

关于春小麦辐射诱变中几个问题的探讨

赵铭 或 张明春

(吉林省农业科学院生物物理研究室)

辐射诱变已被实践证明是选育新品种和新类型的有效方法之一,其突变率比自然突变率高几百倍,但有益突变率最高只有千分之几^{[1][2]}。小麦在种子照射的情况下,突变率较水稻、玉米等都低^[3]。所以,近年来有些单位围绕提高辐射诱变效率问题,相继开展了农作物辐射诱变效应方面的研究^{[4][5][6][7][8][9][10][11][12][13][14][15][16]}。

为了探讨提高春小麦辐射诱变效率的方法和规律,我们于1978~1981年,应用不同剂量的⁶⁰钴 γ 射线照射了小麦的风干种子、烘干种子、湿种子和植株不同生育期、不同器官,研究了适宜剂量范围及其诱变规律。并选育出早熟有芒大粒型、矮秆型、大穗型、直立叶上举型四个突变类型、五个突变体。本文仅报导应用⁶⁰钴 γ 射线处理春小麦种子的辐射诱变中的几个问题。

一、处理小麦种子的适宜剂量范围及其主要影响因子

1、处理小麦种子的适宜剂量范围

选择M₁死亡率低M₂突变率高的最佳照射剂量,是提高诱变效率的重要技术之一。为了探索处理春小麦种子的适宜剂量范围,我们以涿城1号、墨巴65×科春5号、辽5044、Tamworth8127—266、他诺瑞、新曙光1号、新曙光8号、7428—10—5—4A、7428—10—5—5A、7428—18—3B等小麦为材料,用1万伦、1.5万伦、2万伦、2.5万伦、3万伦五个剂量的⁶⁰钴 γ 射线(剂量率为40.9伦/分,下同)处理其风干种子,在后代共获得30个突变体。根据变异的性状,把所获得的30突变体归为10个突变类型。其中,又把有经济价值的性状变异,如能在生产上直接或间接(作杂交亲本材料)利用的早熟有芒大粒型、矮秆型、大穗型、直立叶上举型4个突变类型5个突变体称为有益的突变类型和突变体;而把叶绿体变异,有芒变无芒、赤壳变白壳、无芒变有芒、白壳变赤壳、大叶型变异等6个突变类型25个突变体称为一般性变异。这些变异虽然没有经济价值,但在研究诱变规律时,可以作为突变是否产生的指标,帮助我们分析一些问题(见表1)。

表1表明,虽然大多数突变体分布在1~2.5万伦之间,但以1.5万伦处理为最高,突变出现率为60%。有益突变也以1.5万伦处理为最高,其出现率为40%。因而,在我们的试验条件下,最佳照射剂量是1.5万伦。适宜剂量范围为1~2万伦。

表 1

照射剂量与突变出现率的关系

处理材料	突变类型	突 变 体 数							
		1 万 伦		1.5 万 伦		2 万 伦		2.5 万 伦	
		有益突变	一般突变	有益突变	一般突变	有益突变	一般突变	有益突变	一般突变
Tamworth 8127-266	早熟有芒大粒	1							
	无芒变有芒		2		2				
7428-10-5-5A	直立叶上举			2					
7428-18-3 B	大 穗				1	1	1		1
他诺瑞	矮 秆							1	
涿城 1 号	叶绿体鲜绿				2		3		
墨巴65×科春5号	有芒变无芒				1				
	赤壳变白壳		2		1				
7428-10-5-4 A	白壳变赤壳				5				
	大 叶				4				
有益和一般突变体数		1	4	2	16	1	4	1	1
各处理突变总数		5		18		5		2	
百分率%		16.7		60.0		16.7		6.6	

试验还表明，早熟突变在剂量较低的辐射后代中容易获得，而矮秆突变在诱变剂量较高的情况下容易出现。如早熟有芒大粒型突变体是在1万伦处理晚熟品种Tamworth 8127-266风干种子的后代中获得的，突变体较原品种早熟5天左右。矮秆突变体是在用2.5万伦处理他诺瑞风干种子的后代中获得的，突变体较原品种矮20厘米左右。说明照射剂量的选择要根据诱变目的不同而定。

另外，在辐射育种中，一般都以 M_1 成株率50%的照射剂量(即半致死剂量)作为适宜的照射剂量。但也有人主张选用比半致死剂量稍低的剂量^{[7][8]}，或成株率为60~70%左右的照射剂量^[9]。从我们的试验结果看，小麦的适宜照射剂量低于半致死剂量，其 M_1 的成株率为70%左右(见表2)。

