

小麦栽培与 生理

东南大学出版社

小麦栽培与生理

Cultivation Techniques and Physiology of Wheat

彭永欣 郭文善 严六零 封超年等著

审稿: 凌启鸿

东南大学出版社

(苏)新登字第 012 号

责任编辑: 陈筱燕 刘柱升

小麦栽培与生理

彭永欣等 著

东南大学出版社出版发行

南京四牌楼 2 号

扬州印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 438 千

1992 年 7 月第 1 版 1992 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1-2000 册

ISBN 7-81023-614-8

S·17 定价: 13.80 元

内容简介

本书内容包括：小麦源库的形成与发展、维管输导系统的形成、物质流的流向与输配、根群质量与构型、籽粒营养品质的调节机理与技术以及高产栽培配套技术等。可供从事麦作科学研究、教学与推广工作者参考。

Brief Introduction

The book deals mainly with the formation and development of source and sink, formation of vascular bundle system, translocation and distribution of nutrients absorbed by roots, quality and type of roots, regulation of grain nutritional quality, and high yielding cultural techniques in wheat. The research scientists, professors and technicians involved or interested in wheat sciences will find much useful information in the book.

序

小麦是世界上种植面积最大、总产量最多、营养价值最高、总贸易额最大的粮食作物，其在我国的重要性仅次于水稻。由于小麦栽培和育种科学技术的发展，近40年来，我国小麦产量的年递增率显著大于其他国家，从1983年开始，我国小麦总产已上升到世界第一位。但是，我国小麦目前平均单产与欧洲一些国家相比，还有很大的差距，要使小麦单产更上一台阶尚有待进一步努力。改进小麦栽培技术仍然是提高小麦单产的最直接途径，遗传改良——育种的效果也要通过相应的栽培技术才能得到发挥。进一步提高小麦栽培水平，必须深入进行有关的基础理论研究，特别是有关生理方面的研究。

江苏农学院彭永欣教授等，长期从事小麦栽培研究，并结合进行有关生理研究，陆续取得了显著成果，为促进江淮下游地区的小麦生产发展、丰富小麦栽培理论，作出了重要贡献。近年来，特别是“七五”期间，在所承担的农业部，江苏省科委等的有关科研项目课题研究中，他们对于一些重要问题又有所发现、有所发明、有所创新，分别撰写成论文和总结报告，并将其中的29篇汇编成《小麦栽培与生理》一书。该书各篇大都具有较高的学术水平，对于各种问题的进一步研究和有关栽培措施的改进都有重要的参考价值。

当然，本论文并无意全面而系统地汇编有关小麦栽培与生理的所有论著，但也汇集了反映该科研队伍在上阶段在这个领域研究中所取得的主要成果的篇章。其中对有些重要问题作了较深入的富有启发性的反复探讨：如涉及源库的问题就有三四篇；涉及研究难度较大的根系的问题也有三四篇；涉及结实和籽粒的则有五六篇。这些篇章提供了不少新信息和新见解。有两篇论述氮素营养对小麦籽粒产量与品质调节效应以及两篇分别对小麦和大麦籽粒品质的研究，在当前重视谷物优质研究下特别有意义。此外，有几篇关于机械化栽培和少（免）耕的研究报道，也很有实际参考价值。

本论文集的及时出版发行，对促进我国小麦生产的进一步发展和有关小麦栽培生理的深入研究，将起积极的作用。本论文集中各文都是理论密切联系实际的研究结晶，都能深入浅出地论述各有关问题，很适合于广大小麦科学技术工作者和农业技术行政人员参阅，对于农业院校有关专业师生更具有参考价值。

南京农业大学 吴兆苏
1992年4月23日

序

近一二十年，国内外学者对小麦栽培的研究取得了新的进展，由以往的着重对栽培技术的分析和群体发展的一般分析，转向产量形成过程的生理生态分析、高产群体的发展模型、以及技术措施调控作用的机理等方面，从而使麦作栽培科学由实践经验阶段，开始转向理性认识的阶段，对麦作的“高产、优质、省工、节本”的高效益栽培技术体系的形成，起了极大的指导和推动作用。

