



CIMMYT®

# 生理学

## 在小麦育种中的应用

Application of Physiology in Wheat Breeding

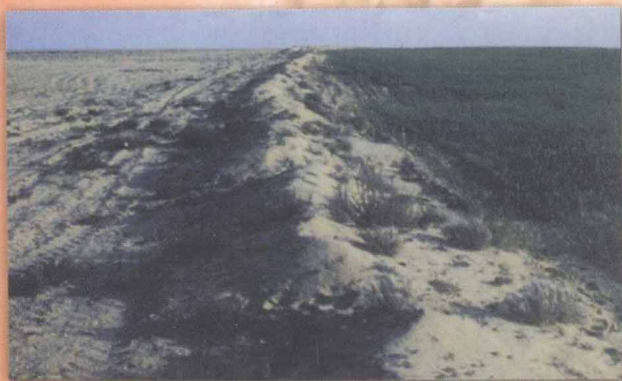


〔英国〕 M. P. 雷诺兹

〔墨西哥〕 J. I. 奥尔蒂斯-莫纳斯特里奥 著

〔洪都拉斯〕 A. 麦克纳布

景蕊莲 等 译



科学出版社

# 生理学在小麦育种中的应用

[英国]M. P. 雷诺兹 [墨西哥]J. I. 奥尔蒂斯-莫纳斯特里奥  
[洪都拉斯]A. 麦克纳布 著

景蕊莲等 译

科学出版社

北 京

图字:01-2011-5265 号

## 内 容 简 介

本书系统介绍植物生理学在小麦育种中的应用。全书分为三个部分,第一部分是生理育种总论,概括介绍育种实践中的生理学研究方向,探寻具增产潜力相关生理性状遗传资源的方法、生理性状的遗传基础、产量相关生理性状的筛选方法及小麦生理学经济效益的评估方法等;第二部分是抗逆育种,讲述抗旱、耐盐、耐寒、耐热、耐涝及耐穗发芽育种的相关生理理论和技术;第三部分是营养高效育种,阐述作物的耐酸性,锌、氮、磷和微量营养元素高效利用的遗传改良理论和技术,及其相关的根系遗传多样性检测理论与技术。指出了植物生理学应用于小麦育种的潜力,以及实际工作中应注意的问题。

本书具有很强的理论性和实用性,适合作物种质资源、作物遗传育种、作物生理科技工作者,以及大专院校师生阅读和参考。

Application of Physiology in Wheat Breeding, by Reynolds M P, Ortiz-Monasterio J I, McNab A

Copyright 2001 by CIMMYT

Chinese Translation Edition Copyright 2013 Science Press

All Rights Reserved

Authorized translation from English language edition published by CIMMYT

## 图书在版编目(CIP)数据

生理学在小麦育种中的应用/[英]雷诺兹(Reynolds, M. P.)等著;景蕊莲等译. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-035922-3

I. ①生… II. ①雷… ②景… III. ①植物生理学-应用-小麦-作物育种-研究 IV. ①S512.103

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 257841 号

责任编辑:矫天扬 孙 青 王海光 / 责任校对:包志虹  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张:22 1/2 插页:4

字数:504 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 译者名单

(按编写章节顺序排序)

|     |         |                  |
|-----|---------|------------------|
| 刘 丹 | 中国农业科学院 | 序、第 3 章          |
| 史慎奎 | 中国农业科学院 | 导论               |
| 孙黛珍 | 山西农业大学  | 第 1、第 17 章       |
| 肖永贵 | 中国农业科学院 | 第 2 章            |
| 史雨刚 | 山西农业大学  | 第 4 章            |
| 李 昂 | 中国农业科学院 | 第 5、第 6 章        |
| 张跃强 | 新疆农业科学院 | 第 7、第 8、第 10 章   |
| 王 重 | 新疆农业科学院 | 第 8 章            |
| 李 强 | 河北农业科学院 | 第 9、第 13 章       |
| 张宏芝 | 新疆农业科学院 | 第 10 章           |
| 杨红梅 | 新疆农业科学院 | 第 10 章           |
| 乔文臣 | 河北农业科学院 | 第 11、第 12 章      |
| 逯腊虎 | 山西农业科学院 | 第 14、第 18 章      |
| 毛新国 | 中国农业科学院 | 第 15、第 16、第 19 章 |

