

倒伏小麦的生理生态特点及防止措施

邯郸地区农业科学研究所

龔邦鐸 吳烈明 冀 祝 李理鎖

一、倒伏与产量的关系

倒伏是影响小麦高产的主要问题，亩产五、六百斤以上的麦田，很易发生倒伏。倒伏对产量的影响是严重的。輕者一般减产一、二成；严重者可达三、四成以上。因此能否防止小麦倒伏就成为能否获得高产的一个关键。从构成小麦产量的主要因素来看：倒伏后千粒重大大降低（表一），倒伏比不倒千粒重一般要减少2—3克，而且倒伏时期愈早，程度愈重，粒重下降愈多；在早期倒伏的情况下，一穗粒数也有所降低；但后期倒伏的，由于籽粒已经形成，有时因倒伏的前期营养条件较好，倒伏比不倒的一穗粒数还多一些。可见粒重的减低是造成倒伏减产的主要因素。而粒重的减低，是由于倒伏后生理活动被破坏，物质的积累和分配受到阻碍而引起的。

表一 倒伏与产量因素

倒伏时期	倒伏别	千粒重 (克)	一穗粒数	亩产 (斤)	增减%
乳熟后	不倒	33.4	22.8	611	-3.2
	倒伏	31.2	22.9	592	
抽穗后	不倒	32.1	25.8	577	-13.0
	倒伏	30.8	23.2	520	
抽穗前	不倒	32.5	24.9	407	-32.6
	倒伏	29.9	22.0	274	

二、倒伏小麦的生理变化

1. 倒伏对物质积累的影响：

小麦种子中有机养料主要来自叶片经光合作用积累的干物质，一般情况下干物质积累愈多，即生物产量愈高，籽实重量也愈大（籽实重约相当总干重的40—45%）。特别是后期干物质积累与粒重关系最大，因抽穗后积累的干物质约占全生育期总干重的40%以上，而且抽穗后积累的干物质绝大部分为可转移养分，主要用于形成籽实（抽穗前积累的干物质主要用于构成营养器官）。可见粒重大小系决定于后期干物质积累和生物产量；而干物质积累多少，又主要决定于叶片功能。

倒伏小麦由于前期营养条件较好，虽然一般叶面积较大，但因倒伏后大部分植株呈重叠积压状态，受光不足，妨碍了叶片正常生理活动。一部分叶片逐渐枯萎死亡，黄叶量增大；另一部分叶片也因功能作用衰退，光合生产率也大大降低。据邯郸所调查（表二）：倒伏小麦单株黄叶量增加0.16克，光合生产率减少0.9克/平方米日。由于光合作用的削弱，严重阻碍了后期的干重积累，结果使生物产量显著降低。倒伏的单株干重为4.08克，不倒的为4.80克，倒伏比不倒干重减少0.72克。生物产量是经济产量的基础，生物产量的下降是造成倒伏小麦粒重降低，形成减产的重要原因之一。

表二 小麦倒伏与后期物质积累

倒伏别	单株叶面积 厘米 ²	黄叶量 克	光合率 克/米 ² /日	单株干重克			
				4/26	5/16	6/5	4/26— 6/5
不倒	43.0	0.25	8.3	1.09	2.04	4.80	2.76
倒伏	50.3	0.41	7.4	0.96	1.88	4.08	2.20
差	+6.7	+0.16	-0.9			-0.72	-0.56

2. 倒伏对物质分配的影响:

小麦倒伏后，不但影响了后期物质积累，生物产量因而降低；同时也影响了后期物质的运转，经济系数也降低了。因小麦籽实形成过程，实际上也就是营养器官与生殖器官相互消长的过程。一般情况下，小麦灌浆后，茎叶和叶鞘等器官干重开始下降，这时由营养器官制造和贮藏的养分，迅速地运往穗部，形成籽实，粒重增长很快，是小麦体内养分运转盛期，对粒重影响十分显著。如果这一过程完成的好，则输往籽实养分增多，穗秆在生物产量中的比重相对下降，粒重增大；反之，则粒重减轻。这一过程完成的好坏，一般系用成熟期各器官干物重的比例来表示，即根据其经济系数大小作为判断后期养分运转的依据。

小麦倒伏后，由于茎秆折伤，输导组织被损坏，由叶片制造的营养物质，不能顺利地转向穗部和籽实，直至成熟有很大一部分还停留在叶和茎中，因而倒伏小麦多贪青晚熟。由于养分分配上的不合理，结果使营养器官比例增大，经济系数降低。据邯郸所调查（表三）：生长正常而没倒伏的小麦，经