继“小麦叶龄模式”和“小、壮、高”理论与技术体系初步建立以后，我的同事、助手和学生于“七五”期间，承接了农业部和江苏省科委下达的“小（大）麦籽粒品质调优栽培”、“小麦产量生理调节机理与应用”等重点科研课题，比较系统地进行了小麦“源、库、流”的形成、发展与产量关系的研究，仔细观察研究了维管输导系统的形成，根系的构型与功能分组，器官间物质流的流向与输配，以及籽粒营养品质调节机理与技术等。通过高产栽培配套技术的分析验证，进一步阐明了小麦叶龄模式和“小、壮、高”理论的机理，充实、完善和发展了小麦叶龄模式和“小、壮、高”栽培理论技术体系，对小麦大面积高产栽培实践更具有广泛的指导意义。

经我审定的几篇主要论文中，提出的单位面积库容数主要由开花前光合源决定，籽粒库的充实度主要由开花后光合源所决定；胚中盾片节维管束是小麦各器官的维管束“源”，各器官维管束分枝联会形成维管束“树”，茎生长锥伸长期是分蘖节中央大维管束数量最终决定期， n 叶的维管束数在 $n-2$ 叶叶片伸长期已被决定； n 叶期发生的节根到 $n+3$ 叶期才进入功能盛期，根系的物质流向与地上部功能叶片的物质流流向生长中心器官相一致；在一定氮素施用量范围内，适量增施氮肥能够提高单位面积上籽粒的粗蛋白质、赖氨酸、人体必须的氨基酸、以及干、湿面筋的含量等结果，都是属于新的观察研究成果，或新的观点，对充实教学内容、启发栽培研究、指导高产、优质、高效栽培，都有积极的作用。

我为我的同事、助手和学生取得的成就感到高兴和骄傲，他们将主要研究论文和总结报告汇集成“小麦栽培与生理”一书，是很有必要的。我高兴地将此书推荐给广大农业科技工作者，希望能引起对小麦栽培生理深入研究的兴趣，使已有的结果进一步深化完善，并不断产生新的理论与实践成果，使小麦栽培科学不断发展，并走在世界的前列。

凌启盛

1992年5月25日

前 言

《小麦栽培与生理》是“七五”期间农业部下达的“小（大）麦籽粒营养品质调优栽培”，江苏省科委下达的“小麦产量生理调节机理与应用”等重点科研课题的主要研究论文、总结报告的汇集。其研究内容涉及作物栽培、作物生理、农业生物物理等学科，由于课题组研究人员的共同努力，在小麦的源、库、流形成与发展、潜在源、潜在库与产量的关系、维管输导系统的形成、物质流的流向与输配、根系的构型与功能分组、籽粒营养品质调节机理与技术，以及小麦高产栽培配套技术等诸方面的研究均取得可喜的进展。

本书出版的目的是向科技同行汇报项目的研究进展、促进交流，更衷心希望得到专家教授与同行有益的指正。

研究与论文撰写过程中曾得到博士生导师凌启鸿教授指导，收入本书的部分论文曾得到南京农业大学博士生导师吴兆苏教授、钱维朴教授、江苏农学院曹显祖教授的斧正，吴兆苏、凌启鸿教授百忙中为本书撰写序言，《江苏农学院学报》副编审王义华、编辑陈筱燕同志为本书出版给予热忱帮助，上海市国营跃进农场、前进农场、江苏省国营云台农场给予支持，这里我们一并表示诚挚的感谢。

