

国家自然科学基金项目 (31360307)

大麦栽培生理 及其生长模拟

徐寿军 著

中国农业科学技术出版社

国家自然科学基金项目 (3136030)

大麦 栽培生理 及其生长模拟

徐寿军 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大麦栽培生理及其生长模拟 / 徐寿军著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2017. 5

ISBN 978 - 7 - 5116 - 2959 - 3

I. ①大… II. ①徐… III. ①大麦 - 栽培技术 IV. ①S512. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 011932 号

责任编辑 徐定娜 郑 瑛

责任校对 李向荣

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109707 82105169 (编辑室)

(010) 82109702 (发行部) (010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82109707

网 址 <http://www.castp.cn>

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787mm × 1 092mm 1/16

印 张 12.75

字 数 303 千字

版 次 2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

定 价 36.00 元

————— 版权所有 · 翻印必究 —————

前 言

大麦是我国原产作物之一，具有早熟、抗逆、丰产、营养丰富、用途广泛等特性。在农业生产和国民经济中发挥着重要作用。大麦在农作物结构中占有一定地位：在多熟制地区，大麦是重要的前茬作物，能达到全年均衡增产；因比小麦早熟，在干热风严重多发地区，可避开干热风危害；大麦耐迟播，在晚秋作物收割晚或秋涝积水区，种植大麦，不致影响粮食产量；大麦耐盐碱，是盐碱地改良的先锋作物；大麦耐瘠薄，抗干旱，可以优化作物布局，平衡农业生态。大麦具有优良的食用价值：大麦营养成分较为丰富，含蛋白质、脂肪、碳水化合物、膳食纤维、钙、磷、铁、维生素、硫胺素、核黄素、尼克酸、尿囊素等。大麦是养殖业的优质饲料：其蛋白质含量高，氨基酸组成齐全，矿物质和维生素含量丰富。在饲用效果上，可使脂肪变白变硬，达到瘦肉多、肉质好的效果。大麦在食品工业上具有广泛的用途：大麦是酿造啤酒的必需原料，酿造优质啤酒，必须有优质大麦以生产出优质麦芽；大麦也可酿造酒精，制作麦曲、饴糖、味精、点心、糖果、茶、麦乳精、麦芽糖、糊精等。大麦可以用在医药工业上：用来制作酵素、酵母、核苷酸和乳酸钙等，还可入药，具有健胃和消食作用。大麦还是一种理想的实验作物：其类型丰富，分布遍及世界各地，是典型的自花授粉作物，人工杂交后结实率高，便于对其性状进行遗传分析；染色体少而大，便于观察研究；经过理化诱变后性状易发生突变，便于对染色体组型和变异进行研究，是细胞遗传学、生理学、酶学、病理病毒学、遗传工程学等研究的一种优良的实验作物。

因此，开展大麦研究，在确保国家粮食安全、实现农业可持续发展、转变农业发展方向、全面推进农业现代化的今天，意义重大。

大麦在生长、发育、产量和品质形成过程中，会受到自身遗传因素和外部环境的影响。从栽培生理的角度探究外界环境和遗传因素对大麦的影响，是大麦优质高产高效生产实践的理论基础。农业信息技术是随着信息科学的快速发展和农业知识的丰富积累而建立起来的新兴交叉学科，正在对传统的农业科技和农业生产产生深刻和广泛的影响。其中，作物模拟技术作为农业信息技术的核心内容和基础成分，是农业信息技术的突出代表，已经显示出强大的生命力和发展态势，为农业生产的现代化提供了桥梁和纽带。将作物模拟技术应用于大麦栽培生产，实现大麦生产的智能化、精确化和数字化，是现代农业的发展趋势和必然要求。

本书从作物栽培生理和作物生长模拟两个方面对大麦生长发育和产量品质形成进行了系统研究。全书共六章，即：大麦生长发育及干物质积累转运特性、大麦器官氮素积累与转运特性、大麦籽粒灌浆特性、大麦产量品质形成生理生态基础、大麦抗性生理、大麦生长模拟模型。栽培生理部分包括肥料、密度、播期、盐分、温度、光照、纬度、

海拔等外界因素和品种特性等遗传因素的影响。以此为支持研究，构建了大麦生长发育模拟模型，包括阶段发育和物候期、植株的形态发生与器官建成、光能利用与同化物生产、不同器官间的同化物分配与利用、土壤养分动态与植株利用等 5 个方面，体现出大麦生产系统的 5 个水平，涵盖了大麦生长模拟的 6 个亚系统。

本书为国家自然科学基金项目（31360307）。本项目在研究过程中，得到扬州大学的庄恒扬教授、许如根教授、周桂生教授，内蒙古农牧业科学研究院的张凤英研究员、刘志萍研究员，内蒙古农业大学的包海柱研究员的大力支持和帮助，在此一并感谢。