表 2 不同照射剂量对植株成株率、结实率和单株产量的影响

材 料	项 目	处 理			
		对 照	1 万 伦	1.5 万 伦	2 万 伦
辽5044	成株率(%)	100	98.1	96.39	33.73
	结实率(%)	100	73.6	70.81	40.6
	单株产量(%)	100	45.48	44.68	26.06
墨巴65×科春5号	成株率(%)	100	101.6	67.19	0
	结实率(%)	100	98	77.34	0
	单株产量(%)	100	100.83	75.21	0
Tamworth 8127-266	成株率(%)	100	78.13	85.94	23.44
	结实率(%)	100	57.41	51.39	42.61
	单株产量(%)	100	49.36	40.64	35.16

注：播种量均为100粒。

表2表明，用1.5万伦处理小麦风干种子，虽然 M_1 植株的形态变异和辐射损伤较小，成株率较高，但对 M_1 植株的结实率和单株产量却有明显的抑制作用，其结实率平均降低22.66~48.51%，单株产量平均降低24.79~59.36%。所以我认为，除以 M_1 植株的成

株率作为确定适宜照射剂量的标准外， M_1 植株的结实率和单株产量也应作为确定适宜照射剂量的参考标准。

2、影响小麦对辐射敏感性的主要因子

(1) 材料。不同作物间辐射敏感性不同，这一点早已被大家所熟知。可是，不同小麦材料间因遗传背景和种胚大小不同，其辐射敏感性也有很大差异，这一点则往往被人们所忽视。我们用2万伦同时处理了26个小麦材料的风干种子，其 M_1 植株的成株率分布在0~100%之间，即7422-6-5-6小麦材料的成株数与对照相同，成株率为100%；7428-9-3A-13-7等12个小麦材料，出苗后全部死亡，成株率为零；而7428-9-3A-混-25等13个小麦材料的成株率却分布在10.53~83.78%之间，说明不同小麦材料间的辐射敏感性确实有很大差异（见表3）。

表3 同一照射剂量照射不同小麦材料的植株成株率

材 料	成 株 数		成株率%
	对 照	2万伦处理	
7422-6-5-6	33	33	100
7423-3-3-5 A	37	31	83.78
7422-22-3 A-I	40	25	62.50
7428-18-3 B-2-26	34	18	52.94
7428-9-3 A-7-5	35	15	42.86
7428-9-3 A-I	35	14	40.00
7428-9-3 A-I	36	11	30.56
73G38-2-5 A-4	30	9	30.00
7428-18-3 B-2-3-8	35	9	25.71
7422-6-5-30	28	6	21.43
7428-9-3 A-21-5	33	6	18.18
7428-18-3 B-2-4-1	35	6	17.14
7428-9-3 A-14-5	33	4	12.12
7428-9-3 A-混-25	38	4	10.53
7423-9-3 A-13-7等12个材料	33-38	0	0

注：播种量均为40粒

另外，有一些小麦品种，如新曙光1号和辽5044等，用 ^{60}Co 射线处理过几批种子，均未出现变异。可是有些小麦材料，如他诺瑞，Tamworth8127-266、7428-10-5-5A等，一经照射其后代就能出现变异。这也说明小麦品种或材料间抗辐射的能力是不同的。

(2) 种子的含水量。用1.5万伦处理辽5044、Tamworth8127-266小麦材料的风干种子、烘干种子（把种子放入80℃的烘箱中烘烤30分钟后，立即进行照射）和湿种子（在12℃的室温下，把种子放入培养皿中，用自来水浸种16小时后立即进行照射），每个处理的种子量均为100粒。其 M_1 的成株率见表4。

表4 同一剂量照射不同材料、不同含水量种子的植株成株率

材 料	处理 (1.5万伦)	成 株 数	成 株 率 %
辽5044	风干种子	83	100
	处理的风干种子	80	96.39
	烘干种子	84	100
	处理的烘干种子	42	50
	湿种子	76	100
	处理的湿种子	0	0
Tamworth8127-266	风干种子	64	100
	处理的风干种子	55	84.94
	烘干种子	25	100
	处理的烘干种子	11	44
	湿种子	84	100
	处理的湿种子	0	0

表4表明, M_1 成株率以处理风干种子为最高(辽5044为96.39%, Tamworth8127-266为85.94%), 处理烘干种子次之(辽5044为50%, Tamworth8127-266为44%)处理湿种子最低(均为零)。因而, 照射前种子的含水量不同, 辐射敏感性也不同, 湿种子 > 烘干种子 > 风干种子。

