

冬小麦高产栽培新途径的研究

慕美财, 张曰秋, 李兴佐, 单玉珊

(中国农业大学(烟台), 山东 烟台 264670)

摘要: 在分析以往高产典型及山东小麦高产途径演变的基础上, 提出一条稳住叶面积系数、控制株型增穗数的小麦高产栽培新途径。并对运用该途径实现单产超过 9 t/hm^2 的麦田进行分析, 该途径通过先控后促的肥水运筹和通过减少单株叶面积增加单位面积成穗数等措施建立起大密度—小株型的群体结构, 该结构在提高收获指数和粒叶比方面有明显的优势, 且有助于促进源库流在高水平上协调与平衡, 从而可实现产量上的突破。同时还为小麦高产育种和高产栽培研究提供了参考。

关键词: 小麦; 高产途径; 稳叶控株增穗; 收获指数的提高; 源库流协调与平衡

中图分类号: S512.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008) 增刊-0167-06

Study on New Way for High-yield of Winter Wheat

MU Mei cai, ZHANG Yu qiu, LI Xing-zuo, SHAN Yu-shan

(China Agricultural University(Yantai) , Yantai 264670, China)

Abstract: The article advances a new high-yield way for wheat of stabilizing LAI-controlling plant type and increasing ear numbers on the basis of analyzing the previous high-yield ways. After analyzing the fields of which the wheat yield is more than 9 t/ha according to the new way, it pointed out that the new way build a high density and small plant structure by first controlling and then increasing the fertilizer and water, reducing the leaf area of every plant to increase the ear numbers of unit area and other measures, the structure has great advantages in increasing harvest index and rate of gain to leaf, and helped to improve the Coordination and balance of source-sink-translocation in a high level, therefore, it can make a breakthrough in the aspect of the yield and throw light on the high-yield breeding and growing of wheat.

Key words: Wheat; High-yield measures; Stabilizing LAI and controlling plant type and increasing ear numbers; Increasing harvest index; Coordination and balance of source-sink-translocation

粮食安全问题是人类生存和发展的首要问题。近半个世纪以来, 中国粮食生产取得了举世瞩目的成就。然而, 伴随人口的继续增加, 人均资源占有量日益减少, 依靠科技进步提高粮食单产, 将是我国今后发展粮食生产、确保粮食安全的根本出路^[1]。小麦是我国主要的粮食作物, 其产量的高低对我国的粮食完全起着举足轻重的作用。山东省作为农业大省, 是我国小麦的主产区和优质粮食生产基地。进入20世纪90年代以来, 山东省科技工作者开始为实现小麦稳产 9 t/hm^2 而努力。尽管小面积 9 t/hm^2 的麦田屡屡出现, 却往往一纵即逝, 真正实现稳产 9 t/hm^2 , 小面积达到 10.5 t/hm^2 的理论途径尚未形成。为此我们以烟台市小麦高产的实践为基础, 对小麦稳产 9 t/hm^2 , 小面积达到 10.5 t/hm^2 的高产栽

培新途径的理论进行如下探讨。

1 高产规律形成的自然条件

1.1 高产麦田的气候条件

山东烟台地处胶东半岛, 南北两面临海, 位于北纬 $36^{\circ}16' \sim 38^{\circ}23'$ 、东经 $119^{\circ}34' \sim 121^{\circ}57'$, 属暖温带季风型半湿润大陆性气候。年平均气温 11.8°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,474^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\,990^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 小麦生育期内 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$; 年日照时数 $2\,712\text{ h}$, 太阳辐射总量 $5\,222\text{ MJ/m}^2$, 小麦生育期内太阳辐射量约占全年辐射总量的65%, 适期播种的早茬麦(生育期265 d) 全生育期内太阳辐射量可达 $3\,497.2\text{ MJ/m}^2$; 年降水总量690 mm, 约有53%集中在雨季(7-8月), 小麦的生长季节内降水只有200~300 mm。

收稿日期: 2007-11-08

基金项目: 中国粮食安全研究中心资助项目

作者简介: 慕美财(1964-), 男, 山东栖霞人, 学士, 高级讲师, 主要从事作物高产栽培的研究。

1.2 高产麦田的土壤条件

山东烟台高产麦田的土壤多属棕壤,土层较厚,土体厚度一般在> 100 cm,灌溉条件较好。土壤有机质含量 1.0%~ 1.55%,碱解 N 82~ 100 mg/kg,速效 P₂O₅ 35.1~ 116.5 mg/kg,速效 K₂O 89.32~ 119.29 mg/kg。