因水平有限，错误和疏漏在所难免，敬请批评指正。

著 者
2017 年 5 月

目 录

第1章 大麦生长发育及干物质积累、转运特性	(1)
1.1 大麦生长发育特性	(1)
1.1.1 大麦分蘖特性	(1)
1.1.2 大麦叶面积及其叶面积指数	(2)
1.2 大麦干物质积累、转运特性	(3)
1.2.1 春大麦干物质积累、转运特性	(3)
1.2.2 冬大麦干物质积累与转运	(8)
第2章 大麦器官氮素积累与转运特性	(12)
2.1 春大麦氮素积累与转运	(12)
2.1.1 春大麦植株各器官含氮量的动态变化	(12)
2.1.2 春大麦植株各器官氮积累量的动态变化	(14)
2.1.3 春大麦植株各器官氮转运特点	(15)
2.2 冬大麦氮素积累与转运	(16)
2.2.1 冬大麦各器官氮含量特点	(16)
2.2.2 冬大麦植株氮积累和转移特点	(18)
2.2.3 冬大麦各器官氮素积累与转运特点	(23)
第3章 大麦籽粒灌浆特性	(28)
3.1 氮肥水平对大麦籽粒灌浆的影响	(28)
3.1.1 不同氮肥处理下大麦的籽粒灌浆动态	(28)
3.1.2 不同氮肥处理下大麦籽粒的灌浆特点	(29)
3.1.3 不同氮肥处理下大麦籽粒灌浆的阶段特点	(30)
3.2 播期对大麦籽粒灌浆的影响	(32)
3.2.1 播期对大麦籽粒增重的影响	(32)
3.2.2 不同播期处理大麦籽粒重的积累特点	(34)
3.2.3 不同播期处理大麦籽粒重的阶段积累特点	(35)
第4章 大麦产量、品质形成的生理生态基础	(37)
4.1 播期对大麦产量和品质形成及其相关性的影响	(37)
4.1.1 播期对大麦产量和品质指标的影响	(37)
4.1.2 播期对大麦游离氨基酸的影响	(43)
4.1.3 播期对大麦蛋白质的影响	(49)
4.2 氮肥对大麦产量、品质的影响及其相关分析	(55)

4.2.1	氮肥对大麦产量、氮肥利用效率的影响及其相关分析	(55)
4.2.2	氮肥对大麦游离氨基酸影响	(60)
4.2.3	氮肥对大麦蛋白质的影响	(69)
4.3	籽粒蛋白质积累与其他器官游离氨基酸和蛋白质积累的相关分析	(80)
4.3.1	大麦籽粒蛋白质积累量与其他器官游离氨基酸积累量的相关分析	(80)
4.3.2	籽粒蛋白质积累与其他器官蛋白质积累的相关分析	(84)
4.4	大麦籽粒蛋白质积累的特点	(88)
4.5	大麦叶片、茎秆、籽粒等器官总 RNA 的提取	(92)
第5章	大麦抗性生理	(96)
5.1	NaCl 胁迫对大麦幼苗生长的影响	(96)
5.1.1	NaCl 胁迫对大麦幼苗生物量的影响	(96)
5.1.2	NaCl 胁迫对大麦幼苗盐害指数的影响	(98)
5.2	NaCl 胁迫对大麦幼苗光合特性的影响	(99)
5.2.1	NaCl 胁迫对大麦幼苗净光合速率的影响	(99)
5.2.2	NaCl 胁迫对大麦幼苗气孔导度的影响	(99)
5.2.3	NaCl 胁迫对大麦幼苗胞间二氧化碳浓度的影响	(100)
5.2.4	NaCl 胁迫对大麦幼苗蒸腾速率的影响	(101)
5.2.5	NaCl 胁迫对大麦幼苗叶绿素含量的影响	(101)
5.3	NaCl 胁迫对大麦叶片抗氧化系统及抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	(102)
5.3.1	NaCl 胁迫对大麦幼苗抗氧化系统的影响	(102)
5.3.2	NaCl 胁迫对大麦叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	(105)
5.4	NaCl 胁迫对大麦籽粒抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	(108)
5.4.1	NaCl 胁迫对大麦籽粒 H_2O_2 含量的影响	(109)
5.4.2	NaCl 胁迫对大麦籽粒 APX 活性的影响	(110)
5.4.3	NaCl 胁迫对大麦籽粒 GR 活性的影响	(110)
5.4.4	NaCl 胁迫对大麦籽粒 AsA、DHA 含量及 AsA/DHA 比值的影响	(110)
5.4.5	NaCl 胁迫对大麦籽粒 GSH、GSSG 含量及 GSH/GSSG 比值的影响	(112)
第6章	大麦生长模拟模型	(115)
6.1	大麦顶端发育和物候期模型	(115)
6.1.1	作物发育温度热效应 Beta 模型的理论分析	(115)
6.1.2	模型描述及检验	(120)
6.2	大麦主茎叶龄与单株绿叶面积模型	(133)
6.2.1	模型的假设与描述	(133)
6.2.2	品种遗传参数的确定及模型的检验	(134)
6.3	大麦叶面积指数模型	(137)
6.3.1	模型的描述	(137)
6.3.2	参数的确定及模型的检验	(138)

6.4 大麦穗和茎秆生长模型	(145)
6.4.1 模型的假设与描述	(145)
6.4.2 品种遗传参数的确定及模型的检验	(146)
6.5 大麦干物质积累模型	(152)
6.5.1 光合作用模型	(152)
6.5.2 冠层呼吸作用模型	(153)
6.5.3 干物质积累	(153)
6.5.4 模型检验	(154)
6.6 大麦干物质分配预测模型	(158)
6.6.1 模型的描述	(158)
6.6.2 模型的检验	(160)
6.7 大麦花后穗部氮素积累的特征分析及动态模拟	(167)
6.7.1 大麦花后穗部氮积累方程及其参数的特征分析	(167)
6.7.2 大麦花后穗部氮积累动态模型的检验	(168)
6.8 大麦籽粒蛋白质含量预测模型	(169)
6.8.1 模型的描述	(169)
6.8.2 模型的检验	(174)
参考文献	(190)

