

挖掘生物高效利用土壤养分潜力

保持土壤环境良性循环

李振声 朱兆良 章 申 张福锁 米国华 等著



中 国 农 业 大 学 出 版 社

挖掘生物高效利用土壤养分潜力

保持土壤环境良性循环

李振声 朱兆良 章 申 张福锁 米国华 等著

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

挖掘生物高效利用土壤养分潜力 保持土壤环境良性循环/李振声,朱兆良,章 申,张福锁,米国华等著. —北京:中国农业大学出版社,2004.9

ISBN 7-81066-794-7/S·591

I. 挖… II. ①李… ②朱… ③章… ④张… ⑤米… III. 作物-利用-土壤有效养分-研究 IV. S158.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第053708号

书 名 挖掘生物高效利用土壤养分潜力 保持土壤环境良性循环

作 者 李振声 朱兆良 章 申 张福锁 米国华 等著

策划编辑 张苏明

责任编辑 郑 丽

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100094

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail caup @ public.bta.net.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

规 格 787×1 092 16开本 27.25印张 674千字

印 数 1~1 550

定 价 38.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

内 容 简 介

本书是在国家自然科学基金九五重大项目“挖掘生物高效利用土壤养分潜力,保持土壤环境良性循环”(编号39790100)研究工作的基础上撰写而成的。全书以土壤-作物-大气体系中氮、磷元素的循环为主题,以协调作物高产与环境保护间矛盾为主要目标,重点阐明生物(作物与微生物)高效利用土壤氮、磷养分的遗传学潜力及其生理机制,分析水田及旱地土壤中氮磷的转化规律、向大气和水体的损失途径及其阻控措施。本书由上、下两篇组成,上篇共7章,论述了生物高效利用磷的遗传学、生理学及磷的生物地球化学行为等;下篇共9章,论述了土壤氮素的转化途径、向大气和水体的迁移及作物高效利用氮素的生理学基础等。《挖掘生物高效利用土壤养分潜力 保持土壤环境良性循环》一书力求体现遗传学、土壤学、植物营养学及环境科学的交叉,可供相关领域研究人员、教师及研究生参考。

前言

在世界范围内,土壤养分缺乏是影响作物产量的重要限制因子之一。化肥工业的发展及化肥的应用无疑对提高作物产量、解决世界粮食问题起到了决定性的作用。目前我国化肥产量和用量均居世界首位,而生产量只能满足国内70%的需求,每年仅化肥进口就要花费数十亿美元。然而,我国化肥利用率偏低,每年施用的大量化肥有很大的比例或以各种途径损失或迁移至环境中,或累积于土壤中。这不仅使农民的经济收益下降,而且也对环境产生明显的不良影响(温室气体、水体富营养化等)。据统计,我国每年氮肥的损失率相当于2 000 t 尿素,价值4 000多亿元人民币。氮、磷肥在土壤中的累积量也相当惊人,施入农田的磷肥,一季作物的利用率一般在20%以下,其余均累积于土壤中,土壤本身已成为一个巨大的潜在磷库。如何高效利用土壤中累积的养分,同时减少养分向大气及水体环境中的损失,从而达到土壤—作物—大气体系中氮、磷的良性循环,已成为协调作物高产与环境保护间矛盾的一个重要课题。

