

化肥减量应用 技术与原理



蒋玉根 戴学龙 麻万诸 主编



非
外
借

中国农业科学技术出版社

化肥减量应用 技术与原理



蒋玉根 戴学龙 麻万诸 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

化肥减量应用技术与原理 / 蒋玉根, 戴学龙, 麻万
诸主编. — 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018.3

ISBN 978-7-5116-3327-9

I. ①化… II. ①蒋… ②戴… ③麻… III. ①化学肥
料-施肥-研究 IV. ①S143

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 261987 号

责任编辑 闫庆健

文字加工 段道怀

责任校对 马广洋

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编:100081

电 话 (010)82106632(编辑部) (010)82109702(发行部)
(010)82109709(读者服务部)

传 真 (010)82106625

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京科信印刷有限公司

开 本 889mm×1194mm 1/32

印 张 6.875

字 数 187 千字

版 次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

版权所有·翻印必究

《化肥减量应用技术与原理》

编 委 会

主 编 蒋玉根 戴学龙 麻万诸

副主编 陆若辉 徐 君 邵赛男 孔海民

编 委 (以姓氏笔画为序)

孔海民 孙国民 李凤根 汪东东

陆若辉 邵赛男 何旭华 宋 松

张忠锡 陈慧明 周晓峰 郎继群

施增进 赵卫国 徐 君 顾万帆

夏晓燕 麻万诸 蒋玉根 蒋涌平

蒋沈悦 裘希雅 戴学龙 韩扬云

前 言

我国人多耕地少，人均农业耕地不足 1.3 亩，相当于美国的 1/6、阿根廷的 1/9、加拿大的 1/14。随着工业化、城镇化步伐加快，我国耕地数量减少趋势难以逆转。为满足粮食的自给和农产品数量的供给，我国加大了作物单产的攻关力度，增加化肥的施用。过去 60 年间，我国化肥施用急剧增长，有机肥、无机肥的比例逐渐失衡，有机肥施用几乎降至零点。有报道我国粮食产量占世界的 16%，化肥用量却占世界的 31%，每公顷用量是世界平均水平的 4 倍以上。

另外，氮、磷、钾养分的不平衡供应和过量化学氮肥的施用，造成化学氮肥当季利用率低（仅 30% 左右），磷、钾肥当季利用率分别为 10%~15% 和 40%~60%，损失严重。重施化肥、轻施甚至不施有机肥，使有机质积累缓慢而消耗多。由于我国土壤肥力低，农民为了确保高产而过量施用化学氮肥，造成氮肥供应与作物需求严重不同步。

长期不合理过量使用化肥，造成土壤结构变差、土壤板结、地力下降、农作物减产，农产品中硝酸盐含量过高、重金属含量超标。大量和过量的氮肥和重金属流失于环境中，污染土壤、水体、空气，威胁人类的食物安全和健康。虽然目前我国受污染土壤比例并不比欧美地区的一些国家高，但全国范围内土壤重金属含量在过去 20~30 年间呈明显上升趋势。由于追求产量，连作和过量施用化肥，导

致土壤酸化严重、土壤生物活性下降、土壤养分转化很慢，很多设施栽培地土壤已经成为或正在变成“僵土、死土”。

土壤状况决定着整个农业产业以及人类食物链的安全问题。我国已经度过了商品短缺的时代，现在处在生态短缺的时代。土壤是生产食品重要的基础条件，它的安全性、可靠性需要引起大众高度关注。有效推进生态建设，将治理农业面源污染作为促进我国农业可持续发展的重要抓手，不断加强农业面源污染防治工作力度，推广应用资源节约型、环境友好型农业生产技术，发展现代生态循环农业。2015年农业部提出了“一控两减三基本”，其中两减就是化肥减量、减药，要求在2020年实现化肥使用零增长，要实现这个目标，化肥减量的工作任务很重，化肥减量应用技术显得更为重要。