第1章 大麦生长发育及干物质积累、转运特性

大麦系禾本科大麦属的一年生或越年生草本植物，具有生育期短、适应能力强、早熟高产、耐盐碱干旱、耐瘠省肥等特点，是农业生产中提高复种指数和耕作改制的先锋作物。其营养价值高，兼有食用、饲用、酿造用等多种用途，在国民经济中占有重要的地位。

1.1 大麦生长发育特性

1.1.1 大麦分蘖特性

分蘖是大麦的特性之一，麦苗分蘖多少可作为麦株健壮的尺度。分蘖多少和品种特性、气温高低、肥水管理等条件有密切关系。同一品种在不同栽培条件下，分蘖力有很大的差异。氮肥施用量对大麦的分蘖有显著影响。研究结果表明，在 0、90、180、270kg/hm²（依次标注为 CK、N_L、N_M、N_H，下同）4 个处理水平下，随着施氮水平的升高，春大麦蒙啤 1 号、甘啤 4 号 2 个品种分蘖能力先增后降，在 N_M 的施氮水平下，蒙啤 1 号、甘啤 4 号分别比 CK 高 8.42%、5.34%，施用氮肥处理显著高于 CK，且各处理间存在极显著差异（表 1-1）。随着施氮水平的增加，2 个品种大麦成熟期株高、茎宽、穗长均先增后降，在 N_M 施氮水平下最大，且蒙啤 1 号、甘啤 4 号株高分别比 CK 高 14.70%、25.81%，茎宽分别比对照高 10.28%、29.00%，穗长分别比对照高 5.81%、16.36%，此后再增施氮肥，各性状有下降趋势，各施肥处理均远高于 CK，且处理间差异显著；不同品种间相比，各处理蒙啤 1 号株高显著高于甘啤 4 号，依次高出 25.27%、15.16%、15.14%、14.18%，蒙啤 1 号茎宽高于甘啤 4 号，依次高出 2.62%、5.04%、6.75%、2.58%，甘啤 4 号穗长均显著高于蒙啤 1 号，依次高出 6.61%、8.64%、18.37%、15.25%。

表 1-1 不同氮肥处理大麦农艺性状的动态变化

品种	处理	分蘖数/m ²	成熟期株高（cm）	成熟期茎粗（cm）	穗长（cm）
蒙啤 1 号	CK	487 ± 18dD	66.0 ± 3.00dC	3.60 ± 0.10cC	8.60 ± 0.10cC
	N _L	510 ± 25cC	71.7 ± 2.08cB	3.96 ± 0.10bB	9.06 ± 0.10bB
	N _M	528 ± 22bB	78.3 ± 2.65aA	4.27 ± 0.10aA	9.60 ± 0.10aA
	N _H	499 ± 31aA	75.7 ± 3.78bA	3.97 ± 0.10bB	9.10 ± 0.15bB

(续表)

品种	处理	分蘖数/m ²	成熟期株高 (cm)	成熟期茎粗 (cm)	穗长 (cm)
甘啤4号	CK	524 ± 21dD	52.7 ± 2.08dC	3.00 ± 0.20cC	9.17 ± 0.10cC
	N _L	540 ± 26cC	62.3 ± 1.00cB	3.77 ± 0.15bB	10.37 ± 0.25bB
	N _M	552 ± 34bB	68.0 ± 3.00aA	4.00 ± 0.10aA	10.83 ± 0.35aA
	N _H	540 ± 27aA	66.3 ± 1.53bA	3.87 ± 0.06abAB	10.67 ± 0.25aAB

注：数据后不同大小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平。显著性测验系在同一品种不同氮肥处理间进行。以下表均同。

1.1.2 大麦叶面积及其叶面积指数

1.1.2.1 大麦单株叶面积的动态变化

施氮量对大麦叶面积有显著影响。试验结果表明，随着施氮量的增加，2 个品种大麦叶面积均先增后降，在 N_M 处理下达到最大值，此外再增施氮肥，叶面积下降，各施肥处理均远高于 CK，且处理间差异性显著（表 1-2）。在同一生育时期内，N_M 处理与其他处理差异性显著，N_L 处理与 N_H 处理间差异不明显；同一氮肥处理下，随着生长发育的进程，叶面积呈下降趋势；不同品种间相比，各处理蒙啤 1 号叶面积均高于甘啤 4 号，之间的差距随生育进程逐渐减少。说明一定范围内，施用氮肥有利于大麦叶面积的增大，过量施用氮肥，导致大麦叶面积降低；氮肥对灌浆期前大麦叶面积影响较大。

表 1-2 不同氮肥处理大麦单株叶面积动态变化 (cm²)

品种	处理	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ
蒙啤1号	CK	66.9 ± 5.6dD	63.1 ± 6.2dD	56.3 ± 4.3cC	43.8 ± 3.2cC	28.4 ± 4.1cC
	N _L	71.3 ± 6.4cC	68.1 ± 7.4cC	62.1 ± 3.8bB	49.2 ± 6.7bB	33.1 ± 5.8bB
	N _M	82.8 ± 10.4aA	79.9 ± 8.6aA	73.8 ± 5.2aA	61.7 ± 7.5aA	40.8 ± 3.6aA
	N _H	75.1 ± 8.7bB	72.3 ± 8.3bB	66.3 ± 4.1bB	52.5 ± 5.8bB	35.0 ± 4.4bB
甘啤4号	CK	59.1 ± 5.9dD	56.5 ± 6.6cC	49.5 ± 4.7cC	36.6 ± 5.4cC	23.1 ± 4.3cC
	N _L	64.3 ± 7.2cC	61.4 ± 7.1bB	55.7 ± 3.8bA	42.3 ± 2.9bB	28.1 ± 5.5bB
	N _M	73.8 ± 9.7aA	71.5 ± 5.3aA	65.1 ± 5.6aA	54.1 ± 4.6aA	34.1 ± 3.7aA
	N _H	69.9 ± 8.4bB	67.5 ± 4.2bB	61.5 ± 4.5bB	49.6 ± 6.7bB	29.8 ± 6.4bB