为此,国家自然科学基金委于1997年将“挖掘生物高效利用土壤养分潜力,保持土壤环境良性循环”列为“九五”期间的重大项目(编号39790100),该项目由中国科学院遗传与发育生物学研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国科学院生态与环境研究中心及中国农业大学资源与环境学院共同承担,通过遗传学、土壤学、植物营养学与环境科学的协作研究,重点阐明生物(作物与微生物)高效利用土壤氮、磷养分的遗传学潜力及其生理机制,分析水田及早地土壤中氮、磷的转化规律、向大气和水体的损失途径及其阻控措施。通过4年的不懈努力,该项目在很多方面取得了重要的进展,在养分高效利用特性遗传学方面,筛选出许多磷高效、氮高效小麦及氮高效玉米种质,进行了小麦磷高效基因的染色体定位,在小麦及水稻中获得了与磷高效相关的QTLs,分离了部分磷酸盐转运蛋白基因,选育出磷高效小麦品种小偃54并在生产中推广应用。在养分高效利用生理学方面,初步阐明了小麦磷高效的生理学机制以及菌根高效活化磷的生物学原理。在养分循环方面,揭示了华北地区潮土中氮的主要去向,定量评价了稻田土壤中硝化-反硝化不同机制的氮素损失,估算了我国陆地氮通量。阐明了土壤中积累态磷的形态转化及其生物有效性;证明旱作农田中80%以上的磷通过颗粒态流失;在施肥的水稻田和草地中60%~90%的磷通过溶解态流失。在世界上首次观测到稻田磷化氢的释放。项目共发表论文139篇,获国家专利1项,培养博士后13名、博士生40名、硕士生15名,与英国、德国、澳大利亚等国家开展了合作研究,举办了9次国内学术会议,5次国际学术会议。

为了充分展示该项目研究工作的进展,促进相关领域的学术交流,推动作物养分高效利用研究的进一步深入,我们组织项目组主要参加人员编写了《挖掘生物高效利用土壤养分潜力 保持土壤环境良性循环》专著,本书由上下两篇组成,上篇共7章,论述了生物高效利用磷的遗传学、生理学及磷的生物地球化学行为等;下篇共9章,论述了土壤氮素的转化途径、向大气和水体的迁移及作物高效利用氮素的生理学基础等。

全书力求体现遗传学、土壤学、植物营养学及环境科学的交叉,反映过去几年中相关领域研究的最新进展,但也正因为如此,在内容的科学性、逻辑性及编排上难免会出现这样或那样的问题,敬请读者给予批评指正。

编者特别感谢西北农林科技大学李生秀教授、华南农业大学严小龙教授详细审阅和修改了有关章节,并提出了许多宝贵修改意见。

感谢国家自然科学基金委生命、地学、化学3个学部及有关领导与部门给予的大力支持和帮助。

李振声

2004年9月1日

目 录

上 篇

第一章	小麦磷效率的基因型差异及其生理基础·····	(3)
第二章	小麦磷高效遗传与育种·····	(33)
第三章	土壤中积累态磷的化学行为及生物有效性·····	(59)
第四章	菌根际磷的生物活化机理·····	(71)
第五章	土壤-植物体系中磷的循环及高效利用途径 ·····	(101)
第六章	农田磷向水体迁移机理及影响因素·····	(126)
第七章	农田土壤中磷向大气和水体迁移机理及阻控对策·····	(168)

下 篇

第八章	作物吸收利用氮素的生物学潜力及遗传改良·····	(201)
第九章	土壤中有机氮的稳定性机理和生物有效性·····	(217)
第十章	华北平原冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素转化及去向 ·····	(250)
第十一章	北方旱作农田生态系统中化肥氮的气态损失·····	(293)
第十二章	稻田土壤中化肥氮的气态损失及对策·····	(315)
第十三章	旱作农田氮素向水体的迁移及其阻控对策·····	(344)
第十四章	水旱轮作地区水体氮的污染及对策·····	(377)
第十五章	旱地 N_2O 的排放及减缓对策 ·····	(389)
第十六章	水旱轮作地区稻田 N_2O 排放及减缓对策 ·····	(409)

上 篇

第一章 小麦磷效率的基因型差异及其生理基础

李继云 童依平 刘全友 孙建华 王庆仁

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

张锡梅 魏其克 李滨 姚树江 于桂琴 刘建中 李振声

(中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京 100101)