2 高产规律的形成

2.1 高产规律的演变过程

20 世纪 70 年代初,烟台市以迟范民等为首的农业科技人员开创了一条以分蘖成穗为主,稳定亩穗数,主攻穗粒重的小麦高产途径,称之为“莱阳经验”。该经验着重强调抓好“适期播种、适当减少基本苗、前期培育壮苗、起身期加强肥水管理、后期主攻穗粒重”等技术环节,比较适用于早期播种麦田获取高产^[2]。此后,余松烈等^[3]创立了“精播栽培”,逐步成为迄今全省推广、国内闻名的栽培技术。随着生产的发展,又进一步看到,“莱阳经验”或“精播栽培”沿用的高产途径也存在一定局限性。其一对播期要求过严,不适于中、晚茬小麦应用;其二是群体仍存在倒伏的危险。为解决小麦平衡增产问题,80 年代以来,侯庆福、周复来等率先推出,开创了晚播小麦获取高产的新途径。该方法以主茎成穗为主,并通过“增加苗数,延迟肥水主攻时期、适当减小

行距”等一系列措施,使晚播小麦达到或接近适期播种麦田的产量水平^[4];接着,单玉珊等^[5]完成了小麦高产多途径的理论探讨,从理论和技术上较好地解决了不同播期麦田全面实现单产稳定在 7.5 t/hm² 的问题。

“精播栽培”“独秆栽培方法”、多途径的理论等技术成功地使小麦不同播种期麦田全面实现了稳产 7.5 t/hm²。小面积高产田单产突破 9 t/hm²,但重演性差,真正做到稳产 9 t/hm² 难度很大。经分析造成不能稳产 9 t/hm² 的主要原因,一是受品种生产能力所限;二是重施起身-拔节肥水,稍有不慎,倒伏时有发生,因此不能从根本上排除倒伏危险;三是为防止倒伏只好把单位面积穗数控制在适度偏低水平,很自然地给穗粒重加大了压力,在 7.5 t/hm² 产量水平尚且能够承受,若产量水平再高,其压力越来越大,直到难以承受。

2.1 历年高产实践的启示

为了解小麦单产 ≥9 t/hm² 的高产规律,我们汇总了历年小麦单产 ≥9 t/hm² 分地块的群体结构资料,进行分析并从中得到一定启示。

从表 1 看出,6 块单产 ≥9 t/hm² 麦田的共同特点是,开花期高效 LAI(由上三叶组成)基本保持同等水平(4.47~ 4.71),这是共创高产的基本保证。

表 1 6 块高产麦田密度株型的配合品种(烟农 15 号)

Tab.1 Density and leaves on the high-yield fields

| 年 份 Year | 单 位 Site | 面 积 /hm ² Area | 产 量 /(t/hm ²) Yield | 穗数 /(穗/m ²) Ear No. | 上三叶面积 /(cm ² /茎) Top 3 leaf area | 株 型 Plant type | 开花期高效 LAI Anthesis LAI |
|-------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1981 | 黄县农技站 | 0.066 8 | 9.510 | 685.5 | 65.6 | 大 | 4.50 |
| 1982 | 黄县农技站 | 0.070 0 | 9.045 | 817.5 | 54.8 | 中 | 4.47 |
| 1982 | 乡城南王科技队 | 0.076 7 | 10.417 | 1 020.0 | 45.4 | 小 | 4.63 |
| 1992 | 北马曲阜曲晨忠 | 0.132 6 | 9.222 | 846.0 | 54.84 | 中 | 4.64 |
| 1992 | 中村海刘刘航田 | 0.117 7 | 9.037 | 900.0 | 51.33 | 较小 | 4.62 |
| 1992 | 中村龙化郑延尧 | 0.225 3 | 9.729 | 970.5 | 48.53 | 小 | 4.71 |

地块间穗数变幅较大(685.5~ 1 020.0 穗/m²),相应的单茎上三叶面积变幅也较大(65.6~ 45.4 cm²/茎),正是通过二者的互相配合,形成了各具特色的合理群体结构。可以看出,结构合理与否不在于单位面积内穗数的多少,关键取决于密度与株型的配合。