注：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、V、Ⅵ、Ⅶ分别代表始花期、花后 7d、花后 14d、花后 21d、花后 28d、花后 35d、成熟期。以下表均同。

1.1.2.2 大麦叶面积指数的变化规律

随着施氮水平的增加，2 个品种大麦的叶面积指数先增后降，在 N_M 处理下达到

最大值，施肥处理与 CK 存在极显著差异，且处理间存在显著差异（表 1-3）；随着生长发育的进程，叶面积指数呈下降趋势，且各时期降幅明显；不同品种间相比，各处理蒙啤 1 号叶面积指数均明显高于甘啤 4 号。说明一定范围内施用氮肥，有利于叶面积指数的增加，过量施用氮肥导致叶面积指数下降；合理施氮对花前叶面积指数影响较大。

1.2 大麦干物质积累、转运特性

1.2.1 春大麦干物质积累、转运特性

干物质积累是大麦产量形成的物质基础，开花前贮存的同化产物在花后向籽粒的转运是其产量形成的重要物质来源。

1.2.1.1 春大麦干物质积累特点

研究结果表明，施用氮肥对春大麦器官干物质积累有很大影响。随着施氮水平增加，2 个品种大麦的叶片干重先增后降，在 N_M 施氮水平下最大，且蒙啤 1 号、甘啤 4 号叶片干物质重量最大值分别比对照最大值高 53.93%、52.25%，籽粒分别比对照高 18.99%、9.98%，处理间存在显著差异性（表 1-4）；随着生长发育的进程，2 个品种叶片干重呈先增后降趋势，拔节期至孕穗期达到最大值，各时期变化幅度较大；不同品种间相比，各处理蒙啤 1 号叶片干重高于甘啤 4 号，差异未达到显著水平。说明一定范围内，施氮水平增加有利于大麦叶片干物质的积累，过量施用氮肥，导致积累量下降；氮肥对不同大麦品种叶片干物质积累影响较小。

表 1-3 不同氮肥处理大麦叶面积指数动态变化

品种	处理	I	II	III	IV	V
蒙啤 1 号	CK	3.7 ± 0.3cC	3.1 ± 0.4cC	2.7 ± 0.4cC	1.8 ± 0.2dD	0.7 ± 0.2cC
	N_L	5.4 ± 0.6bB	4.6 ± 0.4bB	4.0 ± 0.3bB	2.9 ± 0.3cC	1.1 ± 0.3bB
	N_M	6.4 ± 0.5aA	5.8 ± 0.5aA	5.1 ± 0.5aA	3.5 ± 0.1aA	1.7 ± 0.1aA
	N_H	5.8 ± 0.6bAB	5.1 ± 0.5bAB	4.4 ± 0.4bAB	3.1 ± 0.3bB	1.3 ± 0.2bB
甘啤 4 号	CK	3.2 ± 0.3cC	2.8 ± 0.4cC	2.5 ± 0.2cC	1.4 ± 0.1cC	0.6 ± 0.1cC
	N_L	4.8 ± 0.5bB	4.3 ± 0.5bB	3.9 ± 0.6bB	2.8 ± 0.3bB	0.9 ± 0.2bB
	N_M	5.9 ± 0.4aA	5.5 ± 0.3aA	4.8 ± 0.3aA	3.4 ± 0.2aA	1.5 ± 0.3aA
	N_H	5.3 ± 0.5aAB	4.6 ± 0.4aA	4.2 ± 0.4bB	3.1 ± 0.4bAB	1.1 ± 0.3bAB

表 1-4 不同氮肥处理春大麦叶片干物质重量动态变化 (g/m²)

品种	处理	I	II	III	IV	V	VI	VII
蒙啤 1 号	CK	154.2 ± 2.6dD	267.4 ± 6.4dD	205.6 ± 6.7dD	194.5 ± 8.3cC	177.4 ± 4.7dD	166.5 ± 5.9dD	158.2 ± 2.9dD
	N _L	261.4 ± 3.5cC	366.8 ± 6.2cC	333.2 ± 9.2cC	303.6 ± 8.1bB	273.8 ± 8.4cC	231.4 ± 7.8cC	222.1 ± 9.3cC
	N _M	328.7 ± 9.2aA	495.0 ± 8.6aA	438.7 ± 8.2aA	399.9 ± 4.9Aa	371.6 ± 7.2aA	315.1 ± 9.2aA	301.3 ± 9.2aA
	N _H	284.3 ± 8.7bB	411.3 ± 8.7bB	359.7 ± 6.4bB	319.2 ± 3.1bB	316.9 ± 9.1bB	265.3 ± 8.4bB	254.6 ± 8.3bB
甘啤 4 号	CK	160.5 ± 1.9dC	222.6 ± 1.8dD	277.4 ± 1.7dD	574.4 ± 4.8dC	210.1 ± 2.5dD	184.3 ± 2.6dD	151.3 ± 4.9dD
	N _L	262.4 ± 3.5cB	305.4 ± 3.7cC	369.2 ± 5.8cC	648.1 ± 3.6cB	287.4 ± 3.7cC	253.0 ± 2.7cC	211.8 ± 4.1cC
	N _M	334.5 ± 4.9aA	412.3 ± 4.7aA	486.1 ± 4.7aA	755.3 ± 4.5aA	378.2 ± 4.9aA	352.1 ± 4.6aA	288.3 ± 3.9aA
	N _H	272.4 ± 4.7bB	338.5 ± 4.6bB	420.3 ± 2.8bB	652.1 ± 3.9bB	309.4 ± 2.8bB	289.3 ± 3.8bB	251.6 ± 2.7bB