表三 小麦倒伏与物质分配

倒伏别	主茎干重 克	穗粒重 克	茎秆重 克	经济系数 %	茎秆比值
对 照	2.58	1.10	1.48	44.0	1.35
倒 伏	2.16	0.85	1.31	39.3	1.54
差	-0.42	-0.25	0.17	-4.7	+0.19

济系数为44.0%，茎秆相当籽实的1.35倍；而倒伏的小麦，经济系数减为39.3%，茎秆比值增为1.54倍，可见茎秆比值的加大和经济系数的降低，也是影响小麦粒重和减产的又一重要原因。

三、倒伏小麦的生态特点

1. 小麦基部节间形态是影响小麦倒伏的基本因素:

小麦倒伏后，不仅在生理上发生了显著变化，而且在生态上也有着明显的差别。

小麦倒伏有根系倒伏和茎秆倒伏两种类型，一般情况下多系茎秆倒伏，倒伏部位大部发生于第一节间，也有时发生在第二节间，因此倒伏与第一、二节间的机械强度关系极为密切。

小麦茎秆强度主要决定于它的负荷力，而负荷力的大小又与基部节间形态有密切连系。据观察，倒伏小麦与不倒伏小麦第一、二节间的形态，差别十分明显，是鉴定小麦倒伏的一项重要标志。总的说来，健壮不倒的茎秆，一般应具备“绿、园、干、硬”的特点：绿是颜色绿，如发黄发白是光照不足的表现；园是茎园凸起，如成扁圆形表示茎壁薄弱；干是干物质多，表明水分含量少；硬是手摸发硬。以上只是小麦节间外部形态上的一般概念。

据邯郸所调查（表四）：小麦基部节间强度与第一节间的长度、粗度、干重和含水

表四 倒伏与不倒伏小麦基部节间形态

倒伏别	第一节长 厘米	第一节粗 厘米	第一节干重 克/10厘米	第一节 含水率 %
不 倒	8.6	0.34	0.069	85.1
倒 伏	12.8	0.29	0.028	91.5
总 数	+4.2	-0.05	-0.041	+6.4

率等因子有密切关系。倒伏小麦一般节间较长较细，干重较低，水分含量较高。例如，

倒伏小麦比不倒小麦第一节长度增加 4.2 厘米，粗度减少 0.05 厘米，单位长度（10 厘米）干重减少 0.041 克，含水率增多 6.4%。

小麦节间强度虽然系受以上因子综合影响，但各个因子之间都有着内在联系。例如，凡节间长的，节间都较细，干重也较轻，含水率都较高。因此一般情况下，通过节间长度也能粗略的表示节间强度，而且节间长度调查简便，在生产实践中，则常应用这一方法来判断倒伏。据邯郸所多块麦田调查（表五）：小麦第一、二节间长度与倒伏关系很大，凡第一节长度超过 11 厘米以上，第二节长度超过 17 厘米以上的，大都要倒伏；第一节长在 9 厘米以下，第二节长在 14 厘米以下的，一般不致发生倒伏；第一节长在 9—11 厘米间，第二节长在 14—16 厘米间，或倒或不倒。因此第一节长应控制在 10 厘米内，第二节长应控制在 15 厘米内。

表五 倒伏与第一、二节间长度

年 度	倒伏别	第一节长 厘米		第二节长 厘米	
		平均	幅 度	平均	幅 度
1958	倒 伏	12.3	11.3—13.2		
	不 倒	7.7	7.6—7.8		
1959	倒 伏	13.0	11.7—15.9		
	不 倒	9.7	7.7—11.8		
1960	倒 伏	10.9	10.5—13.5	17.3	15.3—19.6
	不 倒	8.9	7.5—11.5	13.9	11.1—15.4

2. 小麦拔节时群体状态是决定小麦基部节间强度的主要条件。

小麦倒伏虽一般发生在抽穗以后，但倒伏根源早在拔节期即已形成，是前因与后果的关系。因小麦拔节期也正是第一、二节伸长盛期，从第一节开始伸长到基本定型，大约需 10 天左右，这一期间的外界环境条件，特别是光照条件，对第一、二节间影响很大，是决定小麦基部节间强度的关键时期，

