

杨小可悦,孙洪仁,王显国,等. 中国籽实和饲草大麦种植土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量[J/OL]. 大麦与谷类科学,2023,40(5):32-44. https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2023.05.005.

## 中国籽实和饲草大麦种植土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量

杨小可悦<sup>1</sup>,孙洪仁<sup>1\*</sup>,王显国<sup>1</sup>,张运龙<sup>1</sup>,杜雪燕<sup>2</sup>,李林霞<sup>2</sup>,冯泽娟<sup>3</sup>,陶润志<sup>3</sup>

(1. 中国农业大学草业科学与技术学院,北京 100193;2. 青海省饲草料技术推广站,青海 西宁 810016;

3. 内蒙古泽云牧草有限公司,内蒙古 呼和浩特 150102)

**摘要:**为了给我国大麦种植测土施氮提供科学依据,采用“零散实验数据整合法”和“养分平衡-地力差减法新应用公式”,开展我国大麦种植土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量研究。结果表明,我国大麦土壤碱解氮质量分数第1~7级丰缺指标依次为>300、245~300、188~244、132~187、76~131、19~75、<19 mg/kg;土壤全氮质量分数第1~7级丰缺指标依次为>3.7、3.1~3.7、2.4~3.0、1.6~2.3、0.9~1.5、0.2~0.8、<0.2 g/kg;土壤有机质质量分数第1~7级丰缺指标依次为>65.4、53.0~65.4、40.5~52.9、28.0~40.4、15.5~27.9、3.0~15.4、<3.0 g/kg。当氮肥利用率为30%~50%时,目标产量3~7.5 t/hm<sup>2</sup>籽实大麦第1~7级土壤推荐施氮量分别为0、16~65、31~130、47~195、62~260、78~325、94~390 kg/hm<sup>2</sup>;目标产量6~15 t/hm<sup>2</sup>干草大麦第1~7级土壤推荐施氮量依次为0、19~80、38~160、58~240、77~320、96~400、115~480 kg/hm<sup>2</sup>;目标产量15~45 t/hm<sup>2</sup>青贮大麦第1~7级土壤推荐施氮量分别为0、17~84、34~168、50~252、67~336、84~420、101~504 kg/hm<sup>2</sup>。基于此,初步建立了我国籽实和饲草大麦土壤氮素丰缺指标推荐施肥系统,为我国大麦种植测土施氮奠定了科学基础。

**关键词:**大麦;测土施肥;土壤养分;丰缺指标;施肥量

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20230184

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是世界第四大禾谷类作物,栽培历史悠久,耐干旱、耐瘠薄、耐盐碱、适应性强<sup>[1]</sup>。全球种植面积逾5 000万hm<sup>2</sup>,籽实产量超1.5亿t;我国大麦种植面积逾50万hm<sup>2</sup>,籽实产量超200万t<sup>[2]</sup>。人们主要利用大麦籽实作为畜禽饲料和酿酒原料,较少食用,亦利用其全株作为草食动物之饲草。据统计,我国饲草大麦种植面积为3万~5万hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。我国大麦种植区域约2/3位于经济欠发达的农牧交错带,大麦之变种青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook.f.)也是青藏高原地区人们的传统主粮。种好大麦对于提高农牧民收入、促进区域经济发展、加速乡村振兴和巩固民族地区稳定等具有重要意义<sup>[4]</sup>。肥料是作物的“粮食”。合理施肥可以提高大麦产量和质量。施肥不足或过量皆会导致产量和质量下降,施肥过量还会引起耕地、水系和大气生态系统恶化。因此,科学确定大麦施肥量对大

麦生产有着重要意义。

Bray创建的土壤养分丰缺指标法<sup>[5]</sup>是测土推荐施肥的经典和通用方法,世界各国广泛应用。20世纪80年代,我国开始进行作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究<sup>[6-7]</sup>,至今已经建立了诸如玉米、小麦、水稻等一些作物的若干区域土壤养分丰缺指标推荐施肥系统<sup>[8-10]</sup>。但针对大麦的相关研究十分薄弱,至今尚未见报道。