由表 1-5 可知，随着施氮量的增加，2 个品种大麦茎秆的干物质重量先增后降，在 N_M 施氮水平下最大，蒙啤 1 号、甘啤 4 号茎秆干物质重量最大值分别比对照高 35.41%、16.72%，施肥处理均和 CK 存在显著差异；随着生长发育的进程，2 品种茎秆干重呈先增后降的趋势；不同品种间相比，各处理甘啤 4 号茎秆干重均高于蒙啤 1 号，但差异不明显。说明一定范围内，适宜的施氮水平有利于茎秆干物质的积累，过量施用氮肥，导致干重有所降低；氮肥应用对不同品种大麦茎秆干重影响较小。

表 1-5 不同氮肥处理大麦茎秆干物质重量动态变化 (g/m²)

品种	处理	I	II	III	IV	V	VI	VII
蒙啤 1 号	CK	79.6 ± 4.4cC	877.4 ± 3.4dC	1 271.4 ± 4.7cC	1 269.4 ± 10.8cC	1 268.4 ± 7.9cC	1 263.5 ± 3.9cC	1 242.7 ± 4.2cB
	N _L	170.5 ± 3.8bB	1 106.4 ± 3.4cB	1 621.8 ± 10.4bB	1 616.6 ± 5.7bB	1 612.5 ± 14.6bB	1 594.6 ± 4.7bB	1 591.3 ± 3.6bA
	N _M	253.7 ± 3.6aA	1 406.7 ± 5.9aA	1 935.3 ± 6.5aA	1 932.7 ± 5.8aA	1 929.1 ± 5.9aA	1 917.7 ± 3.8aA	1 901.2 ± 4.3aA
	N _H	206.7 ± 2.9bAB	1 235.4 ± 4.6bB	1 721.7 ± 5.3bAB	1 718.6 ± 13.6bAB	1 716.4 ± 4.8bAB	1 711.2 ± 4.6bB	1 694.5 ± 5.8abA

(续表)

品种	处理	I	II	III	IV	V	VI	VII
甘啤 4 号	CK	70.8 ± 4.7dD	159.6 ± 1.8dC	531.2 ± 4.6dC	903.4 ± 3.5cC	841.5 ± 11.6dD	803.4 ± 4.6dD	783.2 ± 2.9cC
	N _L	114.2 ± 3.8bB	244.5 ± 2.7cB	607.8 ± 2.7cB	1 054.8 ± 2.9bB	1 040.7 ± 4.9cC	987.5 ± 10.4cC	934.5 ± 3.7bB
	N _M	148.5 ± 3.6aA	268.7 ± 5.9aA	720.1 ± 3.5aA	1 125.7 ± 4.6aA	1 148.5 ± 4.6aA	1 067.4 ± 5.8aA	982.7 ± 5.8aA
	N _H	108.4 ± 2.8cC	252.6 ± 3.7bB	616.7 ± 2.8bB	1 054.7 ± 3.9bB	1 073.2 ± 3.7bB	1 009.7 ± 3.8bB	965.2 ± 5.9aA

由表 1-6 可见, 各生长时期, 随着施氮量的增加, 单位面积籽粒重逐渐增加, 在 N_M 处理达到最大, 然后略有下降。N_M 处理与其他处理存在极显著差异, N_L、N_H 处理间差异不明显, 各施肥处理与 CK 存在极显著差异; 在 N_M 施氮水平下, 蒙啤 1 号、甘啤 4 号籽粒干物质重量最大值分别比对照高 18.99%、9.98%。随着生长发育的进程, 2 种大麦籽粒干重持续升高; 不同品种间相比, 蒙啤 1 号大麦各生育时期籽粒干重增幅明显低于甘啤 4 号, 成熟期时甘啤 4 号籽粒干重高于蒙啤 1 号。说明一定范围内, 施用氮肥对大麦籽粒的干重积累有很大的促进作用, 过量施用氮肥, 导致干重下降; 甘啤 4 号籽粒干重积累潜力高于蒙啤 1 号。

表 1-6 不同氮肥处理大麦籽粒干重动态变化 (g/m²)