## 译者的话

将植物生理学研究成果应用于作物育种,提高育种工作效率,这是育种家和生理学家的共同愿望。本书汇聚了植物光合、抗逆和营养高效生理学领域众多专家的工作经验和研究成果,指出了植物生理学在小麦育种上的应用潜力和应用途径。原书自2001年出版以来,受到相关研究领域广大专家学者的高度关注,2009~2010年原书是国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)点击和下载次数最高的刊物,曾被译成俄文出版发行。我们在实际工作中体会到原书的内容理论联系实际,同时指出在将生理学理论与技术应用于育种实践中需要规避的问题,为高效利用生理学知识进行小麦研究和育种工作提供了良好的指导。因此,我们决定翻译这本书,与我国的同行们共享。

我们翻译该书的愿望得到了原书主编 M. P. Reynolds 博士和 CIMMYT 信息部主任 M. Listman 博士的大力支持。本书的出版得到科学出版社的大力帮助,受国际农业磋商组织挑战计划项目(CGIAR GCP)、国家“863”计划、“973”计划项目资助。我们对此表示诚挚的谢意。

本书的前言、第3章由刘丹译,导论由史慎奎译,第1、17章由孙黛珍译,第2章由肖永贵译,第4章由史雨刚译,第5、6章由李昂译,第7章由张跃强译,第8章由王重、张跃强译,第9、13章由李强译,第10章由张宏芝、杨红梅、张跃强译,第11、12章由乔文臣译,第14、18章由逯腊虎译,第15、16、19章由毛新国译。景蕊莲、祁葆滋对全书进行审校。李昂、昌小平对修改稿进行了文字整理。

由于我们水平有限,书中不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

译校者

2012年2月于北京

## 序

我们很欣赏《生理学在小麦育种中的应用》对实践的指导,本书把盐害、干旱、冷害、涝害、微量营养元素以及其他主要领域众多专家的工作经验汇聚在一个体系中。

植物育种家对植物的生理进程了解得越透彻,就越能够高效地利用相关的生理机制来提高作物的性能。当小麦育种工作者的生理知识得以拓展时,他们就可以从生理过程中鉴定出目标性状并作为指标进行直接选择,这将比单独选择产量更快、更高效。

然而,我们对于植物如何适应环境方面的认识依然存在缺陷,这要求我们进一步开展生理研究。确实地,对作物生理更完全地了解将是高效应用新技术的先决条件,如遗传转化、功能基因组学以及分子标记辅助选择育种。

育成品种是大田水平下提高作物产量的重要催化剂,但诸多的生物与非生物胁迫严重影响作物产量。然而,为了使育成品种的产量遗传潜力得以充分表达,科学家还必须注意对作物的栽培管理。如果没有充足的土壤肥力、合适的种植方法、有效的杂草和害虫防治以及高效的水分管理,那么就不可能获得遗传改良的全部经济效益。

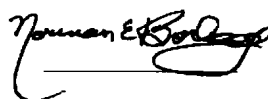
本书提供了简要的理论上的解释,但是主要焦点是实际的程序能否被育种家方便地应用。关于生理学用于小麦育种的经济效益问题,以及发掘遗传多样性提高产量的研究,都将使育种工作者得益于充分利用现有的方法和资源,进一步提高工作效率。在生理性状的遗传学基础章节中提出这样的观点,即虽然田间试验必不可少,但是与分子数据的适当结合可以更有效地利用有限的资源。

本书是全体作者集体智慧的结晶,在此我们感谢他们的慷慨贡献,感谢他们与我们分享丰富的研究成果。通过本书,他们的专业知识技能将被世界各地的育种工作者获得,尤其是在这个新兴领域信息匮乏的发展中国家的育种工作者。