化肥在农业生产中起到了重要作用，化肥减量是为了减少不合理的肥料用量，使施肥技术更为科学，施肥比例更为合理，肥料效益更高。笔者通过生产实践和化肥减量应用技术，形成了以下相关化肥减量技术集成：一是平衡施肥技术（测土配方施肥技术）；二是有机替代技术，即用有机肥来替代部分化肥，通过扩大绿肥种植、科学秸秆还田、传统或商品有机肥施用，减少部分化肥用量；三是新型肥料应用，特别是缓控释肥料的施用，另外因地制宜地选用水溶性肥料、液体肥料、叶面肥、生物肥料、土壤调理剂等高效新型肥料；四是施肥手段的创新，如化肥机械深施（侧身施肥）技术，肥水耦合施肥技术等；五是信息化施肥技术，即利用测土配方施肥专家施肥系统和耕地地力评价数据库，将三“S”（RS、GIS、GPS）技术与其他多种数据（产量数据、病虫害、气候）相结合，创建高产、优质、环保为目的的变量施肥技术。化肥减量应用技术

是综合技术，在生产实际中，每一项化肥减量应用技术不是孤立的，而要根据生产需要进行综合运用。

限于本书编者的水平，对一些观点仅是比较粗糙的论述，仅供农业生产者和农技推广人员参考，不足之处，敬请谅解。化肥减量应用技术原理引用了有关论述，有些表格也引自一些已出版专著，在此一并致谢。

编者

2017年9月

目 录

第一章 肥料效应与作物需肥	1
第一节 肥料效应	1
第二节 作物营养吸收原理	11
第三节 化肥减量增效的实现依据	21
第二章 测土配方施肥与化肥减量增效	42
第一节 测土配方施肥技术的主要概念、依据	42
第二节 测土配方施肥技术的推广体系与方法	46
第三节 基于化肥减量增效的作物测土配方施肥技术	57
第三章 有机肥使用与化肥减量施用增效	64
第一节 主要有机肥的种类及使用技术	64
第二节 有机肥替代的方法与成效	107
第四章 施肥方式与化肥减量施用增效	123
第一节 肥水耦合技术的基本原理与主要特点	123

第二节	肥水耦合技术施肥体系的建立	125
第三节	肥水耦合技术的生产应用与成效	133
第四节	化肥深施与化肥减量增效	139
第五章	肥料种类与减量增效	147
第一节	配方肥施用与减量增效	147
第二节	缓控释肥施用与减量增效	152
第六章	信息系统在化肥减量增效中的应用	176
第一节	信息系统建设的意义	176
第二节	数据库建立	178
第三节	施肥模型筛选	186
第四节	测土配方施肥专家系统	188
主要参考文献		205

大的呢？一般新鲜植物中含有 75%~95% 的水分和 5%~25% 的干物质。将其烘干即得干物质，其中包括有机物和无机物。干物质经煅烧后，有机物中的碳、氢、氧、氮等元素以二氧化碳、水蒸气、分子态氮、氨和氮的氧化物形态散失，一部分硫煅烧成硫化氢及二氧化硫，因此，这些元素称为可挥发性元素。煅烧后剩下的固态残留物质便是灰分。灰分中的元素称为灰分元素，能被植物所利用的灰分元素，称为营养元素。灰分元素的成分很复杂，包括磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、铜 (Cu)、钼 (Mo)、硼 (B)、氯 (Cl)、硅 (Si)、钠 (Na)、硒 (Se)、铝 (Al) 等。人们通过反复研究发现，有 17 种元素是作物生长所必需的。其中，碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S) 9 种元素需要量大，可占植株干重的千分之几到百分之几，称为大 (中) 量元素；铁 (Fe)、硼 (B)、锰 (Mn)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钼 (Mo)、氯 (Cl)、镍 (Ni) 8 种元素需要量少，只占植物干重的千分之几到十万分之几，称为微量元素 (表 1-1)。这些必需营养元素，虽然在植株体内的含量有多有少，但各有其独特作用，彼此不能替代。