邹春琴

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

磷是植物生长发育所必需的营养元素, 缺磷可导致农作物产量明显降低。而我国多数土壤缺磷, 加之磷肥资源短缺, 磷肥易被土壤固定, 利用率低。土壤全磷含量虽然较高, 但多以难溶态存在于土壤中, 难以被农作物吸收利用。因此如何提高农作物吸收利用土壤难溶态磷的能力, 是挖掘土壤潜在肥力值得研究的课题, 小麦是我国主要粮食作物之一, 其主产区多为石灰性土壤, 土壤缺磷是限制小麦获得高产的一个重要因素。通过在低磷胁迫下, 对不同磷营养特性的小麦种质进行鉴定筛选, 力图筛选出能有效活化、吸收利用土壤潜在磷的“磷高效”种质, 满足机理研究和育种工作的需要, 或在生产中推广应用, 这对挖掘生物高效利用土壤磷素营养潜力, 保持土壤环境良性循环, 促进小麦持续增产具有重要意义和经济价值。

1 小麦高效利用土壤磷种质的筛选

1.1 鉴定筛选方法

据中国农业科学院作物种质资源研究所1993年的报道, 该所收集和保存的小麦种质资源共有30 466份(卢新雄和崔联淑, 1993)。要从大量的小麦种质资源库中筛选出一定数量的“磷高效”种质, 满足小麦营养育种工作需要, 首先必须建立行之有效的鉴定筛选方法。

小麦种质磷营养特性的鉴定筛选方法主要有液培法、砂培法、土培法和大田法。其中大田法是鉴定小麦有效利用土壤磷营养特性的最直接而可靠的方法。但大田试验周期长, 同时土壤肥力与含水量等因子有时较难控制均匀一致; 而且降水量及气温等气候因素的季节性和年度间的波动变化都会对鉴定准确性产生影响。因此在进行大田鉴定筛选过程中, 开展了土培法与液培法鉴定筛选研究。结果表明, 土培试验植株的地上部干物量相对值与大田试验籽粒产量相对值呈高度正相关, 可用于对大量小麦种质资源的耐低磷特性的快速鉴定与筛选。这是因为土培法供试土样采于大田, 具有接近于大田土壤, 且比大田试验具有环境条件易控制、影响小、试验周期短等特点, 是进行小麦“磷高效”基因型快速鉴定筛选的较好方法。液培试验采用与土培试验相同的品种, 分别以可溶性低磷、植酸和磷酸三钙进行的单一磷源的试验, 虽然小麦基因型间表现出不同差异, 但其差异只能反映对单一磷源吸收与转换效率, 而与同样小麦品种进行的土培试验鉴定结果均不一致, 对供试品种活化与利用土壤磷的特性做出准确鉴定。这是因为

土壤复杂体系中多种形态的磷源组成及磷在土壤中的化学行为,远比液培或砂培试验中单一磷源的环境更为复杂。

总之,大田试验是用于不同小麦种质对土壤磷活化、吸收与利用效率的最直接而可靠的鉴定筛选方法。土培试验是用于大量小麦种质耐低磷营养特性快速鉴定的较好方法(邢宏燕, 2000)。不施磷与施磷处理的有效磷含量分别为每千克土壤6~8 mg、20~24 mg 是筛选磷高效与磷低效品种的土壤适宜含磷量。

该项研究建立了大田筛选体系,即三步法筛选程序。现分述如下:

第一步是农艺性状鉴定筛选。小麦种质农艺性状鉴定筛选,是进行磷利用效率微区鉴定前的种质准备。1993—1999年由全国各地共搜集小麦种质2 187份,在N、P、K等营养正常供应条件下进行种植,并进行了抗寒性、抗病性、株高、熟期与熟相、产量等观察与综合评定。根据综合评定结果,淘汰抗寒性差、抗病性差、严重倒伏、过分晚熟和不抗干热风,使磷营养特性不能充分表达的小麦种质材料,每年从中选出100份左右较好的材料,供第二步在微区进行磷利用效率的鉴定筛选。

第二步是微区磷效率鉴定筛选。设施磷(+P)与不施磷(-P)2个处理。采用小区设置,重复3次。小区长0.8 m,宽0.5 m,每小区种2行,粒距3 cm,人工开沟点播。对不同施肥处理各小麦品种(系)进行不同时期观察,分蘖动态调查;成熟过程对成熟期、抗病性和株高等主要农艺性状进行田间综合鉴评和选择。最后对选出的品种(系)全部带根拔回,进行室内考种和产量统计分析。