(3) 苗期温度。我们用1~3万伦处理辽5044、墨巴65×科春5号、新曙光1号、涿城1号、7428-10-5-5 A、7428-18-3 B等7个小麦材料的风干种子, 于1978年春季和冬季, 分别在本院试验地和海南岛南滨农场种植。以2万伦和2.5万伦两个处理为例, 在本院4月份平均气温7.3℃、5月份平均气温14.9℃的栽培条件下, 2万伦处理的成株率为0~33.73%, 2.5万伦处理的成株率均为零; 而在海南岛11月份平均气温24.1℃、12月份平均气温22℃的栽培条件下, 2万伦处理的成株率为78.72~100%, 2.5万伦处理的成株率为35.41~63%。说明生育前期(从播种至分蘖期)的温度是影响 M_1 成株率高低的重要因子之一。因为辐射过的种子, 虽然能发芽和出苗, 但由于根尖生长点受辐射损伤和抑制, 生长势很弱, 所以在低温条件下, 有些种子出苗后不久, 由于初生根腐烂、萎缩而枯死, 所以成株率很低。但在高温条件下, 由于满足了受抑制幼苗的生长条件, 所以成株率较高。

二、 M_1 形态变异与突变出现率的关系

我们对 M_1 植株的形态变异进行了调查, 发现在 M_1 成活的植株中, 绝大多数未发生形态变异, 我们称之为正常类型。而把主茎弯曲、皱缩、扭转、分枝(包括茎基部分枝和茎中部分枝)和双穗(包括穗基部、穗中部和穗顶部分枝双穗)等形态变异的植株, 称之为异

常类型。成熟时将7428—18—3 B等9个M₁个小麦材料,以处理为单位,共收获了1396穗正常类型的穗子和82穗异常类型的穗子。以后按穗行分别种植M₂和M₃。

经调查表明:除他诺瑞处理材料未计算在内外,所获得的9个突变类型和29个突变体均出现在M₁的正常类型中;而M₁发生形态变异的植株,在M₂基本上恢复正常,M₂、M₃未出现遗传变异。这一结果与我们在大豆辐射诱变中所得结果一致⁽¹⁰⁾。

三、M₁主穗、分蘖穗与突变出现率的关系

一般认为, M₁主穗突变率高于分蘖穗,所以主张在M₁收获时要尽量选留主穗⁽⁸⁾,但也有报导认为,小麦主穗和分蘖穗的突变率差异不明显⁽¹¹⁾。为了探索M₁主穗、分蘖穗与突变出现率的关系,我们将7428—18—3 B等9个小麦材料的主穗和分蘖穗以处理为单位进行了分收、分种。经调查表明,M₁主穗和分蘖穗在后代突变出现率相近似,而且,早熟有芒大粒突变体是来自分蘖穗(见表5)。所以,不能忽视对分蘖穗的选留,否则会降低突变的选择机率。

表5 选留M₁主穗、分蘖穗与后代突变出现率的关系

穗别	材 料	突 变 类 型	突 变 体 数				合 计
			1 万 伦	1.5 万 伦	2 万 伦	2.5 万 伦	
主 穗	7428—10—5—4 A	白壳变赤壳 大 叶		3 1			15
	墨巴65×科春5号	赤壳变白壳 有芒变无芒	1				
	Tamworth8127—266	早熟有芒大粒 无芒变有芒	2	1			
	7428—10—5—5 A	直立叶上举		2			
	7428—18—3 B	大 穗		1	2		
	涿城1号	叶绿体鲜绿		1	1		
分 蘖 穗	7428—10—5—4 A	白壳变赤壳 大 叶		2 3			14
	墨巴65×科春5号	赤壳变白壳 有芒变无芒	1	1 1			
	Tamworth8127—266	早熟有芒大粒 无芒变有芒	1	1			
	7428—10—5—5 A	直立叶上举					
	7428—18—3 B	大 穗				1	
	涿城1号	叶绿体鲜绿		1	2		

四、突变体的选择世代

一般认为, M₂是突变性状显现和选择的关键世代。但也有些报导指出, M₃、M₄也能获得有益突变体⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。从我们在小麦辐射诱变中所获得的10个突变类型、30个突变体来看,有8个突变类型、27个突变体(其中有2个有益突变体)出现在M₂,说明M₂