比较而言,似乎大密度小株型的群体结构具有更明显的优势。其中 1992 年中村龙化郑延尧麦田为 10 月 17 日播种的独秆栽培小麦,1982 年乡城南王科技队麦田却为 9 月 28 日播种的半精播小麦,二者都通过建成大密度小株型的群体结构而获得比较理想的产量,且在各高产地块中居领先水平。故认为可以此作为再高产的突破点。

2.2 选定作为稳产 9 t/hm² 的高产新途径

根据以上探索,确定现阶段稳产 9 t/hm² 的高产新途径为“稳住叶面积系数-控制株型增穗数”,简称“稳叶(LAI)控株(型)增穗”途径。该途径的基本要求是:

将开花期由上三叶组成的高效 LAI 稳定控制在 4.5~ 5 合理范围之内,这是实现稳产 9 t/hm² 的基本保证和前提。在稳住高效 LAI 的前提下把株型控小,借此换取单位面积内穗数的增加,以达扩库之目的,建成以大密度小株型为特色的群体结构,并依此获取更高的产量。

为此必须采取的高产措施为:一是选用稳定生产能力达到 9 t/hm² 以上的优良品种。应选用中穗

型、株型紧凑、抗倒能力强的品种,以利建立大密度小株型群体结构。二是创造能够确保单产达 9 t/hm²水平的土肥水条件。要求土壤养分含量的指标为:有机质> 1.1%、碱解N> 95 mg/kg、速效 P₂O₅> 65 mg/kg、速效 K₂O> 90 mg/kg,若养分含量不足可用增施有机肥等措施加以补救。要求养分总供应时 N> 468.3 kg/hm²、P₂O₅> 500.9 kg/hm²、K₂O> 278.0 kg/hm²,总供水量为 5 628 m³/hm²。三是按播期确定适宜基本苗。为营造高穗叶比群体结构,基本苗不能太少,通常要求始播期的基本苗宜从合理成穗数的 20% 起步,而后逐步增加。四是肥水合理运筹。这是建造合理群体结构并协调源库平衡的关键,主要是改以往春季在起身-拔节运用肥水为在倒3叶露尖~旗叶露尖之间根据苗情科学地运用肥水。五是加强后期管理,既把好扩库的最后一道关,又为增源、畅流创造良好条件。重点保证开花后浇水2次,一次是扬花-鼓粒水、二是灌浆-麦黄水。

表 2 重点高产示范田的产量结构、干物质积累与收获指数

| 年度 Year | 品种 Variety | 产量结构 Yield buildup | | | 产量 /(t/hm ²) Yield | 地上总干质量 /(t/hm ²) Total reserve | 收获指数 Harvest index |
|------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|
| | | 穗数/(穗/m ²) Ear No. | 粒数/(粒/穗) Grain No. | 粒重/(mg/粒) Grain weight | | | |
| 1997 | 8017-2 | 730.5 | 33.09 | 43.9 | 10.610 | 22.454 | 0.4725 |
| 1997 | 924402 | 1030.5 | 26.48 | 35.3 | 9.633 | 20.904 | 0.4680 |
| 1998 | 924402 | 720.0 | 29.13 | 46.1 | 9.669 | 18.760 | 0.5154 |
| 1998 | 8017-2 | 571.5 | 35.66 | 45.5 | 9.274 | 18.466 | 0.5022 |
| 1999 | 莱州 137 | 706.5 | 43.24 | 38.0 | 11.608 | 22.841 | 0.5083 |
| 2005 | 济麦 21 | 634.2 | 36.43 | 39.8 | 9.195 | 19.811 | 0.4644 |
| 2006 | 洲元 187 | 739.5 | 42.2 | 30.1 | 9.393 | 19.750 | 0.4755 |
| 2006 | 西杂 5 号 | 696.0 | 36.6 | 37.9 | 9.654 | 19.380 | 0.4981 |

天气而使粒重下降。) 干物质积累量大、收获指数高是“稳叶控株增穗”麦田的共同特点。通过对表 2 的分析看出,凡单产 ≥9 t/hm² 麦田,生物产量在 18~21 t/hm²,收获指数 0.5~0.45 的适宜范围内,而单产 ≥10.5 t/hm² 麦田的地上干物质总量均达到 22.5 t/hm² 左右,收获指数则达到 0.47 以上。由此笔者认为,在再高产水平(≥10.5 t/hm²)应以提高收获指数作为进一步提高单产的主攻方向。怎样才能有效地提高收获指

