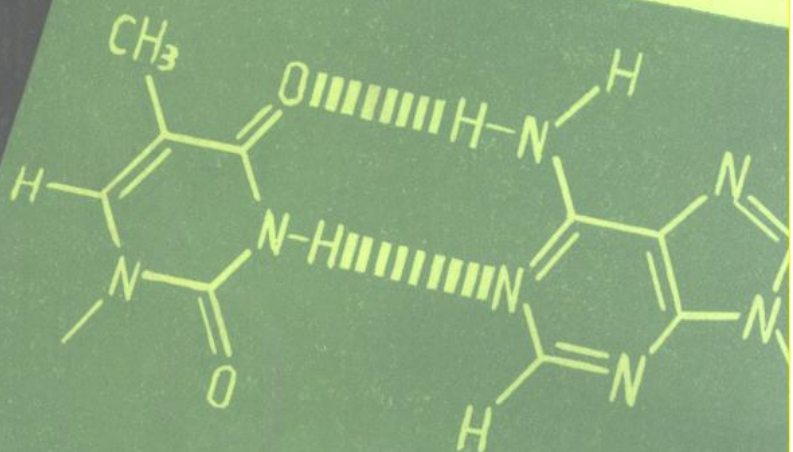


小麦

生理学和分子生物学

赵微平 编著



北京农业大学出版社

小麦生理学和分子生物学

赵微平编著

北京农业大学出版社

(京)第164号

图书在版编目(CIP)数据

小麦生理学和分子生物学/赵微平编著.-北京:

北京农业大学出版社,1993.7

ISBN 7-81002-517-1

I. 小…

II. 赵…

III. ①小麦-生理学②小麦-分子生物学

IV. S512.1

北京农业大学出版社出版

(北京市海淀区圆明园西路2号)

北京工业大学印刷厂印刷

新华书店经销

1993年8月第1版

1993年8月第1次印刷

开本:787×1092毫米 1/16

印张:10.5

字数:250千字

印数:0~2000册

定价 10.00元

序

作物生理学是作物栽培、育种和生产管理的重要理论基础。80年代以来,世界小麦单位面积产量有大幅度提高,品质和抗病性均有很大改善。这与这些领域研究的进展是分不开的。因此,随着小麦生产向高产和优质方向发展,需要对小麦生物学问题作更进一步深入的研究。

北京地区处于我国北方冬麦区边缘。在严酷的生态条件下,小麦亩产之所以能稳产迈入400-500公斤水平,从理论上来说,也是在实践中逐渐加深了对小麦生物学认识的结果。在栽培上由水肥合理运筹发展到控制株形和器官长势无一不与生物学有关。在育种工作上建立的硝酸还原酶活力水平,光合生产率,无机营养吸收和利用效率,地面光谱遥测等理化指标有效地提高了品种鉴定的效率和精度。通过小麦生物学的具体运用,使小麦科研生产工作由经验型逐步向生理指标型的发展,还得不断深入和普及,这是高产水平下进一步提高的必然规律。

赵微平教授多年来是北京市政府小麦生产科技专业顾问组成员,70年代以来在小麦营养生理和测土施肥方面作了大量工作,取得了很好的效果。他本身也致力于植物分子生物学研究。近年来在其本身科研和参与生产工作的基础上,收集和整理了国内外小麦生理学、生物化学和分子生物学方面的重要研究成果,围绕小麦生长发育过程和生产上的关键问题,写成了这本专著,它将有利于加强我国小麦科研和生产的理论基础。对其他作物也会有举一反三之效,是广大农业高等院校师生和农业科技工作者重要的学习参考资料。

宋秉彝

1993年5月

前 言

小麦是世界上人类获得热量和蛋白质的主要食物来源,它的蛋白质比其它谷类作物,如水稻和玉米都高,所以是人类赖以生存的主要粮食作物。在世界粮食生产中,小麦的总产量居首位。在我国,从黑龙江到云南,从东部沿海到西部高原,凡降水在300-1140毫米的广大地区均能很好的生长。在300毫米降水以下的干旱地区,只要有灌溉条件,也能很好的生长,而且还能获得较高的产量。冬小麦可忍受-20℃的低温,在2℃以上条件还能进行光合作用,因此在光能全年的利用上,与其它作物相较,有无可比拟的优势,是适应性最广的一种作物。