确实是分离最大，出现突变类型最多，出现突变机率最高的世代。但从所获得的4个有益突变类型和5个有益突变体来看，却有两个有益突变体（即矮秆突变体和大穗突变体）出现在M₃，占整个有益突变的40%。说明M₃也是一个出现突变类型较多，出现突变机率较高的世代（见表6）。

表6 突变体出现的世代

材 料	突 变 类 型	突 变 体 数			
		M ₂		M ₃	M ₄
		有益突变	一般突变	有益突变	有益突变
Tamworth8127-266	早熟有芒大粒				1
他诺瑞	无芒变有芒		4	1	
7428-10-5-5 A	矮 秆				
7428-18-3 B	直立叶上举	2		1	
涿城1号	大穗		3		
	叶绿体鲜绿		5		
	有芒无芒		1		
墨巴65×科春5号	赤壳芒白壳		3		
7428-10-5-4 A	白壳变赤壳		5		
	大 叶		4		
各 代 突 变 总 数		2	25	2	1
合 计		30			

值得注意的是，早熟突变体的获得，不在M₂、M₃，而出现在M₄。我们用1万伦处理晚熟品种Tamworth8127-266的风干种子获得的早熟有芒大粒型突变体，在M₂只是变无芒为有芒，其熟期与原品种相同，M₃熟期与原品种也无明显差异，但M₄的抽穗期、开花期和成熟期却比原品种提早5天左右。因此，在小麦早熟辐射育种中，除M₂进行选择外，更要注意M₃以后各世代的选择。

另外，M₃也是扩大变异范围的世代。我们调查了小麦7428-18-3 B各处理M₂、M₃的主穗长度。经统计分析表明，M₃的变异系数和变异幅度除2万伦处理的变异系数小于M₂外，其它均大于M₂，其变异范围有加强的趋势（见表7）。

表7 M₂、M₃主穗长度的变异幅度

世 代	处 理 (万伦)	调查株数	主 穗 长 * (均数±置信限)	变异系数 **		变 异 幅 度		
				值	差	值	极 距	差
M ₂	对照	9	9.1±0.29	4.24	-	7-10	3	-
	1.5	14	10.4±0.33	5.35	+1.11	9-11	2	-1
	2	7	12.1±1.51	14.24	+10.5	9-14	5	+2
	2.5	8	10.0±0.03	0.35	-3.89	10-11	1	-2
M ₃	对照	10	9.7±0.27	3.88	-	9.1-10.2	1.1	-
	1.5	14	11.1±0.46	7.00	+3.12	10.0-12.4	2.4	+1.3
	2	13	13.1±0.85	10.55	+6.61	11.5-15.2	3.7	+2.6
	2.5	13	10.3±0.47	7.31	+3.43	9-11	2	+0.9

* 置信限 = $t \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$ (当n<30, 0.05显著水准时, t=2.23)

** 变异系数 (V) = $100 \frac{S}{\bar{X}}$ 式中S为标准差, \bar{X} 为均数

五、一株（穗）一粒法与突变出现率的关系

在 M_2 获得 27 个突变穗行，经调查，都发生了不同程度的性状分离。即在同一个穗行中，有的植株生长正常，有的植株却发生了性状变异。造成 M_2 植株个体间差异的原因，来源于 M_2 种子。假定电离辐射诱发隐性变异，其种子经辐射处理后，发生 AA (A 为显性) $\rightarrow Aa$ (a 为隐性) 的基因突变，在 M_1 呈杂结合状态。将 M_1 种子播种后， M_1 植株经减数分裂产生雌、雄配子时， A 和 a 基因以相等的机率出现在雌、雄两种配子中，再经自花受粉，具有 A 、 a 基因的雌配子和具有 A 、 a 基因的雄配子之间又以完全相等的机会进行受精，所以由 M_1 植株长成的 M_2 种子就会出现分离。如果是一对性状的分离，其分离的比例应为 $3 : 1$ ，即 $1 AA : 2 Aa : 1 aa$ 。所以， M_2 按穗行播种后，在同一个突变穗行间，有的植株基因型与原品种相同，未发生变异；有的植株却发生了突变。这就告诉我们，在 M_2 采用一株（穗）一粒法种植时，出现正常植株和变异植株的可能性，符合二项式分布，其出现的机率各占二分之一。因此，在 M_2 采用一株（穗）一粒法的种植方式，会降低突变出现的机率。