3 高产麦田的特点

龙口、莱州市 1997 年开始按高产新途径设置的重点示范田较好地实现了稳产 9 t/hm² 的基本目标,现将其麦田的主要特点分析如下。

3.1 产量结构特点

分析表 2 看出,8 块 9 t/hm² 以上产量的麦田分属 6 个品种。924402 成穗数多、粒重高,但穗粒数少是其限制产量的主要因素;8017-2 成穗数较多、粒重高,但穗粒数偏少,增产潜力比 924402 略大;莱州 137、洲元 18 均属矮秆、小叶型品种,成穗数多、穗粒数也多,且成穗数与穗粒数间矛盾不突出,收获指数高是其明显优势,如此,具有更大的增产潜力。济麦 21 和西杂 5 号成穗数、穗粒数和粒重均处中等水平。8 块麦田的共同特点是,在穗粒数和粒重与普通麦田比未减少的情况,均具有较高的有成穗数。(2005 和 2006 年因小麦后期 5 月底 6 月初出现高温

数? 除注意选用矮秆、小叶、大穗型且收获指数高的品种外,实施“稳叶控株增穗”栽培仍是十分有效的途径,即通过合理的技术调控来增大花后干物质积累相对量,依此有效地换取收获指数的提高。

3.2 经济产量形成期群体结构特点

从表 3 看出,7 块高产示范田开花期 LAI 5.32~6.16,其中高效 LAI 除 8017-2 以外其他品种均达到了 5.0 以上,说明采用了“稳叶控株增穗”的技术使茎叶夹角小,株型紧凑,故可容纳较大叶面积。

表 3 重点高产示范田经济产量形成期的群体结构主要特点

| 年度 Year | 品种 Variety | 开花期 LAI Anthesis LAI | 其中高效 LAI High efficiency LAI | 群体穗颈 维管束总数 /(10 ³ /m ²) Colony total bundle No. | 穗数 /(穗/m ²) Ear No. | 穗叶比 /(穗/m ² 叶) Ear-leaf area ratio | 粒数 /(粒/穗) Grain No. | 粒叶比 /(粒/cm ² 叶) Grain-leaf area ratio | 粒重 /(mg/粒) Grain weight | 产量 /(t/hm ²) Yield |
|------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | | | | | | | |
| 1997 | 8017-2 | 5.32 | 4.55 | 34.845 | 730.5 | 137.31 | 33.09 | 0.4543 | 43.9 | 10.610 |
| 1997 | 924402 | 6.16 | 5.12 | 53.071 | 1030.5 | 167.29 | 26.48 | 0.4430 | 35.3 | 9.633 |
| 1998 | 924402 | 6.08 | 5.00 | 39.024 | 720.0 | 118.42 | 29.13 | 0.3450 | 46.1 | 9.669 |
| 1998 | 8017-2 | 5.92 | 4.36 | 25.775 | 571.5 | 96.54 | 35.66 | 0.3442 | 45.5 | 9.274 |
| 2005 | 济麦 21 | 5.32 | 5.00 | 19.901 | 634.2 | 119.21 | 36.43 | 0.4342 | 39.8 | 9.195 |
| 2006 | 洲元 187 | 6.12 | 5.44 | 35.198 | 739.5 | 120.83 | 42.20 | 0.5099 | 30.1 | 9.393 |
| 2006 | 西杂 5 号 | 6.02 | 5.85 | 33.754 | 696.0 | 115.61 | 36.60 | 0.4231 | 37.9 | 9.654 |

试以穗叶比作为衡量密度与株型关系的指标, 经比较看出, 除 1997– 1998 年度春季多雨, 日照不足, 叶片扩展较大, 虽经控制和自动调节, 建成了小密度大株型群体结构, 穗叶比普遍下降< 120 穗/ m² 叶, 在特定气象条件下有效地避免了倒伏, 但同时也失去了大密度小株型结构所具有的特征和优势; 而西杂 5 号由因杂交种叶片较大穗叶比也< 120 穗/ m² 叶外, 其他年份控制得力, 均建成起了比较理想的大密度小株型结构, 穗叶比 120 穗/ m² 叶。

前人曾把粒叶比看成反映源库协调与平衡程度的指标^[6]。从各示范地块的粒叶比看, 除 1998 年度粒叶比< 0.35 粒/ cm² 叶以外, 其他地块基本> 0.45 粒/ cm² 叶, 这主要是由于 1998 年度群体结构属小密度大株型群体结构所致。