桑杰雅 拉加拉姆

国际玉米小麦改良中心小麦项目主任



诺尔曼 布劳格

国际玉米小麦改良中心高级顾问

# 目 录

译者的话  
序

## 生理育种总论

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 导论 生理学在小麦育种中的应用          | 3  |
| 0.1 评估生理指标在辅助育种策略上的应用潜力  | 4  |
| 0.1.1 育种的艺术、科学与经验        | 4  |
| 0.1.2 应用生理性状的理论基础        | 4  |
| 0.1.3 建立生理性状的遗传基础        | 4  |
| 0.2 将生理指标整合进育种策略的标准程序    | 6  |
| 0.2.1 阶段1:鉴定产量相关性状       | 6  |
| 0.2.2 阶段2:评价性状的遗传力及选择响应  | 10 |
| 0.3 结论                   | 14 |
| 参考文献                     | 14 |
| 1 从育种前景看生理学研究方向          | 15 |
| 1.1 应用生理学于植物育种           | 15 |
| 1.1.1 对产量限制因素的理解         | 15 |
| 1.1.2 选择试验所需环境条件的确定      | 17 |
| 1.1.3 把生理性状作为产量选择的间接标准   | 18 |
| 1.1.4 应用生理学理解确定基因导入目标    | 20 |
| 1.2 结论                   | 20 |
| 参考文献                     | 21 |
| 2 探寻具增产潜力相关生理性状的遗传资源     | 22 |
| 2.1 遗传资源                 | 22 |
| 2.2 新遗传变异的探索             | 29 |
| 2.2.1 加强繁种圃的使用           | 29 |
| 2.2.2 增强抗病圃或“特殊性状”圃的使用   | 32 |
| 2.2.3 利用分子技术手段鉴定有用的遗传变异  | 32 |
| 2.2.4 如何使用已鉴定的性状         | 32 |
| 2.2.5 未来遗传资源的利用          | 34 |
| 2.2.6 提高灌溉区小麦产量潜力的相关性状   | 35 |
| 2.2.7 提高逆境条件下小麦产量潜力的相关性状 | 36 |
| 2.3 结论                   | 36 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 参考文献 .....                     | 37 |
| <b>3 生理性状的遗传基础</b> .....       | 40 |
| 3.1 染色体组 .....                 | 40 |
| 3.1.1 DNA 分子 .....             | 41 |
| 3.1.2 基因和染色体 .....             | 41 |
| 3.1.3 小麦基因组 .....              | 42 |
| 3.2 DNA 标记 .....               | 42 |
| 3.2.1 RFLP .....               | 43 |
| 3.2.2 以聚合酶链反应为基础的标记 .....      | 43 |
| 3.2.3 DNA 标记的用途 .....          | 46 |
| 3.2.4 基因组学 .....               | 47 |
| 3.3 分子标记在植物育种中的应用 .....        | 48 |
| 3.3.1 指纹图谱 .....               | 48 |
| 3.3.2 目标性状的基因作图 .....          | 48 |
| 3.3.3 标记辅助选择 .....             | 60 |
| 参考文献 .....                     | 62 |
| <b>4 育种试验的田间管理</b> .....       | 67 |
| 4.1 试验地的选择 .....               | 67 |
| 4.2 轮作的影响 .....                | 68 |
| 4.3 试验圃的准备 .....               | 69 |
| 4.4 播种方法 .....                 | 69 |
| 4.5 统计的方法与考虑 .....             | 70 |
| 4.5.1 格子设计 .....               | 70 |
| 4.5.2 空间设计 .....               | 70 |
| 4.6 施肥 .....                   | 71 |
| 4.7 灌溉 .....                   | 71 |
| 4.8 作物保护 .....                 | 71 |
| 4.9 倒伏 .....                   | 72 |
| 4.10 收获和取样 .....               | 73 |
| 4.11 计算产量和产量构成因素 .....         | 73 |
| 4.12 倒伏作物生物量的取样 .....          | 74 |
| 4.13 在田间测量单个产量构成因素 .....       | 74 |
| 4.13.1 植株群体 .....              | 74 |
| 4.13.2 穗数/m <sup>2</sup> ..... | 75 |
| 4.13.3 每穗小穗数 .....             | 75 |
| 4.13.4 每小穗粒数 .....             | 75 |
| 4.13.5 结实率 .....               | 76 |
| 4.13.6 成熟期和灌浆期的千粒重 .....       | 76 |



