能大量吸收硅，故随植株干重的增加，硅将不断积累。

水稻从灌溉水和土壤中吸收硅，进入根部后随蒸腾水流上升至叶表面，水分从叶面蒸腾后硅就留在表皮细胞，形成“角质—硅质双层”，好象一层“铠甲”，它既能降低叶面蒸腾水分的强

表 1 稻株中养分含量对产量构成因素的影响

养 分	产量构成因素与植株中的养分(%)			
	茎数(分蘖期)	每穗粒数 (幼穗形成期)	结实率 (出穗期)	千粒重 (出穗后)
氮(N)	3.0%以上良好 1.5%以下茎数减少	2.5%以上 良好	1.3%以上 良好	1.3%以上 良好
磷(P ₂ O ₅)	0.25%以上分蘖良好 0.10~0.25%分蘖缓慢 0.10%以下分蘖停止	0.20%以上 良好	—	—
钾(K ₂ O)	1.0~1.5%分蘖缓慢 1.0%以下分蘖停止	2.0%以上 良好 1.2%以下 大减	1.0~2.0 %良好	含量高者好

度,又能使茎叶硬挺,减轻病虫害。累积在根部的硅,还能促进大气中的氧气通过稻株的通气组织进入根部,由根部向土壤排出,从而增加根的氧化力,抑制淹水条件下稻根周围的还原物质(如 Fe⁺⁺)进入稻根,避免毒害。硅供应充足时叶片直立、坚挺、颜色深,水稻群体的光合效率高;硅供应不足时,叶片易下垂,群体光合作用效率低,根的通气组织不发达,易受还原物质的毒害。

对大多数品种水稻来说,在通常的栽培条件下,土壤和灌溉水中的硅已能满足水稻对硅营养的要求。

水稻吸收硅的主要形态是硅酸根(H₂SiO₄⁻)。

硫 稻株含硫量(二氧化硫, SO₂)占干重的 0.2~1.0%,约相当于氮含量的三分之一,一般在返青至分蘖阶段达到高峰

(1.0%左右)，以后逐渐稳定在较低的水平上。硫在水稻体内主要参予蛋白质和某些酶的合成，促进受这些酶作用的有机物的合成。硫常伴随氮元素起作用，故氮元素集中的器官，硫的含量往往也较高。

水稻在栽培条件下一般不会产生缺硫现象。水稻缺硫的表现与缺氮相似，一般为植株矮小，生长受抑，分蘖少甚至停止，根系细弱，成熟延迟。分蘖期缺硫对产量影响最大。

水稻吸收硫的主要形态是硫酸根(SO_4^{2-})。还原性硫化物，如硫化氢(H_2S)，对水稻根有毒害作用。

镁 稻株含镁量(氧化镁, MgO)占干重的0.5~1.0%，茎叶中多，穗粒中少。镁是叶绿素的组成成分，故在大量分蘖长叶，叶面积迅速扩大的分蘖阶段，需镁量增加，易出现缺镁症状。镁主要以离子状态存在于植株内，是多种酶的激活剂，能促进多种有机物，如蛋白质、糖的合成与转化。

水稻缺镁的典型特征是植株矮小，叶侧下披柔软，叶脉呈黄绿色，叶肉失绿，根发育不良，穗发育不好，穗小，结实率低，空秕粒多，产量下降。

水稻吸收镁的主要形态是镁离子(Mg^{2+})。

钙 稻株茎叶中含钙量(氧化钙, CaO)一般占干重的0.3~0.7%，成熟的穗中仅含0.1~0.3%。

钙是植物细胞壁的主要构成元素，约60%的钙集中在细胞壁内。钙的流动性差，较多存在于叶和老的器官中。水稻钙营养不良时，上位叶尖端变白，叶不能充分展开，生长点死亡，根系发育差，根短，根尖呈褐色，穗数少，穗小，结实率低，空秕粒多。

水稻吸收钙的主要形态是钙离子(Ca^{2+})。

5. 微量元素

微量元素铁、硼、锌、锰、铜、钼、氯均为水稻正常生长发育所必须的元素，其中任何一种元素的缺乏都会影响水稻的生长发育和产量。表2列出了在溶液培养条件下，某些微量元素缺乏对水稻生育的影响。

表 2 缺乏微量元素对水稻生育的影响

处 理	分蘖数 (株)	株 高 (厘米)	干重(克/千株)		
			根	全 株	谷 粒
完全液	19	91.4	28.9	168.9	85.5
缺 硼	17	53.3	8.5	59.3	0
缺 锰	1	25.4	0.2	1.5	0
缺 锌	1	40.6	0.7	3.7	0
缺 氯	17	71.1	19.7	167.1	3.8
缺 铜	14	83.8	20.9	140.4	41.1
缺 钼	13	86.4	24.5	175.8	46.5