第三步是小区试验磷效率鉴定。对在第二步微区试验中鉴定出的磷低效和磷高效品种(系)再进行小区试验验证。小区面积为4 m×1.6 m,设低磷和高磷2个处理,3~4次重复。根据各品种(系)在低、高磷条件下的生物学产量、籽粒产量和吸收、利用磷效率鉴定其磷效率。

1.2 磷效率的筛选指标

籽粒产量是评价不同小麦种质对土壤磷营养有效吸收利用效率的重要指标。同一品种在(-P)处理比(+P)处理籽粒产量的百分数,能较好地反映出不同小麦品种对土壤缺磷胁迫的反应度。本研究将(-P)比(+P)处理籽粒产量减少百分数小于或等于15%的种质定为“磷高效”类型,减产大于15%至低于30%的种质定为“磷中效”类型,减产大于30%的种质定为“磷低效”类型(表1)。

表1 不同小麦品种(系)籽粒产量及磷效率与丰产性比较

磷效率 类型	序 号	品种(系)	不同磷效率品种的产量分级			丰产性比较(%)	
			+P	-P	-P比+P	+P	-P
			(kg/667 m ²)				
高效	1	951561	463.4	425.4	8.20	100.00	91.80
	2	951165-1166	439.0	403.3	8.13	94.73	87.03
	3	90-S4063	422.8	403.9	4.47	91.24	87.16
	4	烟中84139	396.6	342.2	13.72	85.58	73.85
	5	转229-4B2-3	390.9	340.5	12.89	84.35	73.48
	6	951109-1110	369.3	351.4	4.85	79.69	75.83

续表 1

磷效率 类型	序 号	品 种 (系)	不同磷效率品种的产量分级			丰产性比较(%)	
			+P	-P	-P 比+P	+P	-P
			(kg/667 m ²)		减产(%)		
中效	7	烟 7951-25 ₁	352.6	341.1	3.26	76.09	73.61
	8	951312-1315	337.2	312.9	7.21	72.77	67.52
	9	烟 7951-25 ₂	331.4	320.7	3.23	71.51	69.21
	10	951235-1236	320.4	288.9	9.83	69.14	62.34
	11	950821-825	273.2	233.7	14.46	58.96	50.43
		平均值	372.4	342.2	8.20	80.37	73.80
		最大值	463.4	425.4	14.46	100.00	91.80
		最小值	273.2	233.7	3.23	58.96	50.43
		+P 与 -P 产量之相关	0.965**				
	12	平 34-1	461.1	369.0	19.97	99.50	79.63
	13	951537-1538	443.4	342.6	22.73	95.68	73.93
	14	京冬 6 号	400.9	322.3	19.61	86.51	69.55
	15	山东大穗×N 早	395.6	308.7	21.97	85.37	66.62
	16	951556	382.8	321.0	16.14	82.61	69.27
	17	8017-2	306.9	260.8	15.02	66.23	56.28
		平均值	398.5	320.7	19.24	85.98	69.21
		最大值	461.1	369.0	22.73	99.50	79.63
		最小值	306.9	260.8	15.02	66.23	56.28
		+P 与 -P 产量之相关	0.975**				
低效	18	京 411	438.4	306.4	30.11	94.61	66.12
	19	大白翎	423.9	285.9	32.55	91.48	61.70
	20	1558-1559	422.1	275.4	34.75	91.09	59.43
	21	950801	407.3	271.4	33.37	87.89	58.57
	22	951423	378	230.2	39.10	81.57	49.68
	23	951101-1102	357.5	196.5	45.03	77.15	42.40
		平均值	404.5	261.0	35.82	87.30	56.32
		最大值	438.4	306.4	45.03	94.61	66.12
		最小值	357.5	196.5	30.11	77.15	42.40
		+P 与 -P 产量之相关	0.991**				
		总平均	387.6	315.4	18.63	83.64	68.06