彭永欣

1992年5月于扬州

目 次

小麦潜在源、库与产量关系研究	彭永欣等 (1)
小麦器官维管束形成关系研究	彭永欣等 (22)
小麦开花结实规律的研究	彭永欣等 (42)
小麦结实粒数的形成规律研究	郭文善等 (50)
小麦籽粒生长特性分析	郭文善等 (57)
小麦不同花位籽粒重差异及其原因分析	郭文善等 (66)
小麦冠层叶片衰老与籽粒灌浆关系研究	彭永欣等 (73)
氮素对小麦库容量的调节效应研究	彭永欣等 (87)
小麦根群质量的初步研究	严六零等 (96)
小麦根系物质流研究	彭永欣等 (105)
小麦根系在土壤中的分布规律	严六零等 (121)
氮素营养对小麦籽粒产量与品质调节效应的研究	
I. 氮素对小麦籽粒产量与营养品质的调节效应	彭永欣等 (127)
II. 氮素对小麦籽粒营养品质调节效应的生理机制分析	彭永欣等 (145)
小麦剑叶 NR 活性和籽粒营养品质关系的研究	彭永欣等 (159)
高产小麦源库协调栽培途径的探讨	郭文善等 (165)
上海市国营农场小麦机械化高产优质栽培技术研究	赵 以 林 (171)
机械化栽培小麦适期早播高产技术的探讨	倪 中 等 (180)
通南高沙土地地区小麦高产培肥技术研究	钱宏兵等 (186)
少(免)耕小麦倒伏机理与防倒技术研究	郭文善等 (191)
少(免)耕小麦源库特征及其高产技术对策的研究	封超年等 (197)
密度对小麦生长发育的调节效应	刘 宝 玉 (205)
多效唑对小麦源库关系的调节效应	严六零等 (211)
多效唑拌种对小麦胚乳养分消耗及苗质影响研究	严六零等 (220)
喷施 PP ₃₃₃ 对小麦花后物质运转的影响	严六零等 (227)
杂种小麦结实机理研究初报	郭文善等 (234)
氮素营养对啤酒大麦籽粒品质调节效应的研究	彭永欣等 (239)
啤酒大麦籽粒胚乳养分消耗速率及其对苗质的影响	郭文善等 (259)
大麦籽粒重量、蛋白质含量对苗质的影响	严六零等 (266)
“西引 2 号”大麦亩产 500kg 的栽培技术	刘宝玉等 (273)

Cultivation Techniques and Physiology of Wheat

Contents

Studies on the relationship of potential source and sink to yields in wheat	Peng Yongxin et al.(1)
Studies on the relationship of vascular bundles formation among organs in wheat	Peng Yongxin et al.(22)
Flowering rules of florets in wheat	Peng Yongxin et al.(42)
Determination of grain number in wheat	Guo Wenshan et al.(50)
Analysis on the grain growth characters in wheat	Guo Wenshan et al. (57)
Weight difference of grains at different positions and its reason	Guo Wenshan et al. (66)
Relationship between wheat crown layer leaves senescence and grain filling	Peng Yongxin et al. (73)
Effects of nitrogen on sink capacity in wheat	Peng Yongxin et al. (87)
Studies on quality of roots in wheat	Yan Liuling et al. (96)
Studies on the translocation of nutrients absorbed by roots in wheat	Peng Yongxin et al. (105)
The rule of root distribution in soil in wheat	Yan Liuling et al.(121)
Effects of nitrogen on grain yield and quality in wheat I . Regulation of nitrogen on grain yield and quality ...	Peng Yongxin et al. (127)
Effects of nitrogen on grain yield and quality in wheat II . Physiological aspects related to effects of nitrogen on grain quality	Peng Yongxin et al. (145)
Relationship between NR activity of flag leaf and grain quality in wheat	Peng Yongxin et al. (159)
Cultural approach coordinating source and sink for high yield in wheat	Guo Wenshan et al. (165)

Mechanical cultural techniques for high yield and good quality of wheat in Shanghai national farms	Zhao Yilin (171)
Mechanical cultural techniques for high yield in wheat ---	Ni Zhong et al. (180)
High yielding cultural techniques of wheat in high-sandy region	Qian Hongbin et al. (186)
Physiological aspects related to lodging and preventive techniques against lodging in wheat with no or minimum tillage	Guo Wenshan et al. (191)
Source-sink characters and high yielding cultural techniques of wheat with no or minimum tillage	Feng Chaonian et al. (197)
Effects of plant density on growth and development in wheat	Liu Baoyu (205)
Effect of multi-effect triazole (PP ₃₃₃) on the relationship of source and sink in wheat	Yan Liuling et al. (211)
Effect of seeds treated with PP ₃₃₃ on consumption of endosperm and quality of young seedlings in wheat	Yan Liuling et al. (220)
Effect of PP ₃₃₃ on transference of photosynthetic matter after anthesis in wheat	Yan Liuling et al. (227)
Primary study on seed-set mechanism of hybrid wheat	Guo Wenshan et al. (234)
Studies on effects of nitrogen fertilizer on regulating grain quality in malting barley	Peng Yongxin et al. (239)
Endosperm consumption rate and its influence on seedling quality in brewer's barley	Guo wenshan et al. (259)
Effects of grain weight and protein content of seeds on seedling quality in barley	Yan Liuling et al. (266)
High yielding cultural techniques of xiyin No.2	Liu Baoyu et al. (273)