那么，作物生长发育过程中所需的养分从何而来呢？研究表明，作物需要的氢、氧主要来自水 (H_2O)，碳则来自空气中的二氧化碳 (CO_2)。氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、硼、锰、锌、铜、钼、氯、镍等元素一般可由土壤供给。然而，作物对氮、磷、钾需要量大，而土壤的供应量往往不能满足需要，通常要增施氮、磷、钾肥，所以，人们把氮、磷、钾元素称为“肥料三要素”。钙、镁、硫虽然也属于中量元素，但这 3 种元素在土壤中的含量较多，一般也能满足作物生长需要。当然，在缺少时也需施用。至于微量元素，由于作物对它们的需要量少，一般土壤中的含量已能满足要求。不过，随着作物高产、优质品种的种植和氮、磷、钾肥料用量的增加，作物微量元素缺素症也日益增多，如缺硼引起的油菜“花而不实”、萝卜的“黑心病”、芹菜的“茎裂病”、苹果的“缩果病”、柑橘的“石头果”、油橄榄的“多头病”、菊花的“扫帚病”、唐菖蒲的“叶焦病”等；缺铁引起玉米新叶失绿发白，梨树枝尖叶片脉间失绿出现“顶

枯”、桃树“白叶病”、苹果新梢顶端叶片黄白化，出现“梢枯”，栀子花、杜鹃幼叶失绿黄化等；缺锌引起水稻“倒缩病”、菠菜“黄化病”、苹果“小叶病”、柑橘“绿筋黄花病”等；缺铜引起小麦叶尖干卷及穗不实、花椰菜“开裂病”；缺锰引起小麦“褐线黄萎病”，美洲山核桃叶片形成“鼠耳”等。

表 1-1 16 种必需营养元素及其在植物体内较适合的浓度

营养元素	化学符号	植物利用形式	在干组织中的浓度		
			mg/kg	%	
微量元素	钼	Mo	MoO_4^{2-}	0.1	0.0001
	铜	Cu	Cu^{2+} 、 Cu^+	6	0.0006
	锌	Zn	Zn^{2+}	20	0.002
	硼	B	BO_3^{2-} 、 $\text{B}_4\text{O}_7^{2+}$	20	0.002
	锰	Mn	Mn^{2+}	50	0.005
	铁	Fe	Fe^{2+} 、 Fe^{3+}	100	0.01
	氯	Cl	Cl^-	100	0.01
大中量元素	硫	S	SO_4^{2-}	1000	0.1
	磷	P	H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-}	2000	0.2
	镁	Mg	Mg^{2+}	2000	0.2
	钙	Ca	Ca^{2+}	5000	0.5
	钾	K	K^+	10000	1.0
	氮	N	NO_3^- 、 NH_4^+	15000	1.5
	氢	H	H_2O	60000	6.0
	氧	O	O_2 、 H_2O	450000	45
	碳	C	CO_2	450000	45

(引自《肥料实用手册》2002)

植物体内必需营养元素的生理功能，可概括为两大类：一是构成植物体的物质成分，如 N、P、S、C、H、O 是组成植物体的主要成分；二是调节生命的代谢活动。例如，某些必需矿质元素是酶的辅基或活化剂。此外，还有维持细胞的渗透势，影响膜的透性，调

节原生质的胶体状态和膜的电荷平衡等作用。

每一种必需营养元素在植物生命活动中，不论数量多少都具有同等作用，对植物体各有其特殊的生理作用，不能被其他元素所代替。营养元素的这一性质我们称为必需营养元素的同等重要性和不可代替性。

二、植物营养与施肥

植物营养是指植物从外界环境中汲取其生长发育所需要的物质和能量，以构成其细胞组成成分和进行各种代谢，并用以维持其生命活动的过程。在农业生产中，由于土壤的养分不断被作物吸收，肥力会逐渐下降，施肥便成为提高作物产量的一个重要手段。植物营养是施肥的理论基础，合理施肥应按照植物营养的原理和作物营养特性，结合气候、土壤和栽培技术等因素综合考虑，从而找出合理施肥的理论及技术措施，以便指导生产、发展生产。

由于作物种类、器官和品种的差别及气候条件、土壤肥力、栽培技术等不同，都会影响作物体内营养元素的种类和含量。玉米叶片中含氮量 2% 左右，而茎含氮仅占 0.7%。盐土中生长的植物含有钠，酸性红壤中生长的植物含有铝。

高等植物在生长发育过程中，共有 16 种必需营养元素，它们属于植物营养的共性。虽然各种植物都需要以上各种营养元素，但不同植物或同一植物在不同的生育期所需要的养分也有差别，甚至有些植物还需特殊的养分，如水稻需要硅，豆科植物固氮时需钼，这些特性即植物营养的个性，或叫特殊性。