注：* * $p < 0.01$, 丰产性是以 +P 与 -P 的籽粒产量与 +P 的最高产量的比值表示。

1.3 不同磷效率种质的丰产性

首先,以表 1 施磷(+P)处理中籽粒产量最高的 951561 品系的产量为对照(100%),将筛选出的其他品种(系)按对照减产程度划为高、中、低 3 个层次进行丰产性比较。籽粒产量为对照的 85% 为高产品种,为对照 85% 以下至 70% 的为中产品种,产量为对照 70% 以下的为低产品种。

1.4 不同施磷条件下的不同磷效率类型小麦植株性状比较

将不同施磷条件下不同品种的植株性状及同相应籽粒产量相关性分析列于表 2。

表2 不同磷效率类型品种(系)植株性状比较

磷效率 类型	项目	株高(cm)				单株根数(条)				单株穗数(个)			
		+P	-P	+P与-P相比 (%)	+P (cm)	+P	-P	+P与-P相比 (%)	+P (条)	+P与-P相比 (%)	+P	-P	+P与-P相比 (%)
高效	最小值	69.6	67.0	0.4	0.5	38.6	30.4	1.3	3.1	2.9	2.9	0.0	0.0
	最大值	90.4	87.3	5.3	6.6	59.3	47.1	23.3	39.3	5.2	4.2	1.4	29.2
	平均值	79.8	76.5	3.2	4.1	48.1	39.8	8.3	16.4	4.0	3.4	0.6	13.7
	标准差	6.3	6.4	1.4	1.8	7.0	5.3	6.5	11.2	0.7	0.4	0.4	9.3
中效	最小值	61.4	60.2	1.1	1.3	34.4	25.6	2.4	4.6	3.1	2.2	0.7	13.2
	最大值	86.8	85.7	5.6	7.9	52.8	49.4	14.8	30.9	5.3	4.6	1.3	29.0
	平均值	71.3	68.3	3.1	4.3	46.2	36.7	9.5	20.7	4.3	3.3	1.0	24.4
	标准差	9.5	9.5	2.0	2.7	6.9	7.8	4.9	9.8	0.9	0.9	0.2	5.9
低效	最小值	69.8	67.1	2.7	3.9	40.3	27.6	10.8	18.9	3.4	2.4	0.8	23.5
	最大值	80.6	75.9	7.6	9.5	57.1	46.3	18.7	36.8	5.3	3.2	2.2	41.5
	平均值	76.2	71.2	5.0	6.5	48.2	33.6	14.6	30.6	4.4	2.9	1.5	33.7
	标准差	4.5	3.4	1.6	1.9	5.7	6.8	3.0	6.8	0.8	0.3	0.5	6.5
总计	平均值	76.6	73.0	3.6	4.8	47.6	37.4	10.2	21.2	4.2	3.2	0.9	21.7
	标准差	7.5	7.4	1.8	2.3	6.4	6.6	5.8	11.2	0.7	0.6	0.6	11.4
与籽粒产量的相关性*		-0.039	0.269	0.340	0.405	0.253	0.398	0.472*	0.517*	0.133	0.421*	0.734**	0.803**