因此防止小麦倒伏必须从拔节即开始着手。

小麦拔节期的中心问题是光照问题，因这时群体与个体之间矛盾十分突出，一方面正是基部节间伸长盛期，需要充足的光照条件；但另一方面又是春季分蘖盛期，亩蘖数在拔节期达到全生育期的最高峰，随着亩蘖数的增加，叶面积系数也增长很快，加上这时茎秆尚未伸长，不同层次叶片还不能拉开档子，都密布在同一平面上，最易形成郁蔽，引起基部节间光照条件的恶化。其郁蔽程度，则与当时群体状态有密切关系，以叶面积系数对光照条件影响最大。据衡水所调查（表六）：随着拔节期叶面积系数增大，基部光照条件即相对减弱。例如：拔节期叶面积系数 1.76，行间光照为 26,500 力克司；叶面积系数增至 3.75，行间光照即减为 18,250 力克司；叶面积系数加大到 5.15，行间光照继续下降为 12,750 力克司，可见拔节期叶面积系数过大，是造成郁蔽，妨碍基层光照的主要原因。

表六 拔节期叶面积系数与光照

叶面积系数	4 月 8 日		4 月 16 日	
	行间光照 力克司	相当自然 光照 %	行间光照 力克司	相当自然 光照 %
1.76	26,500	88	13,500	45
2.69	21,500	72	11,500	38
3.75	18,250	61	4,600	15
3.80	15,750	52	3,550	12
5.15	12,750	42	2,150	7
5.37	9,500	31	2,650	8
6.19	9,750	32	2,000	6
9.25	5,750	19	700	2
自然光照	30,810		30,020	

拔节期光照与基部节间强度有密切关系。如这时光照充足，则有利于节间生长，节间粗短，强度增大；相反，如光照不足，则不利于节间生长，节间细长，强度削弱。因此，在叶面积系数过大的情况下，由于基层光照不足，对第一、二节间生长有严重影

响。据邯鄲所众多地块調查（表七）：拔节期叶面积系数与第一、二节間长度为負相关，随着拔节期叶面积系数加大，节間长度即相对延长。例如：叶面积系数 2.6，第一节长为9.6厘米；叶面积系数增为3.4，第一节长即增为10.0厘米；叶面积系数增至4.0，第一节长繼續增至10.5厘米，这一长度已进入倒伏节間临界长度，即很易倒伏。因此适当調整拔节期叶面积系数，以改善这一时期的光照条件，是增进小麦基部节間强度，防止倒伏的关键所在。

表七 拔节期叶面积系数与节間长度

亩 叶 面 积 米 ²	叶面积系数	第一节长 厘米	第二节长 厘米
1500—2000	2.6	9.6	12.7
2000—2500	3.4	10.0	14.0
2500—3000	4.0	10.5	15.0
3000—3500	4.8	10.5	15.2
3500—4000	5.6	10.8	16.1

拔节期叶面积系数多少才算适宜？这需从群体和个体矛盾的两方面来决定。如叶面积系数过少，虽光照条件較好，有利于个体发育和基部节間生长，不致发生倒伏，但由于群体生长过差，光合利用率很低，难以实现高产；如叶面积系数过大，虽有利于群体发育，但又容易形成郁蔽，不利个体生长，节間强度减弱，造成倒伏，产量亦无保証。因此必須善于处理这时群体与个体两者之間的关系，保持一个合理的叶面积系数。据邯鄲所多块麦田調查（表八）：拔节期叶面积系数在 4 以下，一般不致倒伏，在 5 以上大都要倒伏，因此一般情况下，拔节期叶面积系数以 3—4 为适宜，既利防倒，又能高产。

与此同时，拔节期亩蘖数与倒伏亦有密切关系，因亩叶面积是在一定亩蘖数基础上形成的，一般情况下，叶面积系数系随亩蘖

数而增长，因此要控制叶面积系数必先从控制亩蘖数入手。据邯鄲所多块麦田調查（表八）：如拔节期亩蘖数超过 150 万，即易造成严重阴蔽而倒伏；但如亩蘖数过低，又难以保証亩穗数，因之一般高产麦田拔节期亩蘖数以120—140万个为适宜。

表八 拔节期群体状态与倒伏

麦田别	亩 蘖 数 (万)		叶 面 积 系 数	
	平 均	幅 度	平 均	幅 度
倒 伏	155	123—178	6.2	4.9—10.7
不 倒	126	118—135	4.5	3.3—4.9

3. 小麦叶片长相也是鉴定倒伏的重要标志：

小麦倒伏虽然主要决定于第一、二节間負荷力，但負荷力只是“构成”倒伏的一个方面，負荷量是构成倒伏的另一个方面。在双方力量对称的情况下，不会发生倒伏。只有当負荷量超过負荷力时，才形成倒伏。負荷力主要决定于茎秆强度，而負荷量則主要受茎生叶片的影响。因此，单株叶片生长状况与倒伏关系也很大。如单株叶片生长过旺，不仅促使叶面积系数加大，造成郁蔽，而且負荷量也加大，很易失去平衡，也是形成倒伏的一个重要原因。