各种作物在生长过程中所需养分不同，块根、块茎植物需较多的钾，豆科作物根瘤菌可以固定大气中的氮素，故不需用氮或少施氮，但对磷、钾的需要较多。

各类作物不仅对养分的需要有差别，而且吸收能力也不同，如荞麦、油菜能很好地利用磷矿粉中的磷，玉米、马铃薯只有中等的利用能力，而小麦利用能力很弱。

同种作物其肥料用量常因品种而不同，各种不同的肥料形态，其肥效因植物种类不同存在差异。水稻在营养生长期适宜于 NH_4^+ 态

N，到生殖生长期则适宜于 NO_3^- 态 N。

1. 植物营养期

植物从种子萌发到种子形成的整个生长周期内，需经历许多不同的生长发育阶段。在这些阶段中，除前期种子营养阶段和后期根部停止吸收养分外，其他阶段都要通过根系从土壤中吸收养分。植物通过根系由土壤中吸收养分的整个时期，叫植物营养期。它包括着各个营养阶段。这些不同的阶段对营养条件，如营养元素的种类、数量和比例等，都有不同的要求。虽然植物的营养过程是在整个生活期中进行的，但是它从环境中吸收营养物质的时期并不是发生在整个生长期内。比如，植物在生长初期，养分的摄取来自于发芽的种子或根、茎，到了生长末期，许多植物都停止吸收养分，甚至还从根部排出养分。所以就时间而论，植物营养期与生长期并不一致。就早、晚稻而言，早稻生长期短，其营养期也较短；而晚稻生长期长，其营养期也较长，营养期短的早稻以基肥为主，并早施追肥；而晚稻则应提高追肥比例，分次施用。

在植物营养期间，对养分的要求有两个极其重要的时期，一是作物营养临界期，二是作物营养最大效率期。如能及时满足这两个重要时期对养分的要求，则能显著地提高作物产量。

2. 植物营养临界期和最大效率期

植物营养临界期是指营养元素过多或过少或营养元素间不平衡，对于植物生长发育起着明显不良的影响，并且由此造成的损失，即使在以后补施肥料也很难纠正和弥补。

一般来说，作物在生长发育时期，对外界环境条件较为敏感，此时如遇养分不足或过多，往往会有强烈的反应，这些反应表现在生长势上，严重时还会表现在产量上。

同一种植物，对不同营养来说，其临界期也不完全相同。大多数作物磷的临界期在幼苗期。小粒种子更为明显，因为种子中贮存的磷已近于用完，而此时根系很小，和土壤的接触面少，吸收能力也比较弱；从磷素养分在土壤中的转化特点来看，有效磷通带含量不高且移动性差，所以作物幼苗期需磷迫切。例如棉花磷的临界期在出苗后 10~20d，玉米在出苗后 7d 左右（三叶期）。幼苗期正是由

种子营养转向土壤营养的转折时期。用少量速效性磷肥作种肥常常能收到极其明显的效果。

作物氮的临界期则比磷稍后，通常在营养生长转向生殖生长的时期。例如冬小麦在分蘖和幼穗分化期，此时如缺氮则分蘖少，花数少，生长后期补施氮肥只能增加茎叶中氮素含量，对增加籽粒数和产量已不起太大作用。玉米若在幼穗分化期缺氮，表现穗小、花少，造成减产。

作物钾营养临界期问题，目前研究资料较少，因为钾在作物体内流动性大，再利用能力强，一般不易从形态上表现出来。据日本资料指出，正常生长含钾量须在 2.0% 以上。水稻缺钾在分蘖初期至幼穗形成期。分蘖期如茎秆含 K_2O 量在 1.5% 以下，分蘖缓慢；1.0% 以下则分蘖停止；幼穗形成期如 K_2O 在 1.0% 以下，则每穗粒数减少。

植物营养最大效率期是指植物需要养分的绝对数量和相对数量都大，吸收速度快，肥料的作用最大，增产效率最高的时期，它同植物临界期同是施肥的关键时期。植物营养最大效率期，大多是在生长中期。此时植物生长旺盛，从外部形态看，生长迅速，对施肥的反应最明显。例如玉米氮素最大效率期在喇叭口至抽雄初期，小麦在拔节至抽穗期，油菜在花期，即“菜浇花”。另外，各种营养元素的最大效率期也不一致。据报道，甘薯生长初期氮素营养效果较好，而在块根膨大时，则磷、钾营养的效果较好。