|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 4.13.7 籽粒数( $\text{m}^2$ ) .....         | 76  |
| 4.14 估产与测产 .....                         | 77  |
| 4.14.1 目测估产 .....                        | 77  |
| 4.14.2 根据产量构成因素估产 .....                  | 77  |
| 4.14.3 利用样本估产 .....                      | 78  |
| 4.14.4 产量中的含水量 .....                     | 78  |
| 4.15 估计收获后的作物残留物 .....                   | 78  |
| 4.15.1 直接测量 .....                        | 78  |
| 4.15.2 用线样法估算收获后作物残留物百分率 .....           | 79  |
| 4.15.3 辅助数据 .....                        | 79  |
| 参考文献 .....                               | 81  |
| <b>5 决定产量的生理性状的新近筛选方法</b> .....          | 82  |
| 5.1 鉴定作为筛选标准的生理性状 .....                  | 82  |
| 5.2 碳同位素分辨率 .....                        | 83  |
| 5.2.1 $\Delta$ 和水分利用效率的关系 .....          | 84  |
| 5.2.2 方法学方面的考虑 .....                     | 85  |
| 5.2.3 在植物育种中的含义 .....                    | 85  |
| 5.2.4 $\Delta$ 替代品 .....                 | 88  |
| 5.2.5 营养体中的矿物质含量 .....                   | 88  |
| 5.2.6 成熟籽粒的矿物质含量可作为 $\Delta$ 的补充标准 ..... | 91  |
| 5.2.7 叶片结构标准 .....                       | 92  |
| 5.3 光谱反射法 .....                          | 93  |
| 5.3.1 光谱反射指数 .....                       | 94  |
| 5.3.2 应用示例 .....                         | 94  |
| 5.3.3 测量技术 .....                         | 95  |
| 5.4 冠层反射指标的使用 .....                      | 98  |
| 5.4.1 使用植被指数评价冠层的光合作用规模 .....            | 98  |
| 5.4.2 对色素的遥感 .....                       | 99  |
| 5.4.3 以 PRI 评价辐射利用效率 .....               | 101 |
| 5.4.4 直接评价植物水分状态 .....                   | 102 |
| 参考文献 .....                               | 103 |
| <b>6 评价小麦育种项目中生理学作用的一些经济学问题</b> .....    | 108 |
| 6.1 分析小麦育种项目的可能变更 .....                  | 108 |
| 6.1.1 最好是通过育种提出问题吗? .....                | 108 |
| 6.1.2 给予育种项目多大规模的投入是合适的? .....           | 109 |
| 6.1.3 采用何种育种策略可能是最有效的? .....             | 109 |
| 6.1.4 可以向农户发布新品种的前提是什么? .....            | 110 |
| 6.2 与投资分析有关的重要经济学概念 .....                | 111 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 6.2.1 经济学评价的基础知识 .....     | 111 |
| 6.2.2 经济学分析方法 .....        | 113 |
| 6.3 评价将生理学用于育种项目的必要性 ..... | 114 |
| 6.3.1 估算现有育种项目的成本与收益 ..... | 114 |
| 6.3.2 估算项目的边缘成本与边缘收益 ..... | 115 |
| 6.3.3 分析预期的成本与收益资金流 .....  | 117 |
| 6.3.4 项目价值的计算方法 .....      | 117 |
| 6.3.5 非经济学方面的因素 .....      | 118 |
| 6.4 结论 .....               | 118 |
| 参考文献 .....                 | 119 |