小麦潜在源、库与产量关系的研究

彭永欣 封超年 郭文善 严六零

摘 要 本文探讨了小麦不同群体源的发展、库的形成与充实过程, 提出了小麦产量与潜在源、潜在库的大小呈极显著正相关关系。1、小麦一生叶面积指数 (y) 依出苗后天数 (x) 的回归关系可以用数学模型 $y = e^{(a+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4)}$ 来表达。据此, 将叶面积的消长过程分为四个阶段: (1) 出苗至越冬, 称为低速增长期; (2) 越冬至返青, 称为缓慢增长期; (3) 返青至孕穗, 称为快速增长期; (4) 孕穗至成熟, 称为衰减期。群体类型不同, 其数学模型的参数, 如第三阶段的出现期、极值 (LAI) 及出现时间、叶面积持续期 (LAD) 等均有差异, 因而引起群体生物产量 (YB) 及净同化率 (NAR) 的差异。2、潜在源是小麦最大生产力的物质基础。据对小麦不同群体开花前、开花后干物质积累量及其对籽粒产量的贡献分析, 小麦在灌浆期间其花前贮存物可有 25% 左右转移给籽粒, 花后的干物质积累基本用于籽粒充实。从理论上确定了总光合源中用于籽粒灌浆物质的最大值, 简称为潜在源。其计算公式为: 潜在源 = 花前干物质积累量 $\times$ 25% + 花后干物质积累量。3、潜在库是小麦籽粒产量的上限。小麦源库关系的分析表明, 潜在库的单位库容数主要由开花前的光合源决定, 总实粒数 (y) 依花前干物质积累量的关系为: $y = -363.9821 + 2.038x$ ($r = 0.8800^{**}$)。潜在库的充实度主要是由开花后的潜在源所决定, 粒重 (y) 与每粒占有花后潜在源 (x_1 , mg/粒) 的回归模型为 $y = 8.2941 + 0.9969x_1$ ($r = 0.8275^{**}$)。经济产量最终决定于潜在源的大小 ($r = 0.8292^{**}$) 及其利用率 ($r = 0.5927^{**}$)。当潜在源的利用率达 100% 时, 潜在源与潜在库等值, 两者均可用以表示籽粒产量的上限。

关键词 小麦; 潜在源; 潜在库

STUDIES ON THE RELATIONSHIP OF POTENTIAL SOURCE AND SINK TO YIELDS IN WHEAT

Peng Yongxin Feng Chaonian Guo Wenshan Yan Liuling

(Dept. of Agron., Jiangsu Agric. Coll., Yangzhou 250001)

ABSTRACT It could be seen that yields were significantly positively correlated to the size of potential source and sink according to the research on the processes of source development and sink formation in wheat (*Triticum aestivum* L.).

1. The relationship between leaf area index (LAI) (y) and the days after seedling emergence could be expressed as the model:

$$y = c^{(a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4)}$$

Therefore, the development of leaf area could be divided into four periods: (1). slowly-increase-period, from seedling stage to overwintering stage. (2). Slightly-increase-period, from overwintering stage to turning green stage. (3). Fast-increase-period, from turning green stage to booting stage. (4). Decline-period, from booting stage to maturity. The parameters of the model, for example, the beginning time of the third period, the value and emergence time of maximum LAI and leaf area duration (LAD), varied with the change of population types. As a result of that, biological yield (YB) and net assimilation rate (NAR) changed.