品种	处理	III	IV	V	VI	VII
蒙啤 1 号	CK	274.5 ± 4.3bB	316.8 ± 5.8dC	352.6 ± 12.5cB	411.6 ± 4.9cC	516.7 ± 14.6cC
	N _L	336.8 ± 3.6aA	371.7 ± 4.7cB	412.4 ± 13.6bA	483.6 ± 5.9bB	594.7 ± 13.6bB
	N _M	355.6 ± 4.2aA	424.6 ± 3.6aA	468.2 ± 10.8aA	530.4 ± 6.8aA	706.4 ± 14.3aA
	N _H	341.3 ± 2.9aA	387.7 ± 6.6bAB	416.4 ± 2.8bA	495.5 ± 5.8bB	614.6 ± 5.7bAB
甘啤 4 号	CK	105.7 ± 3.3dD	201.4 ± 2.9dD	311.5 ± 12.6dD	440.8 ± 10.7dD	551.7 ± 10.6dD
	N _L	168.7 ± 14.2cC	255.3 ± 4.9bB	351.6 ± 3.8cC	475.6 ± 12.6cC	580.4 ± 10.6cC
	N _M	258.6 ± 5.5aA	349.7 ± 7.8aA	461.4 ± 6.9aA	531.7 ± 14.6aA	658.6 ± 14.1aA
	N _H	210.4 ± 3.9bB	244.5 ± 10.2cC	375.4 ± 12.5bB	494.7 ± 10.6bB	606.7 ± 10.3bB

由表 1-7 可知, 随着施氮水平增加, 2 个品种大麦干物质重量先增后降, 在 N_M 处理下达到最大, 且与其他处理间均存在极显著差异, 施肥处理与 CK 均存在显著差异; 随着生长发育的进程, 2 个品种大麦的总干重持续增高, 以灌浆期至成熟期增幅最大; 不同品种间相比, 各处理蒙啤 1 号干重均高于甘啤 4 号, 且各生育时期增幅显著高于甘啤 4 号。说明适宜的氮肥施用能促进大麦的干物质形成, 过量施肥导致干重下降; 不同品种大麦对氮肥的响应存在一定的差异。

表 1-7 不同氮肥处理大麦干物质重量动态变化 (g/m²)

品种	处理	I	II	III	IV	V	VI	VII
蒙啤 1 号	CK	233.8 ± 8.3dD	1 144.8 ± 39.5dD	1 351.5 ± 68.5dD	1 380.7 ± 34.6dD	1 458.4 ± 35.5dD	1 698.4 ± 47.8dD	1 794.6 ± 54.7dD
	N _L	582.4 ± 13.6cC	1 473.2 ± 44.6cC	1 691.8 ± 71.4cC	1 742.9 ± 5.4cC	1 849.7 ± 37.2cC	1 943.6 ± 44.6cC	2 435.1 ± 62.8cC
	N _M	665.7 ± 12.5aA	1 901.7 ± 58.7aA	2 029.6 ± 75.8aA	2 318.2 ± 57.2aA	2 534.9 ± 69.5aA	3 068.2 ± 87.9aA	3 393.9 ± 105.6aA
	N _H	491.0 ± 15.2bB	1 646.7 ± 52.4bB	1 722.7 ± 77.9bB	1 885.5 ± 35.8bB	1 931.7 ± 58.7bB	2 353.0 ± 76.9bB	2 823.7 ± 92.3bB
甘啤 4 号	CK	231.3 ± 11.4dD	382.2 ± 14.1dD	914.3 ± 24.3dD	1 179.2 ± 333.4dD	1 263.3 ± 24.2dD	1 428.5 ± 34.7dD	1 686.2 ± 37.2dD
	N _L	376.6 ± 13.4cC	549.5 ± 22.3cC	1 145.7 ± 31.2cC	1 558.2 ± 41.3cC	1 779.7 ± 37.2cC	1 916.1 ± 45.1cC	2 126.7 ± 26.5cC
	N _M	483.0 ± 12.8aA	681.0 ± 27.8aA	1 464.8 ± 47.5aA	1 830.7 ± 39.5aA	2 088.1 ± 38.6aA	2 251.2 ± 37.3aA	2 429.6 ± 46.8aA
	N _H	380.8 ± 9.6bB	591.1 ± 39.6bB	1 247.4 ± 38.6bB	1 551.3 ± 45.3bB	1 758.0 ± 26.4bB	1 983.0 ± 45.1bB	2 127.5 ± 47.7bB

1.2.1.2 春大麦干物质转运特性

研究表明，施氮水平能明显影响大麦器官干物质的运转。随着施氮水平的增加，2 个大麦品种花前、花后干物质积累量先增后降，N_M处理下达到最大，且蒙啤 1 号、甘啤 4 号花前分别比 CK 高 171.00%、122.75%，花后分别比对照高 49.74%、48.42%，处理间均存在极显著差异（表 1-8）。

表 1-8 不同氮肥处理下大麦干物质积累量

品种	处理	积累量 (g/m ²)		积累率 (%)	
		花前	花后	花前	花后
蒙啤 1 号	CK	1 076.6 ± 33.7dD	489.9 ± 34.06dD	68.73 ± 0.044bB	31.27 ± 0.043aA
	N _L	2 245.3 ± 63.1cC	1 035.4 ± 57.3cC	68.44 ± 0.051aA	31.56 ± 0.052bB
	N _M	2 916.0 ± 100.9aA	1 483.7 ± 129.8aA	66.28 ± 0.052aA	33.73 ± 0.054bB
	N _H	2 771.6 ± 49.7bB	1 426.6 ± 53.1bB	66.01 ± 0.021aA	33.98 ± 0.023cC
甘啤 4 号	CK	932.4 ± 13.8dD	421.8 ± 13.5dD	68.85 ± 0.01bB	31.15 ± 0.37aA
	N _L	1 584.0 ± 23.1cC	814.9 ± 30.3aA	66.03 ± 0.03bB	33.97 ± 0.35aA
	N _M	2 076.5 ± 14.8aA	1 128.9 ± 6.6bB	64.78 ± 0.02aA	35.22 ± 0.42bB
	N _H	1 977.6 ± 40.2bB	1 091.0 ± 63.4cC	64.44 ± 0.02aA	35.55 ± 0.41bB