## 抗 逆 育 种

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7 改善干旱环境下的产量性状 .....          | 123 |
| 7.1 干旱的范围与性质 .....            | 123 |
| 7.2 干旱是干旱环境下决定产量的首要因素吗? ..... | 124 |
| 7.3 水分胁迫环境下的高产育种 .....        | 125 |
| 7.3.1 性状鉴定 .....              | 126 |
| 7.3.2 $F_2$ 代选择 .....         | 127 |
| 7.4 水分利用 .....                | 127 |
| 7.4.1 水分利用效率 .....            | 128 |
| 7.4.2 减少土壤水分蒸发 .....          | 128 |
| 7.4.3 改善定植状态 .....            | 130 |
| 7.4.4 幼苗活力 .....              | 131 |
| 7.4.5 较高蒸腾效率 .....            | 132 |
| 7.4.6 碳同位素分辨率 .....           | 133 |
| 7.5 收获指数 .....                | 135 |
| 7.5.1 与干旱无关的收获指数 .....        | 136 |
| 7.5.2 与干旱相关的收获指数 .....        | 136 |
| 7.6 结束语 .....                 | 138 |
| 参考文献 .....                    | 138 |
| 8 耐盐性 .....                   | 140 |
| 8.1 盐渍土的分布 .....              | 140 |
| 8.2 盐渍土壤的分类 .....             | 141 |
| 8.3 盐碱度对植物的影响 .....           | 142 |
| 8.3.1 形态影响 .....              | 142 |
| 8.3.2 生理效应 .....              | 142 |
| 8.3.3 生化效应 .....              | 143 |
| 8.4 耐盐机制 .....                | 144 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 8.4.1 对盐分摄入的控制 .....                 | 144 |
| 8.4.2 降低离子过度摄入造成的损伤 .....            | 144 |
| 8.4.3 渗透调节 .....                     | 144 |
| 8.5 耐盐育种策略 .....                     | 145 |
| 8.5.1 耐盐性的遗传多样性 .....                | 145 |
| 8.5.2 耐盐性的筛选 .....                   | 145 |
| 8.5.3 田间和小区的研究 .....                 | 145 |
| 8.5.4 温室和实验室方法 .....                 | 146 |
| 8.5.5 生化技术 .....                     | 147 |
| 8.6 耐盐育种程序 .....                     | 147 |
| 8.7 提高育种效率 .....                     | 148 |
| 8.7.1 小麦远缘杂交 .....                   | 148 |
| 8.7.2 组织培养 .....                     | 149 |
| 8.7.3 数量性状位点途径 .....                 | 149 |
| 8.7.4 小麦×玉米双单倍体 .....                | 149 |
| 8.8 结论 .....                         | 150 |
| 参考文献 .....                           | 150 |
| 9 耐寒性 .....                          | 154 |
| 9.1 越冬死亡的胁迫因子 .....                  | 155 |
| 9.2 与小麦耐寒性相关的性状 .....                | 158 |
| 9.3 育种方法 .....                       | 159 |
| 9.4 方法和技术 .....                      | 160 |
| 9.4.1 田间鉴定 .....                     | 160 |
| 9.4.2 提高田间冬季胁迫 .....                 | 161 |
| 9.4.3 人工模拟逆境鉴定 .....                 | 161 |
| 9.4.4 直接冷冻试验 .....                   | 162 |
| 9.4.5 间接抗寒性测验 .....                  | 167 |
| 9.5 结论 .....                         | 168 |
| 参考文献 .....                           | 168 |
| 10 耐热性 .....                         | 172 |
| 10.1 CIMMYT 与 NARS 在耐高温方面的合作研究 ..... | 173 |
| 10.2 高温胁迫相关的生理性状 .....               | 174 |
| 10.3 耐热生理育种 .....                    | 176 |
| 10.3.1 冠层温差 .....                    | 177 |
| 10.3.2 气孔导度 .....                    | 181 |
| 10.3.3 质膜的热稳定性 .....                 | 183 |
| 10.4 耐热性状的遗传多样性 .....                | 184 |
| 10.5 减轻热胁迫影响的农艺对策 .....              | 185 |