作物的产量主要是通过其整个生活周期的生长发育和光合作用而最后形成的,因此要想获得高额稳定的产量必需对其生理过程有充分地认识和了解。这便是作物生理学,生物化学和分子生物学的研究任务。近年来,作为一门学科,作物生物学已逐步形成。国际上,也有了作物生理学文摘(Crop Physiology Abstracts)。但是专门写小麦生理学的书尚不多见。小麦生物化学和分子生物学的专著更属罕见。小麦具有一般植物的生理学共性,但也有自己的特殊性,如小麦胚乳中的贮存蛋白既复杂又营养丰富,小麦茎秆内果聚糖的生成和利用,小麦的耐低温和怕高温,小麦的春化现象和光周期反应较明显以及小麦核基因组来源于三个染色体组,在需肥和需水规律方面也与其它作物不同,等等。所以目前国内外关于小麦的研究工作特别多,涉及的研究范围也极广,不但是生理学的,而且也包括生态生理,生物化学,细胞和分子生物学方面的研究。这些工作彼此渗透,交相互映,推动着小麦科学的研究进展。

另外,从发展小麦生产的角度,从不断提高栽培水平来看,研究小麦生理学对进一步提高光合生产率,发挥各种基因表现型的增产潜力以及经济合理施肥和节水灌溉等都能够提供相应的理论基础,达到合理化栽培的目的。

本书力求在作者个人研究和对文献综述的基础上,对小麦生理学,生物化学和分子生物学80年代以来最新的研究进展作些介绍。就书的内容来看,对那些长期从事小麦生产和栽培研究的技术人员以及正在农业大学学习的研究生们是极有参考价值的。但由于时间关系和作者水平限制,书中也难免有挂一漏万的地方,这一点尚请广大读者批评指正。书稿完成后,北京市农科院前院长宋秉彝研究员曾提出过不少宝贵意见,北京农业大学娄成后教授和科学出版社黄宗甄先生审阅过部分书稿,北京市通县人民政府和农业局对本书出版给予支持和资助,北京市农业局也大力支持,特此一并致谢。

赵微平

1993年6月

本书所涉及的计量单位和符号:

kg 千克 = 10^3 g
g 克
mg 毫克 = 10^{-3} g
 μ g 微克 = 10^{-6} g
ng 纳克 = 10^{-9} g
pg 皮克 = 10^{-12} g

m 米
dm 分米 = 10^{-1} m
cm 厘米 = 10^{-2} m
mm 毫米 = 10^{-3} m
 μ m 微米 = 10^{-6} m
nm 纳米 = 10^{-9} m

l 升
ml 毫升 = 10^{-3} l
 μ l 微升 = 10^{-6} l
nl 纳升 = 10^{-9} l

mol 摩尔
mmol 毫摩尔 = 10^{-3} mol
 μ mol 微摩尔 = 10^{-6} mol

Da 道尔顿 (质量单位, 等于一氧原子质量的1/16)
kDa 千道尔顿

bp 碱对
kbp 或 kb 千碱对

S 沉降系数单位 (等于 10^{-13} 厘米/秒)

cpm 计数/分

MPa 兆帕 (压力单位, $1\text{Pa}=1\text{牛顿/米}^2 = 0.99 \times 10^{-5}$ 大气压)

目 录

前 言

1.	种子及其萌发	1
1.1.	籽粒的形态结构.....	1
1.2.	小麦籽粒的贮存物.....	2
1.2.1.	淀粉.....	2
1.2.2.	蛋白质.....	4
1.2.3.	脂类.....	7
1.2.4.	维生素.....	7
1.3.	核酸和先存的酶.....	8
1.3.1.	核酸.....	8
1.3.2.	酶.....	9
1.4.	种子萌发.....	10
1.4.1.	小麦种子的休眠.....	10
1.4.2.	种子活力.....	11
1.4.3.	种子大小与成苗.....	11
1.4.4.	影响萌发的环境条件.....	12
1.5.	胚生长时物质的变化.....	14
1.5.1.	胚细胞蛋白质合成.....	14
1.5.2.	贮存蛋白的水解.....	15
1.5.3.	淀粉的降解.....	16
1.5.4.	脂肪的水解.....	16
1.6.	种子的寿命和贮藏.....	16
2.	呼吸作用和物质能量转换.....	18
2.1.	糖酵解.....	18
2.2.	线粒体和生物氧化.....	19
2.2.1.	三羧酸循环.....	19
2.2.2.	氧化磷酸化.....	20
2.3.	呼吸速率及其变化.....	21
3.	光合作用与物质生产.....	23
3.1.	光合器官.....	23
3.1.1.	叶.....	23
3.1.2.	叶绿体.....	25
3.2.	光合的主要过程.....	28
3.2.1.	光合磷酸化.....	28
3.2.2.	光合碳还原循环.....	32
3.2.3.	核酮糖双磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco).....	32