小麦以第三片茎生叶与倒伏关系最大，因第三叶生长盛期也正是第一、二节間伸长盛期，因之第三叶的叶片形态对第一、二节間的生长影响很大。据邯鄲所調查（表九）：第三叶的叶片长相可以分为以下三种类型：第一种为直綫型，叶片直立如“|”；第二种为鈍角形，叶片上部与下部傾斜成一鈍角如“└”；第三种为直角形或曲綫形，叶片傾斜度加大，成一直角如“└”，或下垂成馬蹄形如“└”。由于拔节期叶片长相不同，因而对茎秆影响的大小也各不相同，一般是单株

叶片愈旺,节間愈弱。例如直角形和曲綫形单株叶片干重最大,但茎秆干重却最低;相反直綫形单株叶片干重最小,但茎秆干重却最重。因而不同叶态間叶茎比值相差很大,直角形叶茎比为1.13,鈍角形为0.94,直綫形为0.57,这就直接影响了負荷力与負荷量两方面力量对比关系:直角形由于叶茎比值过大,形成徒长,很易倒伏;鈍角形和直綫形叶茎比值較小,一般不致倒伏,但直綫形叶面积又太小,难望高产,故拔节期叶态以鈍角形为适宜。

表九 拔节期叶态与茎秆負荷

叶态	倒伏別	第一 节		第二 节		叶片干重克	茎干重克	叶:茎
		长厘米	干重克/10厘米	长厘米	干重克/10厘米			
┐	不	5.4	0.19	13.4	0.12	0.24	0.42	0.57
└	不	7.6	0.11	16.3	0.09	0.31	0.33	0.94
└	倒	9.4	0.09	17.4	0.08	0.35	0.31	1.13

叶态是由于叶片大小不同而引起的外形上的反应,因而不同叶面积呈現不同的叶态。据邯鄲所調查(表十):拔节期单片叶长在25厘米以上者,多下垂成直角形或曲綫形,大都要倒伏;叶长在20厘米左右者,多成鈍角形;叶长在15厘米以下者,即成直綫形,一般均不致倒伏,故第三叶叶长以控制在20厘米左右为适宜。

表十 叶态与叶面积

叶 态	单株叶面积 厘米 ²		第三叶长 厘米	
	平 均	幅 度	平 均	幅 度
┐	205	182—249	26.7	26.2—30.7
└	145	131—177	21.0	18.8—25.1
└	89		15.8	

四、防止小麦倒伏的关键措施

綜上所述,小麦倒伏主要决定于第一、二

节間强度,而第一、二节强度又与返青拔节期間分蘖数和叶面积有密切关系。因此防止小麦倒伏的中心环节是适当調整这一期間的分蘖数和叶面积,促使基部节間粗壮。在措施上除注意播种外,返青、拔节期間的管理特别重要。只要这两关掌握好,小麦倒伏即可防止。

1. 播种基础必須打好:基础关中以施肥量和密度对倒伏影响最大。

(1) 合理施肥:小麦施肥量,特别是氮肥用量与倒伏有密切关系。因氮肥对小麦分蘖力和叶面积有显著促进作用。据邯鄲所調查:亩施純氮 20 斤,单株叶面积为145厘米²;純氮增为 30 斤,叶面积即增为 168 厘米²;純氮增至40斤,叶面积又加大到 189 厘米²。因此在氮肥用量过 多的情况下,由于叶面积增长过快,很容易引起郁蔽,造成倒伏。据磁县香榮营調查:每亩施用粗肥折合純氮 37 斤的未倒;折合純氮 44 斤的倒伏 20%;折合純氮 63 斤的倒伏100%,因此施肥量必須适当,应根据土壤肥力和小麦需肥量决定施用量。据小麦植株化学分析,亩产小麦五、六百斤,需要吸收純氮13斤,吸收量約占施用量的1/2到1/3左右,一般粗肥施用量折合純氮20—40斤即可,在此范围內一般可以保証产量,而且不致形成倒伏。

(2) 合理密植:小麦密度与倒伏关系亦很密切。如拔节期亩蘖数超过 150 万,即很易形成倒伏;但如亩蘖数过低,又难以保証穗数。因此,研究小麦播量时,既要防止拔节期亩蘖数过多,同时也要保証成熟期有足够的亩穗数。据邯鄲所調查:亩产小麦五、六百斤,須要有40—60万穗,为保証亩穗数达到40万以上,而亩蘖数又 不超过 150 万,一般播量以16—24斤为适宜,在此范围內可以保証高产不倒。

2. 返青、拔节期間的管理要因苗制宜,促控結合:

返青、拔节期間的管理,对防止小麦倒伏

具有重要意义,因返青拔节期间既是小麦节间生长盛期,又是分蘖和叶片生长盛期,因之返青、拔节期间管理好坏,直接关系着叶面积大小和节间强度,对倒伏影响很大。而返青、拔节期间苗情又极复杂,在管理上又必须因苗制宜,根据不同苗象,采取不同措施。

(1) 看苗追肥:小麦倒伏与返青、拔节期间的速效氮关系极大。据邯郸所拔节期土壤养分速测:倒伏麦田 0—20 厘米速效氮(硝态氮)多为 10ppm,不倒的为 3—5ppm; 20—40 厘米速效氮,倒伏的为 5—10ppm,不倒的为 1—3 ppm。因此返青、拔节期间追施速效氮肥必须注意。因返青、拔节期间正是小麦春季分蘖盛期,此时追施速效氮对分蘖反应特别敏感。例如,邯郸所春季追硫酸铵 30 斤的,单株分蘖为 7.2 个,而不追的只 4.9 个,由于单株分蘖增加,促使亩蘖数也加多,这样就很容易形成郁蔽,所以肥力高的、密度大的、生长旺的、有倒伏征象的麦田,速效氮肥要适当控制,可根据具体情况,不追或少追,或推迟使用时间;即使生长正常的小麦(钝角形)也要防止一次用量过猛,应掌握分期施用原则。最好能配合一些磷钾肥使用。例如邯郸所拔节前追硫酸铵 30 斤的,倒伏面积 80%,追全肥的(草木灰 210 斤,过磷酸钙 27 斤,饼肥 100 斤)倒伏面积减为 35%。因增施钾肥有壮秆作用。据测定,追钾的第一节干重为 0.10 克,不追的为 0.05 克,因而抗倒力增强。但对生长不好,无倒伏危险的麦田,则应采取积极促进措施,要抓住返青、拔节这一关键时期,及早追用速效氮肥。

(2) 看墒浇水:土壤湿度与小麦倒伏也有密切关系,特别是拔节前后的土壤水分对节间长度影响很大。据邯郸所调查:三月中旬早浇春水的,第一节长为 9.6 厘米;三月下旬拔节期浇的,第一节长增为 12.7 厘米;拔节水推迟到四月上旬再浇的,第一节长又减为 11.1 厘米,以拔节期浇水节间最长,因

此在拔节期进行浇水的很易倒伏。凡肥力高、密度大、叶片旺、有倒伏征象的麦田,应控制拔节水,以水控肥,进行蹲苗;即生长正常的小麦(钝角形),也要适当推迟拔节水时间,原则上可待第一节基本定型后再浇,但也要根据土质、地势和浇水方法等灵活掌握。凡粘土地、渠浇地,肥力高、水量大,蹲苗时间可稍延长;反之,砂土地、井浇地、岗坡地,肥力低、水量少,蹲苗时间宜短,如蹲苗过狠,也要影响产量。在浇水量上,也要适当掌握。据临漳基点调查:拔节水渠浇的,由于水量大,倒伏较重,倒伏面积 50%;而用井浇的,水量较小,倒伏面积只 5%。可见适当推迟拔节水,改大畦为小畦,对防止小麦倒伏有重要作用。但又因拔节期是小麦需水关键时期,因此对生长不好,没有倒伏危险的麦田,则必须及时浇好拔节水。

(3) 加强春季麦田管理:

早春压、耙麦亦是防止倒伏的有效措施,因早春压麦有抑止地上部生长,促使节间粗壮的作用。据邯郸所调查,早春镇压的第一节长为 9 厘米,不压的为 12 厘米。早春耙麦,可以清除地面枯叶,改善光照条件,亦能促使节间粗壮。例如邯郸所春耙的第一节粗为 0.32 厘米,不耙的仅 0.29 厘米。但要注意耙、压时期,早进行效果好,开春后应即抓紧进行。

剪叶虽然是不不得已的办法,但对已经倒伏或有严重倒伏危险的麦田,仍然有一定效果。据邯郸所调查,剪叶后由于改善了基层光照条件,节间较短,单位茎长干重亦有所增加。例如,剪的第一节长 11.2 厘米,10 厘米干重为 0.05 克;而不剪的第一节长为 13.1 厘米,10 厘米干重仅 0.02 克。但剪叶时间也宜早不宜迟,剪叶程度也不可过重,如剪叶时间过晚,剪叶程度过狠,就要严重影响叶片功能和干物质积累,形成营养不足,不利增产。

(注)此文在研究过程中和稿成后,承季良、丁纪元先生指导、审阅谨致谢意。