植物对养分的要求虽有其阶段性和关键时期，但还需注意植物吸收养分的连续性。任何一种植物，除了营养临界期和最大效率期外，在各个生育阶段中适当供给足够的养分也是必需的。忽视植物吸收养分的连续性，植物的生长和产量也会受到影响。因此，重视不同植物施肥的各个环节，才能为其丰产创造良好的营养条件，得到较高的产量。

3. 根系特性

根系是植物吸收水分和营养物质的重要器官。根在土壤中的分布是相当宽广的。据观测，播种 120d 后的黑麦植株的总根数达 1830 万条，总长度达 60 万 m，表面积为 273 万 cm^2 ，如果加上根毛

(约 40 亿条) 的面积, 根系总表面积约为地上部分的 130 倍。不同作物的根系和表面积差别很大, 因而其根际的范围相应也有较大的差异。作物根系的长度和表面积大小, 对养分有重要作用。另外, 根系的阳离子交换量、根系代谢特点和根际、根内微生物也与植物吸收营养密切相关。

(1) 根的阳离子交换量。植物根系阳离子交换量 (CEC) 的大小与根系吸收养分能力 (主要是被动吸收) 的强弱密切相关。一般来说, 根系阳离子交换量大的植物, 吸收土壤中阳离子总量也较多, 反之则较少 (表 1-2)。据试验, 植物根的阳离子交换量与根的细胞壁果胶的羧基含量有关。在不同土壤条件下, 各种植物根的 CEC 与植物地上部阳离子 ($\text{Ca}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+}$) 总量有高度呈正相关性, $r=+0.875$ 。以谷类作物研究, 根的 CEC 与根中总磷量也呈正相关性, $r=+0.70$, 均达到非常显著水平。

表 1-2 不同作物阳离子交换量与吸收力的关系

作物种类	根悬浊液的 pH	CEC (cmol/kg 干根)	吸收能力
豆科作物	3.2~3.5	>35	强
玉米、番茄、马铃薯	3.6~4.0	20~30	中等
麦类作物	>4.1	>20	弱

(引自《肥料实用手册》2002)

从表 1-2 中可以看出, 豆科作物阳离子交换量大, 吸收能力强, 麦类作物阳离子交换量小, 吸收能力弱; 而玉米、番茄、马铃薯的阳离子交换量介于其间, 吸收力中等。就同一作物来看, 根的不同部位阳离子交换量差别也很大。如豌豆根尖的阳离子交换量每 100g 干根可达 125mol, 比其根的阳离子交换量平均值高 1 倍以上。

根的阳离子交换量的大小还影响对土壤中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等多价离子的吸收。试验采用赤豆和小麦进行比较, 赤豆根的 CEC 较大, 每 100g 干根为 47.3mol, 小麦较小, 为 13.0mol。并于幼苗期测定 Ca、Mg、K 的吸收量, 赤豆不仅吸收阳离子总量较高, 而且吸收二价离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 也明显的多。但每单位根的 CEC 吸收的 ($\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$)

量,两种作物大体相同。这表明 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的吸收量与根的 CEC 有极高的依赖关系。而根对 K^{+} 吸收的影响,相对比较微弱,这是由于 K^{+} 的吸收受温度的影响较大,即 K^{+} 的吸收受代谢作用的影响较大。而 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收则与被动吸收密切相关。

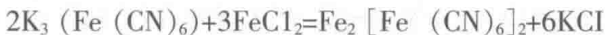
作物吸钙的能力是指作物能吸收难溶性磷酸盐中磷的能力。根的 CEC 较大的作物,对难溶性磷酸盐具有较大的吸收亲和力。因为它对钙的结合能力较大,故能利用难溶性磷酸盐中的磷。有不少试验研究根的阳离子交换量与吸收磷矿粉中钙和磷的能力,并根据植株中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 的比率来衡量这一能力。苏联曾试验用 32 种植物进行研究,结果表明,植株中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 的比率一般在 1.3~8.0 范围内。而在 1.3~4.0 的植物,具有利用磷矿粉中难溶性磷的能力,并把 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5 > 1.3$ 作为难溶性磷的生理指标之一。中国科学院南京土壤研究所进行了类似的试验,结果指出,植株地上部分 CaO 和 P_2O_5 含量与根的 CEC 的次序大致相符。凡是利用磷灰石粉较强的作物, $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}$ 大多较高,在 0.31~0.81 之间相当于 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5 : 1.2\sim 3.2$; 利用磷灰石粉较弱的作物,则 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}$ 较低 (0.13~0.14)。各种作物对磷灰石的相对感应的递减次序为:萝卜>大豆>豇豆>荞麦>小白菜>番茄>燕麦>紫苜蓿>菠菜>大麦>黑麦草。