3.2.4.	光呼吸.....	34
3.3.	光合产物和分配.....	35
3.3.1.	光合产物输出和膜传递体.....	36
3.3.2.	蔗糖的合成.....	36
3.3.3.	果聚糖及其贮藏作用.....	37
3.3.4.	源/库关系.....	39
3.3.5.	穗光合.....	40
3.3.6.	韧皮部运输.....	40
3.3.7.	光合产物分配动态.....	42
3.4.	光合生产能力.....	43
3.4.1.	叶子光合率.....	43
3.4.2.	光合率与小麦倍性.....	45
3.4.3.	光合率与环境条件.....	45
3.4.4.	叶面积指数与光合生产力.....	48
3.4.5.	冠层与光合作用.....	49
3.4.6.	作物生长率与潜在生产能力.....	50
4.	小麦与水.....	52
4.1.	水势及其变化.....	52
4.1.1.	小麦的水势.....	52
4.1.2.	水势与品种.....	53
4.1.3.	环境条件对水势的影响.....	54
4.2.	根系和吸水.....	55
4.2.1.	根的分布.....	56
4.2.2.	根的吸水.....	57
4.3.	小麦水分蒸发蒸腾.....	58
4.3.1.	土壤-植物-大气连续体.....	58
4.3.2.	小麦蒸腾作用.....	60
4.3.3.	气孔开启变化.....	61
4.3.4.	小麦夜间的蒸腾.....	62
4.4.	小麦对水分胁迫的反应.....	62
4.4.1.	水分胁迫对生理过程的影响.....	62
4.4.2.	细胞的代谢调节.....	65
4.4.3.	生理性干旱.....	67
4.4.4.	小麦的抗旱性.....	67
4.4.5.	涝害.....	68
4.5.	小麦的经济合理灌溉.....	69
4.5.1.	小麦的需水量.....	69
4.5.2.	水分利用效率.....	70
4.5.3.	小麦需水规律与灌溉.....	70
5.	无机营养与施肥.....	72

5. 1.	小麦的氮代谢.....	72
5. 1. 1.	硝酸根.....	73
5. 1. 2.	硝酸还原和硝酸还原酶.....	75
5. 1. 3.	氨基酸的合成.....	78
5. 1. 4.	氮化物的积累和转移.....	80
5. 1. 5.	氮在小麦产量形成中的作用.....	81
5. 2.	其它大量元素.....	82
5. 2. 1.	磷.....	82
5. 2. 2.	钾.....	83
5. 2. 3.	硫.....	84
5. 2. 4.	钙和钙调蛋白.....	85
5. 2. 5.	镁.....	86
5. 3.	微量元素.....	87
5. 3. 1.	铁.....	87
5. 3. 2.	锰.....	88
5. 3. 3.	铜.....	89
5. 3. 4.	锌.....	89
5. 3. 5.	硼.....	90
5. 3. 6.	钼.....	90
5. 3. 7.	氯.....	91
5. 4.	离子的吸收和转运.....	91
5. 4. 1.	质子 (H ⁺) 泵.....	91
5. 4. 2.	质外体和共质体运输.....	91
5. 4. 3.	纵向运输.....	92
5. 4. 4.	根际缺氧对小麦的影响.....	93
5. 5.	盐害和重金属毒害.....	93
5. 5. 1.	盐害.....	93
5. 5. 2.	重金属毒害.....	94
5. 5. 3.	SO ₂ 和NO ₂ 的污染.....	95
6.	生长物质.....	96
6. 1.	生长素.....	96
6. 2.	赤霉素.....	98
6. 3.	细胞分裂素.....	99
6. 4.	脱落酸.....	99
6. 5.	乙烯.....	101
6. 6.	激素在小麦产量形成中的作用.....	103
6. 7.	有激素效应的其它物质.....	103
6. 7. 1.	芸苔素.....	103
6. 7. 2.	多胺.....	104
6. 7. 3.	类玉米赤霉烯酮.....	104