3.3 源流库特点

按彭永欣等^[6] 1992 年所提出的潜在源测算方

法, 潜在源(t/ hm²) = 花后干物质积累量(t/ hm²) + 花前干物质积累量(t/ hm²) × 0.25。其中 0.25 为花前干物质最大转移率。

按单玉珊等^[7] 1998 年所提出的潜在库、总流量测算方法, 潜在库(t/ hm²) = 穗数(个/ m²) × 粒数(粒/ 穗) × 籽粒最大容积*(μL/ 粒) × 最大充实指数(mg/ μL) × 10⁴(m²/ hm²)/ 10⁹(t/ mg), 其中籽粒最大容积在顶满仓时用排水法实测求得; 最大充实指数按 0.75 计。

总流量(t/ hm²) = 群体穗颈维管束总数(10³/ m²) × 平均束通量(mg/ (束·d)) × 有效输导时间(d)/ 10= 实际产量(t/ hm²), 其中穗颈维管束总数是在开花期随机取样、对穗颈进行徒手切片、镜检观察求得。总流量始终等于实际产量。

按以上测算方法对 7 块高产示范田经济产量形成期的源流库进行了考察分析。

表 4 7 块示高产范田潜在源及花前积累的实际转移率

| Tab.4 Actual transferring rate of potential source and dry matter before anthesis on the high-yield fields | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 年度 Year | 品种 Variety | 生物产量 /(t/ hm ²) Dry matter | 花后积累量 /(t/ hm ²) Accumulation before ahthesis | 花前积累量 /(t/ hm ²) Accumulation after anthesis | 潜在源 /(t/ hm ²) Potential source | 实际产量 /(t/ hm ²) Caculated yield | 花前积累实际 转移率/% Actual transferring rate before anthesis | 收获指数 Harvest index |
| 1997 | 8017-2 | 22.454 0 | 7.755 0 | 14.696 0 | 11.432 0 | 10.61 | 19.4 | 0.472 5 |
| 1997 | 924402 | 20.904 3 | 6.247 2 | 14.661 2 | 9.911 2 | 9.632 7 | 23.1 | 0.468 0 |
| 1998 | 924402 | 18.760 2 | 6.397 5 | 12.362 7 | 9.488 1 | 9.669 | 26.46 | 0.515 4 |
| 1998 | 8017-2 | 18.465 6 | 6.073 5 | 12.392 1 | 9.171 6 | 9.273 5 | 25.86 | 0.502 2 |
| 2005 | 济麦 21 | 19.810 5 | 5.289 0 | 14.521 5 | 8.919 4 | 9.195 5 | 26.90 | 0.464 4 |
| 2006 | 洲元 187 | 19.754 6 | 6.747 2 | 13.007 4 | 9.999 0 | 9.393 3 | 20.34 | 0.475 5 |
| 2006 | 西杂 5 号 | 19.382 6 | 7.107 0 | 12.275 6 | 10.175 9 | 9.654 5 | 20.75 | 0.498 1 |

表 5 7 块高产示范田潜在库及其实际充实程度

| Tab.5 Potential sink and its actual enriching degree on the high-yield fields | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| 年度 Year | 品种 Variety | 穗数 /(个/ m ²) Ear No. | 核实粒数 /(粒/ 穗) Grain No. | 籽粒最大容积 /(μL/ 粒) Maximal grain cubage | 潜在库 /(t/ hm ²) Potential sink | 实际产量 /(t/ hm ²) Caculated yield | 粒重 /(mg/ 粒) Grain weight | 实际充实指数 /(mg/ μL) Actual enriching index |
| 1997 | 8017-2 | 730.5 | 33.09 | 60.2 | 10.913 8 | 10.610 0 | 43.9 | 0.729 2 |
| 1997 | 924402 | 1 030.5 | 26.48 | 53.6 | 10.969 6 | 9.632 7 | 35.3 | 0.658 6 |
| 1998 | 924402 | 720.0 | 29.13 | 62.4 | 9.815 6 | 9.669 0 | 46.1 | 0.738 8 |
| 1998 | 8017-2 | 571.5 | 35.66 | 61.8 | 9.446 0 | 9.273 5 | 45.5 | 0.736 2 |
| 2005 | 济麦 21 | 634.2 | 36.43 | 56.5 | 9.167 9 | 9.195 5 | 39.8 | 0.704 4 |
| 2006 | 洲元 187 | 739.5 | 42.20 | 41.0 | 9.596 1 | 9.393 3 | 30.1 | 0.734 1 |
| 2006 | 西杂 5 号 | 696.0 | 36.60 | 56.0 | 10.145 6 | 9.654 5 | 37.9 | 0.713 7 |