|           |                       |     |
|-----------|-----------------------|-----|
| 10.6      | 结论                    | 186 |
|           | 参考文献                  | 186 |
| <b>11</b> | <b>耐涝性</b>            | 188 |
| 11.1      | 与渍涝相关的条件和症状           | 189 |
| 11.2      | 涝害对土壤化学的影响            | 190 |
| 11.3      | 耐涝性的遗传改良              | 191 |
| 11.4      | 减少涝害的农艺措施             | 194 |
| 11.5      | 孟加拉国小麦耐涝性筛选           | 195 |
| 11.6      | 结论                    | 197 |
|           | 参考文献                  | 198 |
| <b>12</b> | <b>穗发芽耐性</b>          | 202 |
| 12.1      | 穗发芽的危害范围              | 202 |
| 12.2      | 穗发芽造成的损失              | 203 |
| 12.3      | 穗发芽耐性机制               | 203 |
| 12.4      | 鉴定方法和生理工具             | 204 |
| 12.5      | 结论                    | 205 |
|           | 参考文献                  | 205 |
| <b>13</b> | <b>改善产量潜力的性状选择</b>    | 207 |
| 13.1      | 环境和产量潜力               | 207 |
| 13.2      | 基因型和产量潜力              | 208 |
| 13.2.1    | 作物物候学                 | 208 |
| 13.2.2    | 生理活动                  | 210 |
| 13.2.3    | 形态学性状                 | 211 |
| 13.3      | 有希望的高产潜力选择性状          | 212 |
| 13.4      | 性状描述和筛选方法             | 213 |
| 13.4.1    | 收获指数                  | 213 |
| 13.4.2    | 开花期的物质分配              | 214 |
| 13.4.3    | 叶片活性性状                | 214 |
| 13.4.4    | 测量叶片活性性状的仪器           | 215 |
| 13.4.5    | 株高                    | 217 |
| 13.4.6    | 叶片角度                  | 217 |
| 13.4.7    | 叶片大小                  | 217 |
| 13.5      | 结论                    | 218 |
|           | 参考文献                  | 218 |
| <b>14</b> | <b>通过调控发育改善小麦的适应性</b> | 222 |
| 14.1      | 小麦的适应性                | 222 |
| 14.1.1    | 春小麦类型                 | 222 |
| 14.1.2    | 冬小麦类型                 | 223 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 14.1.3 地中海小麦类型 .....           | 223 |
| 14.2 小麦对不同环境的适应 .....          | 223 |
| 14.2.1 环境信号 .....              | 223 |
| 14.2.2 对环境因素的反应 .....          | 225 |
| 14.2.3 哪个阶段对每个因素都敏感? .....     | 226 |
| 14.2.4 影响生理反应的基因 .....         | 230 |
| 14.2.5 改善适应性 .....             | 231 |
| 14.2.6 关键物候期的鉴定 .....          | 232 |
| 14.3 利用阶段发育(理论)进一步提高产量潜力 ..... | 233 |
| 参考文献 .....                     | 234 |

## 营养高效育种

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 15 酸性土壤和铝毒性 .....           | 241 |
| 15.1 全球酸性土壤面积 .....         | 241 |
| 15.2 土壤酸性的化学 .....          | 242 |
| 15.2.1 酸性土壤的形成 .....        | 242 |
| 15.2.2 中和土壤酸性 .....         | 243 |
| 15.3 导致酸性土壤贫瘠的因素 .....      | 243 |
| 15.4 植物的耐铝性机制 .....         | 244 |
| 15.5 耐铝性的遗传机制 .....         | 244 |
| 15.5.1 小麦耐铝机制的遗传基础 .....    | 245 |
| 15.5.2 黑麦耐铝机制的遗传基础 .....    | 245 |
| 15.5.3 小黑麦的耐铝遗传机制 .....     | 246 |
| 15.5.4 大麦耐铝的遗传机制 .....      | 246 |
| 15.6 提高作物耐铝性的遗传资源 .....     | 246 |
| 15.7 筛选耐铝性的策略 .....         | 247 |
| 15.7.1 营养液培养 .....          | 247 |
| 15.7.2 苏木精染色法 .....         | 247 |
| 15.7.3 根生长法 .....           | 249 |
| 15.7.4 苏木精染色法和根生长法的比较 ..... | 249 |
| 15.7.5 细胞和组织培养 .....        | 251 |
| 15.7.6 土壤生物测定 .....         | 251 |
| 15.7.7 田间评价 .....           | 251 |
| 15.8 小结 .....               | 251 |
| 参考文献 .....                  | 252 |
| 16 锌效率的基因型变异 .....          | 255 |
| 16.1 缺锌土壤的分布 .....          | 255 |
| 16.2 导致植物缺锌的土壤和气候因素 .....   | 256 |