6.8.	人工合成的生长调节剂.....	104
7.	小麦基因组.....	108
7.1.	叶绿体基因组.....	109
7.2.	线粒体基因组.....	111
7.3.	核基因组.....	112
7.3.1.	rRNA基因.....	112
7.3.2.	组蛋白基因.....	113
7.3.3.	贮存蛋白基因.....	113
7.3.4.	凝集素基因.....	115
7.3.5.	胰蛋白酶/ α -淀粉酶抑制蛋白(CM蛋白)基因.....	116
7.3.6.	光合作用基因.....	116
7.3.7.	蔗糖合成酶基因.....	117
7.3.8.	淀粉酶基因.....	117
7.3.9.	乙醇脱氢酶基因.....	118
7.3.10.	氨肽酶基因.....	118
7.3.11.	苹果酸脱氢酶基因.....	118
7.3.12.	过氧化物酶基因.....	118
7.3.13.	富脯氨酸蛋白基因.....	119
7.3.14.	脂酶基因.....	120
7.3.15.	热激蛋白基因.....	120
7.3.16.	泛在蛋白基因.....	121
7.3.17.	日长敏感基因.....	121
7.3.18.	对 Na^+ 和 K^+ 辨别的基因.....	122
7.3.19.	控制染色体配对的基因.....	122
7.4.	基因表达的调节.....	127
8.	小麦的开花与结实.....	129
8.1.	营养生长.....	129
8.1.1.	生育期.....	129
8.1.2.	营养体.....	130
8.1.3.	生长量表示法.....	131
8.2.	转向生殖生长的调节条件.....	132
8.2.1.	春化.....	132
8.2.2.	光周期.....	134
8.3.	幼穗分化.....	134
8.4.	籽粒的形成.....	136
8.4.1.	受粉和受精.....	136
8.4.2.	早期的颖果.....	136
8.4.3.	贮存蛋白的形成.....	137
8.4.4.	淀粉合成.....	138
8.4.5.	籽粒生产潜力.....	139

8.5.	叶片的衰老.....	141
8.6.	小麦生长与温度.....	144
8.6.1.	开花前后最适温度.....	144
8.6.2.	高温的不利影响.....	144
8.6.3.	低温锻炼.....	145
8.6.4.	冻害与抗寒.....	147
9.	小麦对病原的生理反应.....	151
9.1.	生物化学变化.....	151
9.2.	细胞壁的变化.....	152
主要参考文献		

1. 种子及其萌发

种子是裸子植物和被子植物(统称种子植物)在进化过程中所完善的了的延续其种族的复杂器官。种子既包括有幼小的植物体(胚)，也含有营养丰富的贮藏组织(胚乳或子叶)。小麦种子通常称之为籽粒(grain)。

1.1. 籽粒的形态结构

小麦籽粒是含有一个种子的果实,并且果皮不开裂,植物学上将这类果实称之为颖果,通常则称之为种子。种子的主要部分是胚和胚乳。胚约占籽粒干重的3%,存在于籽粒背面或凸面的基部。胚是由胚轴(包括胚芽和胚根)和盾状体(盾片)以及外胚叶组成的。通常在胚芽内已能看到三个发育中的叶原基,并且胚芽被胚芽鞘原基包被着。胚根也有胚根鞘。盾状体和胚乳相接,是萌发时胚从胚乳吸收养分的组织。淀粉质的胚乳约为籽粒干重的77.0-85.1%,是由薄壁的多面形的充满有淀粉粒和蛋白体的细胞组成。在胚乳的周围则是一层大形厚壁长方形细胞组成的糊粉层,在糊粉层和盾状体内,在干燥状态时便有 α -淀粉酶和 β -淀粉酶以及丰富的蛋白水解酶。在胚和胚乳的外面则包被着果皮和种皮。小麦籽粒的详细结构可见表1和图1。