表 1-9 不同氮肥处理下大麦干物质积累对籽粒的贡献率

品种	处理	对籽粒贡献率 (%)	
		花前	花后
蒙啤 1 号	CK	72.17 ± 0.02aA	27.83 ± 0.02bB
	N _L	64.09 ± 0.02bB	35.91 ± 0.02aA
	N _M	65.95 ± 0.03bB	34.05 ± 0.03aA
	N _H	62.52 ± 0.01bB	37.48 ± 0.01aA
甘啤 4 号	CK	61.22 ± 0.13cB	38.78 ± 0.02bB
	N _L	57.75 ± 0.06bcAB	42.25 ± 0.02aA
	N _M	77.51 ± 0.03aA	22.49 ± 0.03aA
	N _H	78.06 ± 0.01abA	18.40 ± 0.01aA

由表 1-9 可见，各施肥处理与 CK 存在显著差异，花前干物质积累量均大于花后；随着施氮量的增加，2 个品种大麦花前干物质积累率增加，施氮处理与 CK 存在显著差异，各施肥处理间差异不明显。随着施氮量的增加，花后干物质积累率下降，且 CK 显著高出其他处理，各处理花前干物质积累率明显大于花后；随着施氮量的增加，2 个品种大麦花前干物质积累对籽粒的贡献率显著高于花后，且各处理间存在显著差异。表明氮肥施用对大麦花前、花后干物质积累量和积累率有一定影响，适宜的氮肥施用，有利于花前干物质的积累，不利于大麦花后干物质积累。过量施用氮肥导致花前、花后干物质积累量和积累率降低；氮肥的施用对不同品种大麦的花前干物质积累对籽粒贡献率作用不同。

随着施氮量的增加，2 个品种大麦叶片、茎秆的干物质转运量先增后降，在 N_M 处理下达到最大；且蒙啤 1 号、甘啤 4 号叶片分别比 CK 高 204.46%、275.00%，茎秆分别比对照高 100.98%、100.41%。各处理间的叶片干物质转运均存在差异显著性，茎秆施肥处理与 CK 差异显著，但处理间不存在显著差异（表 1-10）。

表 1-10 不同氮肥处理大麦各器官干物质转运量 (g/m²)

品种	处理	叶	茎
蒙啤 1 号	CK	76.30 ± 1.98cC	20.30 ± 3.36bB
	N _L	162.72 ± 4.01bB	33.90 ± 9.59aA
	N _M	232.80 ± 6.79aA	40.80 ± 9.51aA
	N _H	204.10 ± 1.84bB	35.10 ± 7.35aA
甘啤 4 号	CK	84.48 ± 7.63dD	60.90 ± 3.45abAB
	N _L	178.23 ± 15.53cC	71.28 ± 7.09abAB
	N _M	315.36 ± 30.40aA	122.05 ± 1.86aA
	N _H	255.52 ± 23.04bB	116.65 ± 4.55aAB

不同品种间相比，叶片、茎秆甘啤4号干物质转运量均显著高于蒙啤1号，叶片依次高出叶片：10.15%、17.24%、35.82%、27.21%，茎秆依次高出 157.17%、164.75%、178.06%、200.51%。说明适宜的施氮量有利于叶片、茎秆的干物质转运，过量施用氮肥不利于器官干物质的转运。

试验表明，施氮水平对不同类型大麦的干物质转运影响不同。随着施氮水平增加，2个品种大麦叶片、茎秆的干物质的转运量对籽粒的贡献率逐渐下降，处理间差异不明显；随施氮量的增加，蒙啤1号大麦的干物质转运率下降，甘啤4号大麦先增后降，且在N_M处理下达到最大值（表1-11）。不同品种间相比，各处理叶片干物质转运率差异不明显，茎秆甘啤4号高于蒙啤1号，各器官干物质转运率对籽粒的贡献率不存在明显差异。说明2种大麦对氮肥的响应不同，施氮水平的增加，蒙啤1号大麦各器官干物质转运率降低，甘啤4号先增后降，适宜的氮肥施用能提高甘啤4号大麦的干物质转运率；随着施氮量增加，大麦器官干物质转运率对籽粒的贡献率显著降低。

表 1-11 不同氮肥处理大麦各器官干物质转运率及其对籽粒的贡献率 (%)

品种	处理	转运率		贡献率	
		叶	茎	叶	茎
蒙啤1号	CK	40.82 ± 0.03cB	40.08 ± 0.01cB	21.88 ± 0.01aA	31.26 ± 0.04aA
	N _L	39.34 ± 0.02bcB	38.34 ± 0.01aA	18.62 ± 0.02bA	24.18 ± 0.02bB
	N _M	39.19 ± 0.02aA	37.19 ± 0.02aA	13.17 ± 0.03bA	15.64 ± 0.02cC
	N _H	38.19 ± 0.02bAB	36.19 ± 0.03bA	8.86 ± 0.05cB	15.33 ± 0.01cC
甘啤4号	CK	33.89 ± 0.08cB	45.13 ± 0.05dD	19.61 ± 0.07aA	30.06 ± 0.15aA
	N _L	36.59 ± 0.08bB	51.87 ± 0.01cC	15.24 ± 0.07bB	22.61 ± 0.07bB
	N _M	45.62 ± 0.09aA	70.55 ± 0.01aA	10.83 ± 0.13cC	15.04 ± 0.08cC
	N _H	38.02 ± 0.13cB	59.59 ± 0.01bB	7.74 ± 0.17dD	14.37 ± 0.09cC