续表 2

磷效率 类型	项目	单穗粒重(g)				千粒重(g)				10株茎秆重(g)			
		+P	-P	+P与-P相比 (cm)	(%)	+P	-P	+P与-P相比 (条)	(%)	+P	-P	+P与-P相比 (个)	(%)
高效	最小值	1.10	1.33	-0.29	-20.78	41.00	38.92	-3.19	-7.56	110.94	101.97	-45.64	-41.14
	最大值	2.35	2.42	0.17	8.14	55.94	53.30	4.90	9.77	199.30	185.61	40.36	23.31
	平均值	1.84	1.94	-0.11	-7.12	47.81	45.88	1.93	3.84	151.98	143.45	8.54	4.36
	标准差	0.39	0.34	0.16	9.76	4.63	3.83	2.15	4.57	28.01	26.74	23.89	17.84
中效	最小值	1.40	1.35	-0.22	-12.16	43.82	40.26	-1.44	-2.55	119.90	104.15	15.75	11.61
	最大值	2.50	2.72	0.05	3.40	56.52	57.96	4.83	10.71	186.13	160.51	53.98	29.00
	平均值	1.86	1.99	-0.13	-6.74	48.93	47.23	1.71	3.77	159.50	127.86	31.65	19.35
	标准差	0.37	0.45	0.11	5.83	5.20	6.96	2.43	5.20	24.59	18.61	15.73	7.79
低效	最小值	1.33	1.19	-0.24	-15.31	39.56	35.24	0.36	0.79	144.80	86.15	46.81	28.10
	最大值	2.32	2.22	0.30	12.87	51.03	48.26	6.74	13.21	187.70	132.79	63.20	40.50
	平均值	1.85	1.80	0.05	2.59	45.78	43.12	2.66	5.83	165.46	110.13	55.34	33.72
	标准差	0.38	0.38	0.20	11.18	3.95	4.50	2.57	5.42	17.91	18.10	6.67	5.19
总计	平均值	1.85	1.92	-0.07	-4.49	47.57	45.51	2.06	4.34	157.46	130.69	26.77	15.93
	标准差	0.37	0.37	0.17	9.89	4.56	4.97	2.25	5.42	24.51	26.02	26.85	17.92
与籽粒产量的相关性		0.479*	0.524*	0.376	0.415*	0.092	0.320	0.087	0.183	0.782**	0.863**	0.785**	0.771**

a 为所有23个品种(系)+P、-P处理的数值及其差值分别与+P、-P处理的籽粒产量及其差值的相关性。* $p<0.05$, ** $p<0.01$ 。

a 为所有23个品种(系)+P、-P处理的数值及其差值分别与+P、-P处理的籽粒产量及其差值的相关性。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ 。

株高:不同磷效率品种(系)(-P)较(+P)处理均有所降低。其中“磷高效”、“磷中效”和“磷低效”株高平均值分别减少 3.2 cm(4.1%)、3.1 cm(4.3%)、5 cm(6.5%)。减少百分率随磷效率由高至低而增大。减少最大值、最小值也呈同一变化趋势。株高与籽粒产量相关性, (+P)处理为负相关, 相关系数为-0.039, 相关性不显著; (-P)处理为正相关, 相关系数为0.269, 相关性虽较前者有所增大, 但未达到显著水平。(+P)与(-P)处理株高绝对值和相对值与籽粒产量相关程度均有所增加, 但均未达到显著水平。

单株根数:其平均值“磷高效”、“磷中效”和“磷低效”品种在(-P)处理中分别为 39.8, 36.7, 33.6 条/株, 随着磷效率由高至低而减少。(+P)和(-P)处理根数与籽粒产量呈正相关, 相关系数分别为0.253, 0.398, 均未达到显著水平。(+P)和(-P)处理根数绝对量差值和相对量与籽粒产量相关系数分别为0.472, 0.517, 均达显著水平。

单株穗数:不同磷效率类型品种, (-P)较(+P)处理单株穗数均有所下降, 并随磷效率由高至低呈增大变化。(+P)与(-P)处理平均差值, 磷效率由高至低分别为0.6 穗/株(13.7%)、1 穗/株(24.4%)和1.5 穗/株(33.7%)。与籽粒产量相关性, (+P)处理为0.133, 相关性不显著; (-P)处理为0.421, 相关性达显著水平。(+P)与(-P)处理绝对量差值和相对量差值与籽粒产量相关系数分别为0.734 和0.803, 均达极显著水平。

单穗粒重:不同磷效率类型品种在(+P)与(-P)处理中, 平均穗粒重与籽粒产量均呈正相关, 并达显著水平。(+P)与(-P)处理相对量差值与籽粒产量也呈正相关, 并达显著水平。