表 6 7 块高产示范田组成流的各项指标

| Tab.6 Each index of forming translocation on the high-yield fields | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 年度 Yield | 品种 Variety | 有效茎 /(个/ m ²) Ear No. | 穗颈维管束 /(束/ 茎) Vascular bundle | 群体维管束总 数/(10 ³ / m ²) Colong total bundle No. | 经济产量 /(t/ hm ²) Caculated yield | 有效输导 时间/d Effective traffic time | 日输导量 /(t/ hm ² ·d) Traffic amount per day | 平均束通量 /(mg/ (束·d)) Traffic amount per bundle |
| 1997 | 8017-2 | 730.5 | 47.7 | 34.845 | 10.61 | 41 | 0.258 8 | 0.742 6 |
| 1997 | 924402 | 1 030.5 | 51.5 | 53.071 | 9.632 7 | 30 | 0.321 1 | 0.605 0 |
| 1998 | 924402 | 720.0 | 54.2 | 39.024 | 9.669 | 39 | 0.247 9 | 0.635 3 |
| 1998 | 8017-2 | 571.5 | 45.1 | 25.775 | 9.274 | 40 | 0.231 8 | 0.899 5 |
| 2005 | 济麦 21 | 634.2 | 31.38 | 19.901 | 9.195 | 35 | 0.262 7 | 1.320 2 |
| 2006 | 洲元 187 | 739.5 | 47.6 | 35.198 | 9.393 | 32 | 0.293 5 | 0.833 9 |
| 2006 | 西杂 5 号 | 696.0 | 48.5 | 33.754 | 9.654 | 32 | 0.301 7 | 0.893 8 |

表 4 资料表明,潜在源与实际产量之间存在极显著的正相关($r=0.9225^{**}$),进一步分析可以看出潜在源中的后期干物质积累与实际产量之间存在显著的正相关($r=0.8340^{*}$),所以认为潜在源中的后期干物质积累是影响产量的主要因素。

表 5 资料表明,潜在库与实际产量间存有显著的正相关($r=0.7752^{*}$)表明它在决定产量过程中起重要作用。同时分析看出籽粒最大容积与粒重之间存在着极显著的正相关($r=0.9547^{**}$),而籽粒最大容积是潜在库的重要组成部分,因此其变化也通过粒重的减少而最终影响到产量的提高。2005 和 2006 年都是因为后期高温而使籽粒最大容积减少导致粒重下降,最终使产量没有突破 10.5 t/hm^2 。

表 6 资料表明,在群体穗颈维管束总数与单位面积穗数之间相关极显著($r=0.9187^{**}$),如果把穗颈维管束看成向穗部输送营养的总通道,那么适当增加单位面积穗数将在流的方面带来一定优势。

在 7 块高产示范田中有 3 块(1998: 924402、8017.2; 2005: 济麦 21)产量受限于潜在源不足(在潜在源、潜在库和总流量中潜在源最小),4 块(1997: 8017-2、924402; 2006: 洲元 187、西杂 5 号)产量受限于总流量,均未出现受限于潜在库的现象,这说明采用“稳叶控株增穗”技术旨在建成“大密度小株型”、高穗叶比群体结构^[5],由于亩穗数的增加,使该结构类型在潜在库方面有明显优势。

4 高产规律的生产实践及展望

4.1 稳产 9 t/hm^2 的高产示范始终保持国内领先水平

1996–1999 年烟台市按“稳叶控株增穗”设置的小麦高产示范田,3 年内经专家实打验收有 25 处单产达到 9 t/hm^2 以上。其中 1997 年 10 处,占全省实打达标总处数的 62.6%; 1998 年 12 处,占全省实打达标总处数的 100%; 1999 年虽因气候原因只实打 3 处,仍占全省实打总处数的 50%。另有龙口市北马镇前诸留村 46 hm^2 麦田,由于全面按“稳叶控株增穗”加强管理,致使连续 2 年平均单产达 9 t/hm^2 水平(经省内专家测产验收)。2005 和 2006 年再次在龙口、莱州两地进行示范,所用的 7 个品种均达到单产 9 t/hm^2 以上的产量水平,只是因为这 2 年小麦灌浆期出现 6 次以上的 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温,而使计划单产 10.5 t/hm^2 以上的产量水平没有实现,但在全省仍属当年的领先水平。可见,“稳叶控株增穗”技术使烟台市的小麦高产示范在全省乃至国内始终保持领先水平。