1.2.2 冬大麦干物质积累与转运

1.2.2.1 冬大麦干物质积累特性

在0、75、150、225kg/hm²纯氮共4个氮肥处理（分别定为CK、N_L、N_M、N_H）下，4个冬大麦品种扬饲麦3、港啤1号、扬农啤2和Frankin花前干物质积累量、积累率均大于花后，对籽粒的贡献率除扬饲麦3号、港啤1号和扬农啤2号的CK为花前大于花后，其余处理均为花后大于花前的。花前和花后干物质积累量均随施氮水平的提高而增加，且不同氮肥处理间差异均达显著水平。随施氮水平的提高，各品种干物质花前积累率和对籽粒产量的贡献率呈下降趋势，花后积累率和对籽粒产量的贡献率呈上升趋势（表1-12）。表明随着施氮水平的提高，各品种无论是干物质积累率，或对籽粒的贡献率，其变化的幅度都呈减小趋势，尤其是N_M和N_H处理间，大部分差异均不甚明显。

表 1-12 不同氮肥处理下大麦干物质积累及对籽粒的贡献率

品种	处理	积累量 (kg/hm ²)		积累率 (%)		对籽粒贡献率 (%)	
		花前	花后	花前	花后	花前	花后
扬饲麦 3 号	CK	7 786.59 ± 43.42 d	1 448.63 ± 19.95 d	84.31 ± 3.71a	15.69 ± 0.61 c	60.19 ± 2.49 a	39.81 ± 1.76 c
	N _L	9 139.60 ± 10.87 c	3 466.20 ± 30.01 c	72.50 ± 1.09b	27.50 ± 1.42 b	40.09 ± 1.89 b	59.91 ± 2.15 b
	N _M	9 774.85 ± 29.79 b	4 900.06 ± 39.90 b	66.61 ± 1.18b	33.39 ± 1.01ba	32.73 ± 1.45 c	67.27 ± 2.06 a
	N _H	10 034.72 ± 19.03 a	5 084.13 ± 39.90 a	66.37 ± 0.98b	33.63 ± 1.97 a	29.77 ± 1.55 c	70.23 ± 2.68 a
港啤 1 号	CK	6 322.74 ± 12.04 d	1 453.06 ± 20.12 d	81.31 ± 1.23a	18.69 ± 1.39 c	57.68 ± 2.12 a	42.32 ± 1.25 c
	N _L	7 200.68 ± 82.07 c	2 591.60 ± 30.02 c	73.53 ± 1.92b	26.47 ± 1.00 b	49.38 ± 1.78 b	50.62 ± 2.10 b
	N _M	8 006.78 ± 21.79 b	4 220.93 ± 40.03 b	65.48 ± 1.43c	34.52 ± 1.23 a	34.74 ± 1.36 c	65.26 ± 2.39 a
	N _H	8 337.29 ± 23.51 a	4 420.64 ± 37.33 a	65.35 ± 1.39c	34.65 ± 1.36 a	28.28 ± 1.19 d	71.72 ± 3.07 a
扬农啤 2 号	CK	4 416.84 ± 66.81 d	1 405.05 ± 20.71 d	75.87 ± 2.29a	24.13 ± 1.44 b	52.97 ± 2.17 a	47.03 ± 1.95 c
	N _L	5 104.38 ± 31.25 c	2 846.37 ± 31.16 c	64.20 ± 2.04b	35.80 ± 1.35 a	37.17 ± 1.60 b	62.83 ± 2.11 b
	N _M	5 746.01 ± 12.43 b	3 453.38 ± 29.06 b	62.46 ± 1.43b	37.54 ± 1.08 a	33.75 ± 1.53 bc	66.25 ± 2.46 ab
	N _H	5 959.66 ± 22.81 a	3 583.71 ± 30.57 a	62.45 ± 1.28b	37.55 ± 1.31 a	29.92 ± 1.24 c	70.08 ± 2.38 a
Frankin	CK	5 591.03 ± 65.22 d	1 692.92 ± 17.94 d	76.76 ± 2.25a	23.24 ± 1.40 c	49.15 ± 1.62 a	50.85 ± 2.34 c
	N _L	6 242.91 ± 17.43 c	3 270.68 ± 30.75 c	65.62 ± 1.40b	34.38 ± 1.87 b	28.00 ± 1.22 b	72.00 ± 2.31 b
	N _M	6 676.68 ± 13.27 b	4 514.69 ± 40.19 b	59.66 ± 1.37c	40.34 ± 1.55 a	27.58 ± 1.08 b	72.42 ± 2.85 b
	N _H	7 249.89 ± 22.84a	5 025.98 ± 42.86 a	59.06 ± 1.90c	40.94 ± 1.76 a	16.94 ± 1.02 c	83.06 ± 4.42 a

1.2.2.2 冬大麦各器官干物质转运特性

随施氮水平的提高，各品种大麦器官干物质转运量均呈先上升后下降趋势，在 N_M 处理达到高峰。说明在一定范围内，增施氮肥可促进花前干物质向籽粒的转移，提高大麦产量。就转运量大小而言，茎秆最大，其次是叶片和鞘，芒壳 + 穗轴最小（表 1-13）。