2. Potential source was the material base of maximum productivity. By analysing the amount of accumulated dry matter before and after anthesis and its contribution to grains, it was probably correct that 25% of accumulated dry matter before anthesis could be transferred to grains and all accumulated dry matter after anthesis could be transferred to grains during grain filling stage. The theoretical maximum value of dry matter for grain filling could be calculated by the formula: weight of dry matter at flowering stage $\times$ 25% + amount of accumulated dry matter after anthesis, which could be called potential source simply.

3. Potential sink was the theoretical maximum value of grain yield. The number of grains per unit area was determined by the size of source before anthesis. The total grain number (y) was positively correlated to the amount of accumulated dry matter before flowering (x), $y = -363.9821 + 2.038x$ ($r = 0.8800^{**}$). The filling degree of potential sink was mainly determined by the potential source after anthesis. The relationship between grain weight (y) and potential source occupied by one grain (x , mg / grain) could be described by the regression equation: $y = 8.2941 + 0.9969x$ ($r = 0.8275^{**}$) and utilization percentage of potential source ($r = 0.5927^{**}$). If the utilization percentage of potential source could get 100%, maximum grain yield would be obtained. potential source and potential sink had the equal value, each of which could represent theoretical maximum value of grain yield.

KEY WORDS Wheat; Potential source; Potential sink

0 引 言

1928年Mason和Maskell提出作物生产的源库理论以来,前人对源库关系的研究曾有过大量的报告,但对提高作物产量的限制因子是源还是库的观点并不完全一致。如英国(Watson, 1963, Welbank, 1968)和北欧学者依据产量与开花后的叶面积密切相关和遮

光或剪叶产量普遍降低的试验结果,认为“源”是产量的限制因素,主张扩源,通过提高光合产物总量而提高产量;澳大利亚学者(Evans等,1975)则依据“在强光下,光合能力不限制籽粒产量,光合作用能够满足,甚至超过籽粒发育的最大需要量”的试验结果,认为“库”是产量的限制因子,主张扩库,通过增加总结实粒数来提高产量;我国学者经过大量数据分析,认为源库关系是复杂的,要获得高产,既要扩库,又要增源,曹显祖等(1988年)提出水稻产量依源、库关系,可将品种分为源限制、库限制和源库互作三种类型。作者认为,源与库是相互依赖又相互制约的统一体,高产小麦群体,二者应是彼此促进,保持适当比例,协调发展的。本文据1986~1988年的试验结果,认为小麦产量的形成是源库发展的结果,但经济产量主要是潜在源和潜在库决定的。现将研究结果报告如下。

1 材料和方法

试验地点:江苏农学院实验农牧场。

土壤肥力:试验I为碱解氮0.0208%、速效磷130mg/kg、速效钾118.25mg/kg,试验II、III分别为0.1051%、89.95mg/kg、65mg/kg和0.0983%、83.45mg/kg、70mg/kg。

供试品种:扬麦5号、济南14号。

1.1 试验设计

试验I:1986~1987年,密度×肥料运筹二因素试验,品种:扬麦5号,密度为每亩^①基本苗5万、10万、15万、20万、25万、30万6个水平,氮肥运筹为:基肥(6kg/亩,单位下同)+苗肥(4)、基肥(6)+拔节肥(4)、基肥(6)+苗肥(2)+保花肥(2)和基肥(4)+1/0、3/0、5/0、7/0、9/0、11/0各施1.2kg氮4个水平,总施氮量每亩均为10kg纯氮。裂区设计,重复3次。

试验II:1987~1988年,密度×施氮量二因素试验,品种、基本苗同I,施氮量为每亩施0、10、20、30kg纯氮4个水平。裂区设计,重复3次。

试验III:密度×施氮量二因素试验,品种为济南14,试验设计同试验II。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶片面积、厚度、长、宽、空间分布及叶绿素含量

于3/0、5/0、7/0、8/0、9/0、10/0、11/0(济南14尚有12/0、13/0)叶期、孕穗、抽穗、开花、花后10、20、30天,用MODEL LI-3000叶面积测定仪和干重法测定各处理叶面积;于各叶片功能期测定其叶面积和干重,计算比叶重(mg/cm²),表示叶片厚度;开花期用量角器测定各叶片与茎秆的夹角;孕穗期用热乙醇提取法测定各处理剑叶、倒2和倒3叶的叶绿素含量。