千粒重:不同磷效率品种在(+P)与(-P)处理中以及其绝对量差值和相对量差值, 与籽粒产量均呈正相关, 但差异均不显著。

茎秆干物重:不同磷效率类型品种, 在(+P)与(-P)处理中, 茎秆干物重与籽粒量相关密切, 均达极显著水平; 两处理绝对量和相对量差值与籽粒产量相关程度均很高, 也达极显著水平。

上述结果表明, 株高、单株根数、单株穗数、千粒重和茎秆干重, (-P)较(+P)处理均呈降低变化; 与籽粒产量相关性, (-P)较(+P)处理均有所增大。其中(-P)处理单株穗数和(+P)、(-P)处理单穗粒重与籽粒产量均达显著水平。(+P)和(-P)处理茎秆干重及其绝对量差值和相对量差值与籽粒产量相关性均呈极显著正相关。这就说明, 在土壤磷胁迫环境下, 单株分蘖多少及成穗率高低、单穗粒重和茎秆生物量高低是小麦种质磷效率及丰产性的关键性因素。而在供磷条件下, 小麦品种的丰产性仅与穗粒重和茎秆生物量密切相关。

1997—2000 年的 4 年中, 有 427 个小麦种质经微区鉴定, 共筛选出 48 个“磷高效”材料, 经过鉴别, 淘汰了籽粒品质很差、饱满度较差的种质后大都转入小区试验进一步筛选和进行机理研究。

1.5 磷效率及丰产性的小区鉴定

在对不同磷营养特性小麦品种田间微区鉴定基础上, 将筛选出的新材料, 加上前期已鉴定出的磷高效材料, 进行多次重复的小区试验, 鉴定筛选出“磷高效”小麦种质, 以供直接推广应用、机理研究和磷高效营养育种的需要。

为了更多地利用种质资源, 将磷高效的标准放宽, 不施磷处理产量达到施磷处理产量的 85% 以上的即为“磷高效”类型。按此标准评价, 1997—2000 年的 4 年小区试验中, 对 500 多个小麦品种进行磷效率鉴定, 从中筛选出“磷高效”小麦品种 37 个。其中包括小偃 54、冀 87-4617、81(85)-5-3-3-3、京冬 5227、京核 90 鉴 17、小偃 6 号、文良 5 号、烟中 144、京核 1 号、太核 5025、

90-6060、冀麦17、洛夫林10号、京核90 鉴31、代108、秦麦1号、6154、90203、东风701、CA9425、8602、京 9428、951165-1166、京 东 6 号、951561、951556、91876、9204-2-8-40、951312-1315、90-S4063、烟中84139、平34-1、转229-4132-3、京东8号、冀96-6027、京单92-2097、95(5)125。同时,筛选出产量在(+P)处理中能获最高产量的高产品种烟中144、6154、京411、京核90 鉴17、8602等。同时鉴定筛选出了“磷低效”类型种质80-55、京411、中国春等,为进行有关机理研究提供了典型材料。

2 根系生理活性与磷效率的关系

磷的吸收与植物根系特性密切相关,如根系的形态及其长度、密度、总量、根毛的数量、根系的主轴数量与长度。根系的吸收表面积及活跃吸收面积等(Randall,1994)。此外根系分泌物在磷的吸收中亦起着关键作用,包括有机酸、氨基酸、酚类以及酸性磷酸酶等,这些有机物质具有 对植物有效吸收磷的作用,如增加柠檬酸到土壤中可以活化P、Fe,草酸对磷酸盐的络合较其他元素更高,而磷酸酶可加强土壤中磷的移动而增加对植物的吸收(Rengel,2000)。总之,上述一些有关根系的特性已从不同植物的研究中证实,这为鉴定与筛选有效吸收利用土壤难溶态磷的植物种或同一物种的不同基因型提供了重要依据。研究发现,在低磷土壤可获高产的小麦品种,其根系能分泌较多的有机酸,从而可降低碱性土壤的pH 值以活化土壤磷而供植物吸收(李继云等,1995)。在6 个小麦品种进行盆栽试验中,发现不同品种在+P 与 -P 处理的根系总吸收面积及活跃吸收面积均分别与植株的分蘖数,叶片数及干物量呈正相关(表3)。在 -P 处理的相关性均达到显著水平。这显示出在低磷胁迫下,“磷高效”较“磷低效”品种根系总吸收面积及活跃吸收面积大,能供给植株吸收较多养分以增加分蘖、叶片数与干物量(图1)。说明根系的这两种吸收面积可以作为选择“磷高效”品种的生理特性指标。