4.2 突破 10.5 t/hm^2 大关,连创国内平原区高产记录

在实打的 25 处小麦高产示范田中,有 3 处经国内著名专家实打验收单产突破 10.5 t/hm^2 ,一是 1997 年龙口市北马镇前诸留村 1.163 hm^2 8017-2 小麦平均单产达到 10.61 t/hm^2 ;二是上述地片中尚有 0.194 hm^2 获单产 10.976 t/hm^2 ,创国内平原区冬小麦单产最高纪录;三是 1999 年莱州市金海作物研究所 0.155 hm^2 莱州 137 小麦获单产 11.608 t/hm^2 ,再次刷新了以上高产纪录。

4.3 小麦高产栽培研究展望

经过几年来的研究,已基本使单产达到 9 t/hm^2 的技术达到成熟,并使单产 10.5 t/hm^2 的产量在小面积上得以实现,从而向人们展示了获取单产 10.5 t/hm^2 产量的极大可能性,近几年来也试图使单产 10.5 t/hm^2 产量得以重演,但都因小麦后期气候的异常而未能实现,说明离稳产 10.5 t/hm^2 的要求还有一定距离。但通过近几年的研究体会,参照前人有关研究结果认为,通过选用小叶型矮秆高产品种、坚持“控株增穗”的高产途径、充分协调源–库平衡、克服小麦后期干热风的危害等措施,实现稳产 10.5 t/hm^2 产量将为期不远。

5 讨论

研究认为,通过肥水适当推迟来控制株型,在建立合理群体结构的基础上,来达到增加穗数的目的,这与品种更新过程中株型的变化不谋而合。建国初期,生产上应用的品种普遍植株较高,收获指数很低,一般只有 0.35 左右;自 70 年代以来,逐步选用虬包、泰山 1 号等半矮秆品种,收获指数提高到 0.4 以上,后随栽培技术的改进,部分高产麦田可提高到 0.45 左右。当时多数育种学者认为,随株高降低,收获指数提高,抗倒能力也随之增强,但株高亦不可降得太矮,因植株太矮常造成叶片重叠,通透性差,反而引起株丛环境恶化。栽培研究给育种工作带来一定的启示,即通过减少叶片面积且伴随株高降低以增强抗倒能力,可以在高穗数下建立合理的群体结构和源–库平衡并提高收获指数,达到高产的目的。近年来莱州 137、莱州 187 等小叶片矮秆品种,尽管株高只有 65 cm,却在高密度情况下株丛并不显得拥挤,仍保持良好的通透性,且伴随株高降低,收获指数达到 0.5 以上,并获得产量的突破此类品种的育成也充分证实了这一点。

长期以来人们为了获取高产常常单从产量 3 因素上做文章,往往调来调去,一个因素上去了另 2 个因素下来了,宛如数学游戏一般,产量依然难以提

高。因为只注重调整产量 3 因素,忽略了密度与株型的配合,事实是很难建成真正合理的群体结构。按源库流的理论,小麦增产途径离不开增源、扩库、畅流 3 个方面。增源需着手扩大光合面积、提高光合强度、延长光合时间和尽量降低消耗 4 个方面。在产量水平较低时,增源重点宜放在扩大光合面积上;高产小麦则需维持适度、合理的光合面积,增源重点应转向提高光合强度和延长光合时间上,当然降耗仍不容忽视。“稳叶控株增穗”技术虽使单株叶面积减少,但由于控制了株型,穗数增加总叶面积并不减少,而且非叶光合面积增加,而且由于改以往春季在起身—拔节运用肥水为在倒 3 叶露尖至旗叶露尖之间运用使倒二叶和旗叶叶片减少,使下面的茎叶受光良好,基部节间充实并防止根系早衰从而可延长叶片的功能期达到增源的目的。库既由亩穗数、穗粒数和籽粒容积组成,扩库自然可以从三方面入手。增加亩穗数当是扩库的有效途径,但以往在增穗的同时,叶面积也随之增大,若继续增穗使叶面积超出合理范围,倒伏便跟踪而至。“控株增穗”技术是在控株的基础上达到增穗的目的,因此在扩库的同时减少了倒伏的危险。维管束系统是流的通道,彭永欣等^[6]指出,穗下节间大维管束数与分化可见小穗数呈极显著正相关;李金才等进一步指出,它不仅影响小穗数,还与穗粒数及穗粒重间相关极显著。Mei Fangzhu^[9]也认为,茎维管束数量可以作为“流”对生产力性状影响程度较大的鉴定指标。“稳叶控株增穗”技术使穗数增加从而使群体穗颈维管束总数增加达到了畅流的目的。综合上述可见,“控株增穗”技术使源、库、流在高水平上协调与平衡,从而可实现产量上的突破。