由上表可见，缺乏任何一种微量元素时，都能使植株矮小，分蘖少，根系和全株的干物质积累少，最后导致谷粒轻，产量低甚至颗粒无收(如缺乏锌、硼、锰等)。下面分述几种微量元素的作用。

锌 锌是一些重要酶的组成成分，能促进由碳酸分解为二氧化碳和水的碳酸酐酶的活性，这种酶含锌0.30~0.33%。水稻缺锌时嫩叶基部失绿，叶尖内卷，老叶下垂，甚至枯死，根系生长不良，分蘖少，结实差。

我国北方和长江中下游的一些石灰性土壤和滨海稻田，发现缺锌现象较多，施用锌肥有较好的效果。

水稻吸收锌的主要形态是锌离子(Zn^{2+})。

硼 水稻需硼量少，每亩稻株吸收量不到1克。硼能促进水稻对氮和钙的吸收利用和在植株内的转化。水稻花粉的形成

与受精过程中尤其需要硼的参予。故缺硼时花粉发育不正常，影响受精，空秕粒多。缺硼植株生长点受阻，整株矮小，叶色深暗，叶中部和尖端出现黄白色斑点，根生长不良，棕色根多。

水稻吸收硼的主要形态是 BO_3^{2-} 。

锰 锰是稻株内含量较高的一种微量元素，叶中含量可达干重的0.5~1.6%，根茎中较少，为0.20~0.45%。锰能促进水稻种子的发芽和生长，促进硝酸盐的还原和淀粉的合成，有助于叶绿素的合成和促进光合作用。水稻缺锰植株矮小，分蘖少，叶片失绿(嫩叶更严重)，根发育差，结实率和千粒重低。

水稻吸收锰的主要形态是锰离子(Mn^{2+})。

铁 铁是水稻体内一些氧化酶的必须成分，与呼吸作用的正常进行有关。在栽培条件下水稻缺铁可能是由酸性土壤所导致，因为土壤吸收过多的锰而中毒。此时嫩叶易失绿(叶肉失绿)，叶脉仍保持浅绿色。根系发育不良，全株黄弱。

水稻吸收铁的主要形态是亚铁离子(Fe^{2+})。

钼 水稻需钼量极微，稻株中含钼量低至0.04ppm($4 \times 10^{-6}\%$)时，仍能正常生长。钼参予体内硝酸还原酶的组成，缺钼时硝酸盐还原受阻，老叶尖端失绿，分蘖少，成熟与结实差。

水稻吸收钼的主要形态是钼酸根(MoO_4^{2-})。

铜 铜在稻株内集中于根茎的生长点，参予一些氧化酶的组成，能促进稻根对多种养分的吸收与利用。缺铜时，嫩叶逐渐失绿，出现棕色斑点，新叶伸展不好，成熟迟，穗和种子变小。

水稻吸收铜的主要形态是铜离子(Cu^{2+})。

氯 水稻的生理需氯量不多，但对氯的忍受力较高。溶液中含氯(Cl^-)量低于0.3%时，稻株仍能正常生长，含氯量为0.3

~0.5%时水稻生长受阻；含量高于0.5%时水稻不能生长。稻株中含氯高，将会影响水稻体内蛋白质的合成，从而非蛋白态的可溶性氮含量相应增多，致使体内的氮代谢紊乱。缺氯时嫩叶上中部会出现白斑，叶呈弯曲状，顶端生长点受阻，根系发育差，种子小。

水稻吸收氯的主要形态是氯离子(Cl^-)。

水稻与其他农作物一样，只需要少量微量元素，即可满足其生长发育的要求。有些微量元素(如锌、铜等)还是环境中毒物的检测对象；浓度过高会使生物中毒。因此，在水稻生长过程中不仅会产生微量元素缺乏症，而且在一定的条件下也会产生过多微量元素中毒症。表3列出了水稻植株中某些次要元素和微量元素含量的临界指标。

表3 水稻植株中次要元素和微量元素含量的临界指标*

元 素	不足或中毒	临界含量	分析部位	生 育 期
钙 Ca	不	0.15%	茎	成熟期
镁 Mg	不	0.10%	茎	成熟期
硫 S	不	0.10%	茎	成熟期
硅 Si	不	5.0%	茎	成熟期
铁 Fe	不	70 ppm	茎	成熟期
	不	300 ppm	茎	分蘖期
锌 Zn	不	10 ppm	茎	分蘖期
	不	1500 ppm	茎	分蘖期
锰 Mn	不	20 ppm	茎	分蘖期
	不	250 ppm	茎	分蘖期
硼 B	不	3.4 ppm	茎	分蘖期
	不	100 ppm	茎	成熟期
铜 Cu	不	30 ppm	茎	成熟期
	不	300 ppm	茎	成熟期

* 该临界指标是国际水稻研究所以前稻品种为主，在菲律宾种植条件下经分析而得出的。