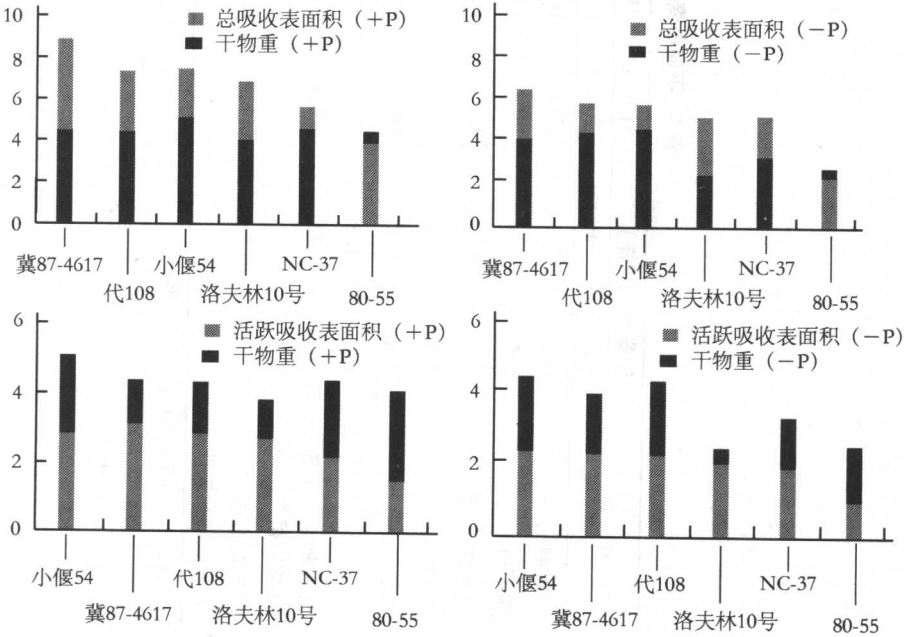


图1 根系总吸收及活跃吸收表面积(m²/株)与地上部干物重(g/株)的关系

表3 不同小麦品种根系生理活性与地上部生长发育的相关性

品 种	分蘖数(个/株)		叶片数(片/株)		干物质(g/株)		根系总吸收面积(m ² /盆)		根系活跃吸收面积(m ² /盆)	
	+P	-P	+P	-P	+P	-P	+P	-P	+P	-P
小偃54	7.5	7.1	17.1	16.6	5.00	4.40	7.21	5.47	2.79	2.23
冀87-4617	5.2	4.4	11.7	10.7	4.30	3.90	8.81	6.31	3.03	2.14
洛夫林10号	5.3	4.3	14.5	13.0	3.70	2.20	6.63	4.90	2.60	1.85
代108	4.1	3.7	13.4	12.4	4.20	4.20	7.12	5.55	2.72	2.01
NC-37	5.8	5.0	15.1	13.9	4.30	3.10	5.38	4.88	2.07	1.70
80-55	1.6	1.2	5.0	4.1	4.00	2.30	3.78	1.70	1.22	0.62
总吸收面积与各 性状的相关性(r)	0.593	0.731	0.542	0.768	0.313	+0.685				
活跃吸收面积与 各性状的相关性	0.709	0.832	0.712	0.860	0.333	0.714				

注: $r_{0.05} = 0.706$ $r_{0.01} = 0.834$ $3, n = 6$.