另有试验报道,甘蔗不同品种根的 CEC 与产量有关,虽然根的阳离子交换量与作物吸收养料的强弱甚至产量有关,但作物吸收养料还是以主动吸收为主。合理施肥固然要考虑到根的特征,更重要的还是以作物为主,因为它能反映作物整个植株的生长情况,当然也包括根在内。

(2) 植物根系代谢作用。植物根系活力是指根系的整个新陈代谢情况,包括根系的呼吸作用、氧化力、酶活性、阳离子交换量等。在植物个体发育过程中,随着其生长发育,根系生长由幼嫩、健壮,直至衰老,它的代谢也由弱变强直至衰退。从植物根代谢特点来看,氧化力是衡量根系活力的重要标志。例如,水稻生长在缺氧的土壤上,尽管土壤中含有大量亚铁离子、有机酸,甚至还有硫化氢等有害的还原物质,对水稻根的有氧呼吸和养分的吸收有不同程度的抑制,然而水稻主要靠茎、叶通气组织自大气中输入氧气,尤其是水

稻根中还有一条“乙醇酸途径”，可产生过氧化氢，在过氧化氢酶的作用下，可以产生氧，增加了水稻根部产生氧化力的一条特殊代谢途径。生产实践可看出，凡是栽培过水稻的土壤，其根系附近都有赤褐色的网状锈斑，这就是稻根所产生的氧化力在根群周围形成的一层氧化圈。尽管水稻土中含氧量低，但由于上述因素可使其根系进行正常的有氧呼吸和生长。

作物根部不仅有氧化力，也有还原力。大豆某些品种根的还原力很强。据国外报道，将大豆的两个品种 PL 和 HA 生长在同一石灰性土壤中，HA 生长正常，而 PL 不久叶片发生缺绿症，生长很差。用放射性 ^{55}Fe 作溶液培养试验，证明 HA 根吸收铁的能力很强，即使土壤中铁浓度很低，也能吸收利用，正常生长，而 PL 的根吸铁能力很差。测定两者根的还原力时，将根培养在铁氰化钾和氯化高铁的溶液中，还原力强的根可将氯化高铁还原为亚铁，然后与铁氰化钾起反应生成蓝色的铁氰化亚铁。



HA 品种根的还原力强，在 6h 后根毛就被染成蓝色，8h 后，溶液也能变成蓝色。

水稻在开花期，能将 NO_3^- 还原为 NO_2^- ，这是由于水稻根可适应形成硝酸还原酶，将硝酸盐还原为亚硝酸盐的结果。

根系代谢作用还与养料吸收关系密切。许多试验证明，根系代谢对氮、磷、钾的吸收各有不同的途径，但都与呼吸作用有关。如根内形成的各种有机酸，都是氨的受体，可以形成各种氨基酸，通过转氨基作用，又转为各种不同氨基酸，最后合成蛋白质。根部呼吸作用与磷酸化作用相耦联，吸收无机磷，形成三磷酸腺苷 (ATP)。钾的吸收通过试验证明，它与根中核糖核酸的消长有一定关系。当溶液中加入少量 EDTA 时，不仅抑制了核糖核酸的形成，而且抑制了钾的吸收。可见植物根部代谢与氮磷钾的吸收密切相关。

(3) 根际与根内微生物与作物营养的关系。各种作物在生长期间，根系常产生多种分泌物。由于作物种类不同，生长时期不同，代谢方式不同，所以根系分泌物的种类和数量也有所差异。根系分泌物有两类，一类是有机化合物，另一类是无机化合物，且以前者