六、性状分离与连锁

在 M_2 、 M_3 、 M_4 所获得的 30 个突变穗行中，仅有一个突变穗行是整行发生同样性状的变异。如用 2.5 万伦处理他诺瑞小麦种子，在 M_3 所获得的矮秆突变体，整个穗行表现整齐一致。有的学者把这种现象解释为：“在较高的照射剂量下，种胚生长点的原基细胞大部份被杀死，从而使个别尚能生存下来的突变细胞在体细胞选择和配子选择过程中始终处于优势，结果产生整个穗子水平的同一突变^[16]”。而其它 29 个突变穗行，在 M_2 同一穗行间都发生了不同程度的性状分离。由于基因型嵌合，在 M_3 有益突变穗行的个体之间还继续发生性状分离。在 M_4 ，大多数突变穗行开始趋于稳定，但直立叶上举突变体和大穗突变体在 M_4 却继续发生分离。说明不同突变类型间稳定的世代是不同的。

试验未发现单一性状发生改变的突变体，一般都是两个以上的性状同时发生改变。如用 1 万伦处理小麦品种 Tamworth 8127—266 的风干种子所获得的早熟有芒大粒型突变体，是 4 个性状发生了完全不同于原品种的变异。即熟期较原品种提早 5 天左右，变无芒为有芒，种皮色变深（原品种为白粒麦，突变体接近于赤粒麦），籽粒变大（千粒重比原品种高 10 克左右，经统计分析，差异极显著）（见表 8）。

表 8 早熟有芒大粒型突变体的性状变异情况

材 料	熟 期 (天)	芒 性	种 皮 色	单株粒数	单株粒重 (克)	千 粒 重 (克)
对 照	88	无芒	黄白粒	201±38.9	5.5±1.05	29.3±1.18
突 变 体	83	有芒	接近赤粒	192±39.3	7.3±1.56	39.7±1.05
相 差	-5	—	—	-9	+1.8*	+10.4**

试验还发现，某些性状间有一定的联系，如用 2.5 万伦处理他诺瑞的风干种子所获得的矮秆突变体，随着植株高度变矮（由 61.7 ± 2.05 厘米降为 40 ± 1.5 厘米），早衰加重，

使单株产量由 1.89 ± 0.63 克降为 0.83 ± 0.13 克。经统计分析,相关系数 $r = 0.639$, 达0.05的显著水准, 呈正相关。由于人们所希望的优良性状伴随着不良性状一起出现, 这就给辐射育种工作者带来很多麻烦。如果要想克服这一连锁关系, 只有通过杂交分离基因重组, 才能去掉不良性状, 育成综合性状好的新品种。

参 考 文 献

- (1) 植物诱发突变 1973 生物科学参考资料 第二集 科学出版社 P75
- (2) 突变育种手册 1972 中国科学院遗传研究所译 科学出版社 P167
- (3) 中国科学院遗传研究所海南试验站一组 1975 r射线照射春小麦孕穗期 开花期植株和种子的诱变效应的比较 中国科学院遗传研究所海南试验站作物辐射育种研究报告汇编 P30—36
- (4) 钟启程 1980 农作物理化诱变育种的成就 动向和展望 原子能农业应用 湖南省原子能农业应用研究所编印 P20—26
- (5) 王琳清等 1980 辐射与杂交结合提高冬小麦辐射效果的探讨 (油印本)
- (6) 伊虎英 1980 冬小麦和春谷的 r_1 染色体畸变和 M_2 性状变异之间的相关性的探讨 <原子能农业应用> 1981年2期 P1—4
- (7) 日本水稻品种“黎明”的辐射育种方法 国外农林科技动态 1972年(4) (内部刊物) P8—10
- (8) 中国农科院原子能利用研究所 1972 作物辐射育种, 农业出版社 P14 P25
- (9) 王义谅等 1980 大豆辐射诱变育种程序的研究 (油印本)
- (10) 吉林省农科院生物物理室 1975 ^{60}Co 钴r射线对大豆引变技术的试验总结 (油印本)
- (11) 李德炎主编 1976 小麦育种学 科学出版社 P119 P120
- (12) 高明尉等 1981 稻、麦辐射育种的若干基本问题 (油印本)
- (13) 小麦突变育种的研究利用r射线育成小麦新品种及有希望的矮秆品系 科技参考农业73(3) P1
- (14) 陈义纯等 1977 辐射诱变对提高春小麦突变率 扩大变异谱研究的初报 黑龙江省农科院 1984—1977年 科研成果及报告选编 原子能农业利用及作物生理分册 P1—4
- (15) 许耀奎 1980 快中子辐射对春小麦诱变效应的研究 遗传学报7(1) P40—45
- (16) 高明尉 1980 作物辐射育种最近进展 原子能农业译丛 80(1) P1—6