1.2.2 干物重

在叶面积测定的同时测定植株各器官的干物重。

注:①1亩=1/15公顷=666.6m²(下同)

1.2.3 光合强度

于孕穗期采用改良半叶法同时测定植株的剑叶、倒2和倒3叶的光合强度。

1.2.4 后期光合产物的分配

于开花期, 分别以 ^{14}C 标记有关处理的剑叶、倒2和倒3叶, 成熟期取样, 分器官测定各叶片光合产物(^{14}C)的流向。

1.2.5 收获期计产、考种。

2 结果与分析

2.1 源的形成与发展

所谓“源”(Source)是指生产光合产物的器官, 它包括绿色的叶片、叶鞘、茎秆、颖壳和芒等, 这里仅以叶面积的大小、持续期的长短和光合能力的强弱为代表, 研究源的形成与发展。

不同的群体起点和施肥水平, 其群体结构不同, 源的发展速度也不同, 主要表现为各生育时期的叶面积、干物质积累量有显著差异, 为便于对不同群体作描述, 本文将最高叶指低于5的群体称为“过小群体”, 将最高叶指达9左右的群体称为“过大群体”, 将最高叶指为7左右, 生物产量和经济产量均高的群体称为“高产群体”。

2.1.1 叶面积消长的数学模型

小麦第一张叶出土后, 光合源即开始形成, 此后源的发展因群体起点的大小而有明显的差异, 但其发展过程如以出苗后时间为自变数(x), 叶面积指数为依变数(y), 将叶指依生育期的关系用数学模型

$$y = e^{(a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + \dots + b_nx^n)}$$

进行分析, 经逐步回归, 两个品种、两个年度的72个处理叶指的发展依生育期的回归关系均可以指数方程

$$y = e^{(a + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4)}$$

表示。限于篇幅, 本文仅以“过小”、“过大”和“高产”三个类型的群体为代表, 对小麦叶指消长模型予以说明(图1, 表1)。

由模型可以看出, 不同群体起点的处理其叶指的消长动态均可以分为4个时期:

- 1、由出苗至越冬为低速增长期, 由于此期所出生的叶片数和分蘖数较少, 各叶面积较小, 因而每亩叶面积的增长速度较低;
- 2、越冬至返青为缓慢增长期, 此期小麦植株单叶面积虽渐次增加, 但在低温条件下, 出叶周期延长, 叶面积同样增长较少;
- 3、由返青至孕穗为快速增长期, 此期气温已回升, 植株进入快速生长阶段, 至孕穗, 叶片全部抽出, 叶指达峰值;
- 4、由孕穗至成熟为衰减期, 此期植株的生长中心已转为生殖生长, 叶

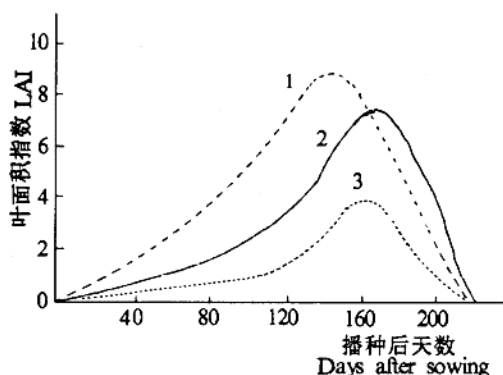


图1 不同群体叶面积指数消长模型

Fig.1 Leaf area index changes of different populations

- | | | |
|---|------|-----------------------|
| 1 | 过大群体 | Too great population |
| 2 | 高产群体 | High yield population |
| 3 | 过小群体 | Too small population |

面积随着叶片的消亡而衰减,至成熟叶指为零。但不同群体的叶面积消长数学模型,其有关参数的差异是十分显著的(表1)。如扬麦5号小麦,过小群体的最大叶指值只有3.71;过大群体高达9.10,且于倒1叶期出现,激化了群体矛盾;而高产群体的最大叶指至孕穗期才出现,叶指增长和下降均比较平稳。济南14号小麦亦呈相同趋势。两品种高产群体叶面积消长模型的拐点2(由缓慢增长期转入快速增长期时间)分别较过大群体推迟13天和30天,有效地控制了无效叶、蘖的发生,改善了群体结构,增加了中后期叶片的寿命,延长了绿色叶片的持续期。