表1 小麦籽粒的形态学组成

小麦籽粒	果皮	外果皮	表皮(外果皮) 下皮 薄壁细胞的残余物	2.6-4.3%
		内果皮	中间细胞 横细胞 管细胞	0.5-1.5%
	种子	种皮(含色素束)		0.2-2.2%
		胚乳	糊粉层	6.3-8.9%
			淀粉质胚乳	77.0-85.1%
		胚	盾状体(子叶) 上皮 薄壁组织 原维管组织	2.0-3.6%
			胚芽(含胚芽鞘)	
			胚轴 初生根(被胚根鞘) 次生侧根	
			外胚叶	

小麦种子的糊粉层和盾状体在动用内胚乳中的营养物支持萌发和幼苗早期生长中起

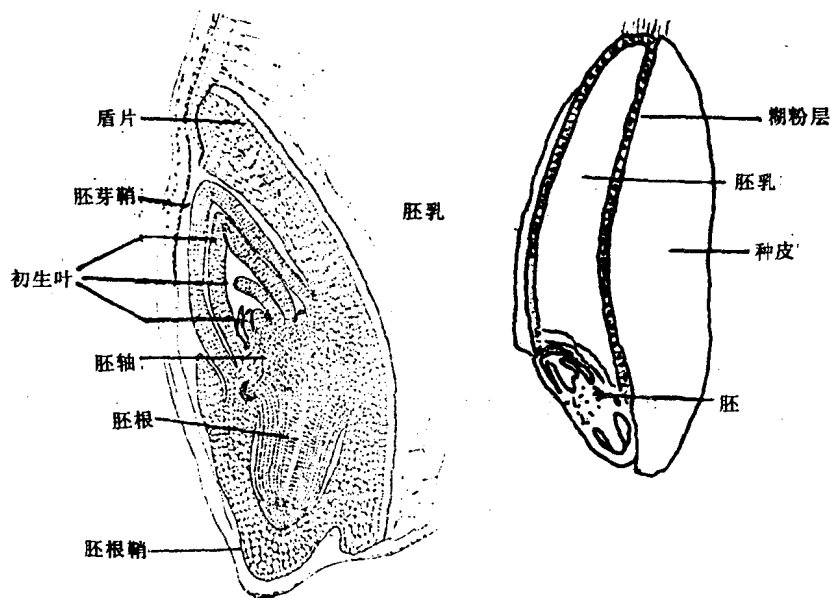


图1 小麦籽粒的纵剖面(依星川, 1980)

着关键性作用。这层组织存在于种皮的下面, 内胚乳的外面。与内胚乳的其它部分一样, 糊粉层细胞也是三倍体, 一组染色体来自于父本, 两组染色体来自于母本。种子萌发一开始, 糊粉层便对来自于胚的赤霉素发生反应, 合成并分泌水解酶: α -淀粉酶, 蛋白酶, 1, 3; 1, 4- β -葡聚糖酶, 木聚糖酶和核酸酶给内胚乳, 使贮存的淀粉, 蛋白质, 细胞壁多糖和残余的核酸水解。

α -淀粉酶是糊粉层中最丰富的水解酶, 是由分子量(44kDa) 相同但净电荷不同的两组同功酶组成。这两组同功酶是高等电点的同功酶A或1和低等电点的同功酶B或2。在等电聚焦电泳时, 小麦糊粉层中的 α -淀粉酶能形成30条以上的带。小麦的果皮和种皮合起来也叫麸皮, 磨粉后存留于麸糠中, 麸糠中也包括有部分糊粉层细胞。麸皮富含角质, 对种子有保护作用。Matzke和 Riederer (1990) 曾研究过这些角质的成分并与叶角质进行了比较, 结果列于表2内。

1.2. 小麦籽粒的贮存物

小麦籽粒的贮存养分主要是碳水化物, 蛋白质, 脂肪, 维生素和无机元素, 籽粒的含水量约为10-14%。内胚乳是贮存营养物的主要场所。小麦籽粒中的碳水化物(主要是淀粉)约占67.5-75.0%, 蛋白质占11.4-16.0%, 脂肪为2.0-2.3%, 纤维素占1.9-2.5%, 其余为灰分。