提高经济系数(或收获指数)和提高粒叶比是实现小麦高产的主攻方向。经济产量=生物产量×经济系数,因此提高经济产量可着手于两个方面,其中生物产量是基础,经济系数则是反映生物产量转化为经济产量的效率。小麦高产本着立足在生物产量相当高的基础上,提高经济系数更具有突出的意义和显著的功效。张立言^[10]指出,经济系数是由开花后干物质积累和贮藏物的输出率决定的。周复来、单玉珊等^[11]也认为,经济系数大小主要取决于花后干物质积累量在生物产量中所占比重和花前物质转移率。因此,在栽培过程中为提高经济系数即可着眼于这两个方面。提高花后干物质积累在生物产量中所占比重,主要利用前期建成的合理群体结构来

增强后期光合生产,从而增加开花后的干物质积累量。提高花前物质转移率,主要依靠开花后保持流畅的输导系统,并充分发挥库的调运能力,共同促成物质转移有较高的速率和较大的转移量。杨建昌等^[12]指出,小麦产量因粒叶比的提高而提高,并认为小麦高产的主要途径应是在适宜叶面积的基础上提高粒叶比。高产新途径所追求的目标与上述观点基本一致。“控株增穗”技术对此有良好的效应,一是通过先控后促的肥水运筹来增强花后光合积累和物质转运,对收获指数产生积极影响;二是通过减少单株叶面积提高穗叶比来带动粒叶比的提高。

鸣谢:本研究得到中国科学院张爱民教授的指导和帮助,在此深表感谢。

参考文献:

- [1] 王宏广. 中国粮食安全研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 93– 235.
- [2] 山东省莱阳农业学校. 蛭包小麦高产栽培的几项指标及其控制途径的探讨[J]. 植物学报, 1974, 16(3): 193– 201.
- [3] 山东农学院小麦栽培生理研究室. 小麦精播高产栽培的理论与实践[J]. 山东农业科学, 1984(1): 1– 5.
- [4] 侯庆福, 周福来. 晚茬小麦高产独秆栽培[J]. 莱阳农学院学报, 1985, 2(2): 23– 29.
- [5] 单玉珊. 小麦高产多途径及其配套技术体系的研究[M] // 卢良恕. 中国小麦栽培研究新进展. 北京: 农业出版社, 1993: 368– 378.
- [6] 彭永欣. 小麦潜在源库及产量关系的研究[M] // 小麦栽培与生理. 南京: 东南大学出版社, 1992: 1– 21.
- [7] 单玉珊, 慕美财. 小麦超高产栽培理论探讨[C] // 单玉珊. 小麦高产栽培研究文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 253– 268.
- [8] 李金才, 陈 峰. 播种密度对小麦茎秆大维管束系统和穗部发育影响的研究[J]. 安徽农业科学, 1996, 24(3): 217– 219.
- [9] 梅芳竹, 周广生. 小麦维管解剖结构与穗粒重关系的研究[J]. 华中农业大学学报, 2001(2): 107– 111.
- [10] 张立言. 高产麦田开花后干物质积累、运转、分配与产量形成[C] // 北京农学院学报—北方小麦栽培研究会论文集. 1988: 76– 82.
- [11] 周复来, 单玉珊. 小麦高产理论与实践[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 97– 99.
- [12] 杨建昌. 稻麦高产群体生育特征及调控技术[C] // 21 世纪主要粮食作物超高产耕作栽培技术方向研讨会论文. 1996: 1– 11.