表1 叶指(y)依生育期(x)的回归模型及参数
Tab.1 Regression models of LAI and growth period

品种 Cultivar	群体类型 Population type	模 型 Models
扬麦5号 Yangmai No.5	过小 Too small	$y = e^{[-0.0424 + 0.0419x - (2.2944 \times 10^{-4})x^2 + (2.5799 \times 10^{-6})x^3 - (0.9659 \times 10^{-9})x^4]}$
	高产 High yield	$y = e^{[-0.0614 + 0.0219x - (3.5431 \times 10^{-4})x^2 + (3.8779 \times 10^{-6})x^3 - (1.2360 \times 10^{-9})x^4]}$
	过大 Too great	$y = e^{[-0.0191 + 0.0223x - (1.6340 \times 10^{-4})x^2 + (1.9215 \times 10^{-6})x^3 - (7.5515 \times 10^{-9})x^4]}$
济南14 Jinan 14	过小 Too small	$y = e^{[-0.0843 + 0.0228x - (5.5089 \times 10^{-4})x^2 + (5.4339 \times 10^{-6})x^3 - (1.5432 \times 10^{-8})x^4]}$
	高产 High yield	$y = e^{[-0.0925 + 0.0255x - (6.3896 \times 10^{-4})x^2 + (6.5375 \times 10^{-6})x^3 - (1.8919 \times 10^{-8})x^4]}$
	过大 Too great	$y = e^{[-0.0237 + 0.0354x - (3.8518 \times 10^{-4})x^2 + (3.3002 \times 10^{-6})x^3 - (1.0397 \times 10^{-8})x^4]}$

品种 Cultivar	群体类型 Population type	拐点1 Turning point 1		拐点2 Turning point 2		极大值(LAI) Maximum LAI	极大值出现期 LAI max emergence time
		x(Day)	y(LAI)	x(Day)	y(LAI)		
扬麦5号 Yangmai No.5	过小 Too small	38	0.31	111	1.45	3.71	孕穗期 Boot stage
	高产 High yield	41	0.49	115	2.55	7.42	孕穗期 Boot stage
	过大 Too great	42	0.88	85	3.42	9.10	剑叶初期 Flag leaf tip emergence
济南14 Jinan 14	过小 Too small	45	0.24	130	1.52	4.4	孕穗期 Boot stage
	高产 High yield	44	0.65	129	2.79	7.7	孕穗期 Boot stage
	过大 Too great	54	2.28	116	3.39	11.21	倒2叶期 2nd leaf from top stage

2.1.2 产量生产期叶面积持续期是衡量群体光合源发展是否合理的指标

根据图1中建立的叶指消长模型,如以各生育期的起讫时间为x的A(下限)、B(上限)值,求出各段的积分,从理论上表述各生育时期的叶指总量,进而换算出叶面积持续期

(LAD) 列于表 2。可以看出, 过小群体一生各生育期的 LAD 和干物质积累量 (ADM) 均是最低; 过大群体的叶指增长过快, 且最高叶指达 10 以上, 前期 LAD 和 ADM 均为最大, 至中期 ADM 已明显下降, 至开花后, LAD 和 ADM 均较低, 导致籽粒充实期干物质积累量减少; 高产群体前中期叶指增长快而稳, 后期衰减平缓, 一生中各生育期光合源发展均较合理, 从而有效地增大了 LAD, 提高了花后的 ADM, 为开花后库的充实提供了较高的物质来源。

表 2 小麦不同群体各生育阶段的 LAD 和 ADM (扬麦 5 号)

Tab.2 LAD and ADM at different growth stage (Yangmai No.5)

群体类型 Population type	出苗—拔节 Seedling emergence—elongation stage		拔节—开花 Elongation stage—Anthesis		开花—成熟 Anthesis—Maturity	
	LAD	ADM	LAD	ADM	LAD	ADM
过小 Too small	350.61	72.60	1510.24	467.93	780.52	191.46
高产 High yield	509.48	134.49	2374.29	786.80	1571.16	407.61
过大 Too great	969.80	246.00	3012.40	671.47	1280.02	270.94

注: ADM 干物质积累量。

Note: ADM accumulated dry matter amount.