1.2.1. 淀粉

淀粉是小麦内胚乳中的主要贮存物。是由两类不同的聚合物: 直链淀粉和支链淀粉组成的。两者都是靠糖苷键由D-葡萄糖单位聚合形成的。直链淀粉呈线性结构, 易溶于热水中并形成粘度较低的溶液, 分子量介于 50-160 kDa, 遇碘呈蓝色, 在分子中诸葡萄糖残基以苷键在第1和第4碳原子间连接。支链淀粉不易溶于水, 遇碘呈红色, 分子量约为 400-1000 kDa, 在分子构成中, 除有靠1-4连接的长链外, 尚有以苷键在第1和6碳原子间结合形

表2 小麦麸皮和叶的BF₃/CH₃解聚物的成分

链烷酸	内麸皮	外麸皮	叶
一元酸		(mg. m ⁻²)	
十六烷酸	27.0	48.4	-
十八烷酸	-	-	4.4
十八烯酸	30.6	5.0	-
十八二烯酸	53.0	14.8	-
二十二烷酸	-	-	0.9
二十四烷酸	-	-	2.0
总量	110.6	68.2	7.3
二元酸			
二十四烷二烯酸	4.5	-	-
ω-羟基一元酸			
16-羟基十六烷酸	119.1	2.1	0.9
18-羟基十八烯酸	1650.5	27.2	-
18-羟基十八二烯酸	78.6	2.1	-
22-羟基二十二烷酸	36.0	-	-
24-羟基二十四烷酸	26.4	-	-
26-羟基二十六烷酸	31.1	-	-
总量	1950.5	31.4	0.9
α-羟基一元酸			
2-羟基二十四酸	66.2	6.0	3.3
二羟基一元酸			
8,16/9,16-二羟基十六烷酸	252.7	17.8	5.9
三羟基一元酸			
9,10,18-三羟基十八烷酸	183.0	-	-
环氧羟基一元酸			
9,10-环氧-18-羟基十八烷酸	2534.0	57.7	10.1
链烷酸总量	5101.5	181.1	27.5

注:1.内麸皮部分含有果皮内区,种皮和珠心残留物;2.外麸皮部分含有果皮的外周层。(依Matzke和 Riederer,1980)

成的支链。在胚乳细胞内淀粉以淀粉粒的形式存在。在淀粉粒中,直链淀粉多在颗粒的中心部,而支链淀粉则分布于淀粉粒的外周。直链淀粉占小麦淀粉的25%左右,而支链淀粉占75%左右。小麦淀粉粒有小粒和大粒两种形式,前者直径约为10微米,呈圆形,后者直径约为50微米,呈圆形或双凸透镜形。最近也证明,在小麦淀粉粒表面存在有蛋白质,能影响淀粉粒表面的特性,而这些特性与小麦制品的质地有密切关系。

用考马斯亮蓝，曙红Y，酰胺黑10B和萤光胺等蛋白质专一染料同小麦原初的淀粉粒结合，Seguchi(1986)证明，小麦淀粉粒表面存在有蛋白质。最近，Seguchi和 Yamada(1989)用十二烷基硫酸钠(SDS)又研究了从小麦淀粉粒表面提取来的蛋白质的性质。用含有1%2- 巯基乙醇的1%SDS溶液提取可防止淀粉胶凝化并能使表面蛋白全部提下来。所提取下来的蛋白质约为总淀粉粒的0.04%。提取过蛋白质的淀粉粒经显微镜观察还存在有均一的表面。提取的样本浓缩后进行了SDS聚丙烯酰胺凝胶电泳，然后经过银染并与溶于盐溶液、乙醇和乙酸中的对照蛋白质进行了比较。淀粉粒表面蛋白是由Mr57.2至接近于30 kDa的多种高分子量多肽组成，同麦谷蛋白和小麦醇溶蛋白类似。低分子量多肽则是独有的。

小麦淀粉粒表面蛋白经高碘酸-Schiff(PAS)染色和苏丹黑染色证明不是糖蛋白，也不是脂蛋白。对小麦原初淀粉粒进行氯化热处理能改变表面蛋白的特性，使由亲水的变为疏水的。而淀粉粒的表面特性又影响淀粉食品质量。

在小麦内胚乳中，除淀粉外，还有可溶性糖，主要是蔗糖，但比胚中的可溶性糖要低得多。此外，还有多种半纤维素，如甘露聚糖、半乳聚糖，这些成分多存在于细胞壁中，在萌发时也能被酶分解，变成为胚的营养物质。