|         |                |     |
|---------|----------------|-----|
| 16.3    | 通过土壤分析预测缺锌     | 257 |
| 16.4    | 改善缺锌的方法        | 257 |
| 16.4.1  | 土壤施锌           | 257 |
| 16.4.2  | 叶面施锌           | 258 |
| 16.4.3  | 播种含锌量高的种子      | 259 |
| 16.5    | 锌的细胞学功能        | 259 |
| 16.6    | 缺锌的诊断          | 260 |
| 16.6.1  | 缺锌症状           | 260 |
| 16.6.2  | 植物的锌临界浓度       | 262 |
| 16.7    | 锌高效基因型筛选       | 262 |
| 16.7.1  | 叶片症状           | 263 |
| 16.7.2  | 苗和根的生长         | 263 |
| 16.7.3  | 锌吸收的基因型差异      | 264 |
| 16.7.4  | 根茎之间锌的运转       | 264 |
| 16.7.5  | 组织中锌的浓度        | 264 |
| 16.7.6  | 根形态特征          | 265 |
| 16.7.7  | 锌吸收的膜效应        | 265 |
| 16.7.8  | 植物铁载体          | 265 |
| 16.7.9  | 内在利用           | 268 |
| 16.7.10 | 盆栽和田间筛选应当考虑的事项 | 268 |
| 16.8    | 普通小麦锌高效的遗传     | 269 |
| 16.9    | 植酸和锌的生物可利用性    | 273 |
| 16.10   | 结论             | 273 |
|         | 参考文献           | 274 |
| 17      | 氮和磷利用效率        | 281 |
| 17.1    | 氮              | 282 |
| 17.1.1  | 氮吸收与氮利用效率      | 283 |
| 17.1.2  | 提高氮肥利用效率的策略    | 284 |
| 17.2    | 磷              | 285 |
| 17.2.1  | 磷吸收与利用效率       | 286 |
| 17.2.2  | 提高磷利用效率的策略     | 287 |
| 17.3    | 养分吸收效率的计算      | 288 |
| 17.4    | 养分利用效率的计算      | 288 |
| 17.5    | 结论             | 289 |
|         | 参考文献           | 289 |
| 18      | 测量根系遗传多样性的技术   | 292 |
| 18.1    | 根系研究范围         | 292 |
| 18.2    | 小麦根系形态学        | 292 |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 18.3   | 根系性状的遗传力及遗传多样性           | 294 |
| 18.4   | 根性状对小麦生长的影响              | 294 |
| 18.4.1 | 养分利用效率                   | 295 |
| 18.4.2 | 耐旱性                      | 296 |
| 18.5   | 根参数及其检测方法                | 297 |
| 18.5.1 | 测量根系分布的描述性方法             | 297 |
| 18.5.2 | 定量方法                     | 300 |
| 18.5.3 | 使用容器和网袋的研究               | 305 |
| 18.5.4 | 在营养液中的根系研究               | 305 |
| 18.6   | 结论                       | 305 |
|        | 参考文献                     | 306 |
| 19     | 微量营养元素                   | 310 |
| 19.1   | 养分利用效率的定义                | 310 |
| 19.2   | 育种项目实例                   | 311 |
| 19.3   | 种子高营养元素储量                | 313 |
| 19.4   | 籽粒的矿物质品质                 | 313 |
| 19.5   | 微量养分性状的遗传学               | 314 |
| 19.5.1 | 铜效率                      | 314 |
| 19.5.2 | 锌效率                      | 315 |
| 19.5.3 | 锰效率                      | 317 |
| 19.5.4 | 硼效率与毒性耐性                 | 318 |
| 19.6   | 筛选技术                     | 319 |
| 19.6.1 | 田间检测                     | 319 |
| 19.6.2 | 在控制环境下的筛选                | 324 |
| 19.6.3 | 微量营养元素高效筛选中种子质量的重要性      | 326 |
| 19.7   | 育种家的方法                   | 328 |
| 19.7.1 | 早代筛选                     | 330 |
| 19.7.2 | 高代筛选                     | 330 |
| 19.8   | 使用分子标记筛选微量营养元素高效基因型      | 331 |
| 19.8.1 | 分子标记简化了微量营养元素高效基因型筛选     | 331 |
| 19.8.2 | 加倍单倍体在微量营养元素高效利用品种筛选中的作用 | 332 |
| 19.8.3 | 用于阐明分子标记的加倍单倍体           | 334 |
| 19.9   | 结论                       | 334 |
|        | 参考文献                     | 334 |

# 生理育种总论