2.1.3 产量生产期叶的光合强度是衡量源质量的指标

小麦同一品种由于密肥等因素构成的不同群体, 群体间除叶面积有差异外, 叶的质量也各不相同。由表 3、4 分析可知, 高产群体的最后 3 张叶片宽而厚、叶绿素含量高, 具有叶夹角较小的、直立的空间模型, 减小了群体消光系数, 使得阳光在冠层内有一个良好的垂直分布, 从而提高了群体的光合强度 (表 5)。如 1988 年扬麦 5 号小麦, 在孕穗期, 高产群体的倒 3 叶光合强度仍达 $8.23\text{mg}/\text{dm}^2\text{h}$, 而过大群体仅为 $0.85\text{mg}/\text{dm}^2\text{h}$, 两者相差 9.67 倍, 1987 年两者相差 11.27 倍, 过大群体消光系数比高产群体高 16.95%。由此说明, 高产群体的光合源具有较高的光合生产能力。

表 3 小麦不同群体的叶片质量参数 (扬麦 5 号)

Tab.3 Leaf quality parameters (Yangmai No.5)

群体类型 Population type	叶长 × 宽 (cm) Leaf blade length × width (cm)		
	剑叶 Flag leaf	倒 2 叶 2nd leaf from top	倒 3 叶 3rd leaf from top
高产 High yield	24.79×2.03	26.00×1.80	22.43×1.64
过大 Too great	23.05×1.81	25.35×1.66	25.81×1.58

续、表

群体类型 Population type	叶厚(mg / cm ² 叶) Leaf blade thickness (mg cm ⁻² leaf ⁻¹)			叶绿素含量(mg / cm ² 叶) Chlorophyll content (mg cm ⁻² leaf ⁻¹)		
	剑叶	倒 2 叶	倒 3 叶	剑叶	倒 2 叶	倒 3 叶
	Flag leaf	2nd leaf from top	3rd leaf from top	Flag leaf	2nd leaf from top	3rd leaf from top
高产 High yield	4.416	4.966	3.838	5.036	4.652	3.889
过大 Too great	4.020	3.330	3.350	4.200	3.554	3.182

表 4 小麦不同群体的叶片夹角及群体消光系数 (扬麦 5 号)

Tab.4 Leaf angle and light-receiving coefficient of different populations (Yangmai No.5)

群体类型 Population type	叶茎夹角(度) Leaf angle (degree)			LAI	消光系数 Light-receiving coefficient
	剑叶	倒 2 叶	倒 3 叶		
	Flag leaf	2nd leaf from top	3rd leaf from top		
高产 High yield	52.0	39.0	46.0	7.482	0.584
过大 Too great	59.5	47.0	52.5	10.050	0.683

表 5 小麦不同群体孕穗期各层叶片光合强度 (扬麦 5 号)

Tab.5 Photosynthesis rate of different populations at boot stage (Yangmai No.5)

测定日期 Measuring date (y.m.d)	自然光强 Natural light intensity	群体类型 Population type	光合强度(干物质 mg dm ⁻² h ⁻¹) Photosynthesis rate (mg dry matter dm ⁻² h ⁻¹)		
			剑叶	倒 2 叶	倒 3 叶
			Flag leaf	2nd leaf from top	3rd leaf from top
1987.4.13	7.2 × 10 ⁴ Lux	高产 High yield	20.59	15.92	3.37
		过大 Too great	18.00	10.10	0.03
		高产 High yield	18.47	13.90	8.23
1988.4.14	8.4 × 10 ⁴ Lux	过大 Too great	17.03	10.03	0.85

由表 6 还可以看出, 过小群体生长量不足, 虽然生育期间净同化率 (NAR) 较高, 但由于一生叶面积在各生育阶段均是最低, 最高生物产量只有 732.08kg; 过大群体, 虽然前中期积累较快, 至孕穗期亩干重已达 704.98kg, 但由于中后期个体与群体矛盾的激化, NAR 降低, 最高干重虽达 1188.41kg, 终因无效光合生产多, 经济产量亦不高;