1.2.2. 蛋白质

小麦籽粒的蛋白质含量平均为13.1%。但依栽培条件、品种和地区分布，蛋白质含量有很大不同。一般国内将含蛋白质在15%以上的小麦定为一等麦，多分布在河北省，14.0-14.9%定为二等麦，多分布在山东省，13.0-13.9%定为三等麦，多分布在陕西、江苏、黑龙江、安徽、河南等省，12.0-12.9%定为四等麦，多分布在宁夏、湖北省和新疆自治区，12.0%以下为五等麦，多分布在多雨的四川省和长江流域。

小麦蛋白质主要有清蛋白、球蛋白、麦醇溶蛋白和谷蛋白(表3)。清蛋白和球蛋白主

表3 小麦种子蛋白质及其特性

类别	性质	%
清蛋白	溶于水 and 稀盐溶液，受热凝结	9%左右
球蛋白	不溶于水但溶于盐溶液中	5%左右
谷蛋白	溶于稀盐和碱溶液中	46%
醇溶蛋白	溶于70-80%乙醇中	40%
组蛋白	溶于水但不溶于稀NH ₄ OH中， 富含赖氨酸和精氨酸	少量
复合蛋白	色素蛋白，脂蛋白，金属蛋白等	少量

要存在于胚内分别是籽粒总蛋白的9%和5%左右。最近从小麦颖果中也分离出3S和7S的球蛋白，这些球蛋白含有分子量为75, 50, 40 kDa和20-25 kDa的亚基，并且其重要多肽均糖基化。所以是一类糖蛋白，其功能尚不十分清楚。小麦清蛋白多是胚内各种代谢过程中的酶或其它蛋白质因子，直接参与细胞内生命活动过程。因此清蛋白和球蛋白多是小麦细胞的结构蛋白和酶分子。小麦的醇溶蛋白和谷蛋白存在于胚乳内，分别为总蛋白质的40%和46%，

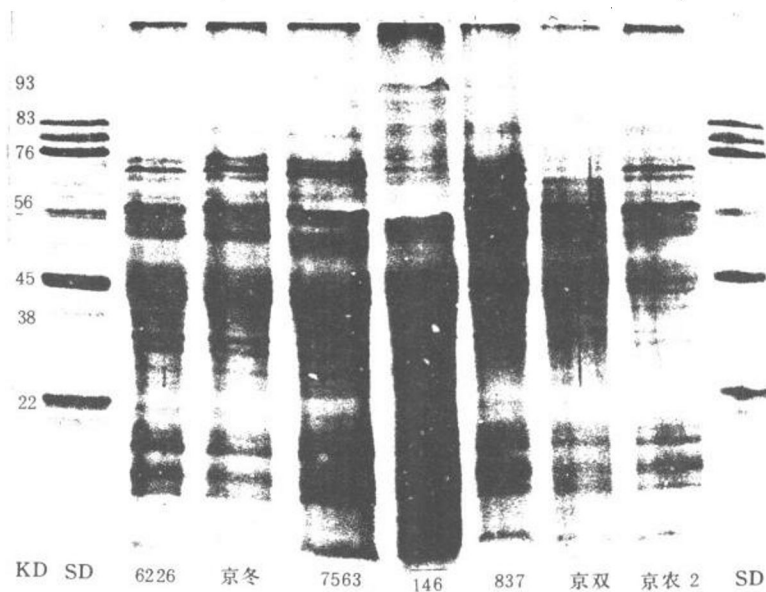


图2 某些品种小麦种子谷蛋白的SDS-PAGE图谱。

(李丹, 王洪新和赵微平, 没发表的材料)

是小麦籽粒的贮存蛋白。小麦醇溶蛋白是单聚体, 可进一步分成为 α/β 、 γ 和 ω 。而这四种蛋白质至少含有46种多肽。 α 、 β 和 γ 麦醇溶蛋白的多肽富有含硫氨基酸, 其分子量在 30-45 kDa 之间。而 ω 麦醇溶蛋白贫乏含硫氨基酸, 分子量较大, 为 65-80 kDa。这些多肽都是以单链的单体分子存在, 有 (α 、 β 和 γ) 或无 (ω) 内二硫键。麦谷蛋白更为复杂, 至少是由15个1 100-13 300 kDa 蛋白质组成的。这些蛋白质可以区分成为高分子量 (HMW) 和低分子量 (LMW) 两类谷蛋白 (参看图2)。

Okita等 (1989) 借助于重组DNA克隆的分析, 对大多数小麦醇溶蛋白的一级结构进行了研究。推导的 α/β -小麦醇溶蛋白、 γ -小麦醇溶蛋白、低分子量谷蛋白和高分子量麦谷

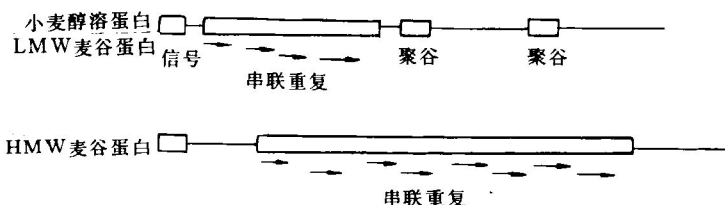


图3. 小麦贮存蛋白的图解。聚谷--聚谷氨酰胺序列。

(依Okita等, 1989)

蛋白的一级序列如图3所示。

可以看出,这些醇溶蛋白多肽的氨基酸成分有重复序列。 α/β -小麦醇溶蛋白、 γ -小麦醇溶蛋白和低分子量麦谷蛋白结构是类似的,均具有串联的保守肽重复的N-末端区。保守肽的大小变动在7-14个氨基酸残基之间,而且全部是谷氨酰胺、脯氨酸和苯丙氨酸或酪氨酸组成的。此外,还有两个连贯的聚谷氨酰胺重复序列。蛋白质的C末端则是其它氨基酸的单一序列。多肽的大小则取决于串联重复的大小。高分子量的麦谷蛋白结构上不同于其它醇溶蛋白,重复结构区(domain)更为明显和延长。这个结构区是由两个保守的肽相混组成的。由于 ω -小麦醇溶蛋白的重组克隆还没有分离出来,它们的一级结构还不清楚。某些 ω -小麦醇溶蛋白N末端的降解表明,存在有小的富有谷氨酰胺和脯氨酸的保守肽的串联重复。小麦蛋白质的氨基酸成分见表4。

表4. 小麦蛋白质的氨基酸成分(克氨基酸/16克氮)

氨基酸	籽粒	面粉	清蛋白	球蛋白	麦醇溶蛋白	麦谷蛋白
丙氨酸	3.6	2.6	4.64	4.9	1.85	2.53
酰胺	3.5	3.9	0.41	1.9	4.66	3.68
精氨酸	4.6	3.1	7.12	8.3	2.51	3.82
天冬氨酸	4.9	3.7	7.11	7.0	2.60	3.41
半胱氨酸	2.5	2.8	5.98	5.4	2.70	2.16
谷氨酸	29.9	34.7	16.23	15.5	35.45	30.24
甘氨酸	4.1	3.4	2.47	4.9	1.40	3.49
组氨酸	2.3	1.9	3.95	2.6	2.04	2.11
异亮氨酸	3.3	3.1	3.72	3.2	3.92	3.41
亮氨酸	6.7	6.6	9.68	6.8	6.26	6.00
甲硫氨酸	1.5	1.3	0.00	1.7	1.30	1.51
苯丙氨酸	4.5	4.8	4.70	3.5	5.03	4.35
脯氨酸	9.9	11.8	7.41	5.0	12.57	9.38
丝氨酸	4.6	4.4	4.03	4.8	4.26	4.91
苏氨酸	2.9	2.4	2.53	3.3	1.96	2.83
色氨酸	1.1	1.5	-	1.1	0.65	1.90
酪氨酸	3.0	2.8	3.17	2.9	2.38	3.29
缬氨酸	4.4	3.4	7.19	4.6	3.76	3.87
赖氨酸	2.9	1.9	10.05	5.9	0.58	2.06

(依 Simonds, 1981)

在小麦种子中还有一类蛋白质,这类蛋白质很易同动物细胞表面结合,有时能引起细胞(如红细胞)凝集,所以被称为凝集素(lectin)或植物凝集素(phytohaemagglutinin)。这是一类糖蛋白,这种糖蛋白在小麦体内的作用尚不十分清楚。利用专门的抗体在小麦发育中