作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究工程庞大,需要大量资金支持和专家投入,而对大麦等诸多小作物的科研投入强度较小,难以支撑大规模土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究。近年来,中国农业大学孙洪仁团队创建了由“零散实验数据整合法”“土壤养分丰缺分级改良方案”及“养分平衡-地力差减法新应用公式”构成的作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究新方法,有效地克服了上述科研投入强度不足问题,并成功建立了我国燕麦<sup>[11]</sup>、甜菜<sup>[12]</sup>、甘蔗<sup>[13]</sup>、苹果<sup>[14]</sup>、苜蓿<sup>[15]</sup>、谷子<sup>[16]</sup>和棉花<sup>[17]</sup>土壤养分丰缺指标推荐施肥系统。

本研究拟采用作物土壤养分丰缺指标推荐施肥系统研究的新方法,开展我国大麦土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量研究,旨在为我国大麦种植测土

收稿日期:2023-03-18;修回日期:2023-08-17

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-34)。

作者简介:杨小可悦(2001—),女,主要从事牧草和作物测土施肥研究。Email:2114178420@qq.com。

\*通信作者:孙洪仁(1965—),男,硕士,副教授,主要从事牧草和作物水肥管理研究。Email:sunhongren@cau.edu.cn。

施肥提供科学依据。

### 1 材料与方

搜集我国开展的籽实大麦、饲草大麦施氮试验文献。选择含有土壤氮素含量(碱解氮、全氮或有机质)、施氮处理产量、缺氮处理产量(未施氮肥,其他养分施用量与施氮处理相同)的文献,提取数据,用公式(1)计算籽实或饲草大麦缺氮处理相对产量。

$$R_N = Y_N \div Y_N \quad (1)$$

式中: $R_N$ 为缺氮处理相对产量; $Y_N$ 为缺氮处理产量; $Y_N$ 为施氮处理产量。

利用 Excel 2021 软件,选择适当模型分别建立大麦缺氮处理相对产量与土壤碱解氮、全氮和有机质含量回归方程。利用所得回归方程和土壤养分丰缺分级改良方案<sup>[18]</sup>,分别对土壤碱解氮、全氮和有机质进行丰缺级别的划分。

采用“养分平衡-地力差减法新应用公式(2)”<sup>[19-20]</sup>,计算推荐施氮量。

$$F_N = A_N \times (1 - R_N) \div E_N \quad (2)$$

式中: $F_N$ 为推荐施氮量; $A_N$ 为目标产量氮素吸收量; $R_N$ 为缺氮处理相对产量; $E_N$ 为氮肥当季利用率。

以文献[21-28]为主要依据,确定籽实大麦、干草大麦和青贮大麦的单位经济产量氮素吸收量(N)依次为 26、16、5.6 kg/t。

依据各地气候条件、土壤状况、大麦品种和栽培措施,结合相关文献将我国大麦产区 3 种形态经济产品的单位面积目标产量分别设置 7 个档次:籽实大麦为 3.00、3.75、4.50、5.25、6.00、6.75、7.50 t/hm<sup>2</sup>,干草大麦为 6.0、7.5、9.0、10.5、12.0、13.5、15.0 t/hm<sup>2</sup>,青贮大麦为 15、20、25、30、35、40、45 t/hm<sup>2</sup>;进而依

次确定 3 种形态经济产品的单位面积目标产量下氮素吸收量(N):籽实大麦为 78.0、97.5、117.0、136.5、156.0、175.5、195.0 kg/hm<sup>2</sup>,干草大麦为 96、120、144、168、192、216、240 kg/hm<sup>2</sup>,青贮大麦为 84、112、140、168、196、224、252 kg/hm<sup>2</sup>。

选取各丰缺级别的缺素处理相对产量下限,用于该级别推荐施肥量计算。设置 5 个氮肥当季利用率,分别为 30%、35%、40%、45%和 50%。

### 2 结果与分析

#### 2.1 我国大麦施氮试验文献及与土壤氮素丰缺指标研究相关信息

搜集到在我国开展的含有土壤氮素含量(碱解氮、全氮或有机质含量)和缺氮处理的大麦施氮试验文献总计 64 篇<sup>[27-90]</sup>,其中:1980—1989 年 3 篇<sup>[29-31]</sup>,1990—1999 年 8 篇<sup>[32-39]</sup>,2000—2009 年 10 篇<sup>[40-49]</sup>,2010—2019 年 38 篇<sup>[27-28,50-85]</sup>,2020—2022 年 5 篇<sup>[86-90]</sup>;盆栽试验 1 篇<sup>[54]</sup>,其余均为田间试验。上述研究涉及县域 40 余个、品种 40 余个、土壤类型 20 余个。从上述文献中提取出土壤碱解氮含量、缺氮处理和施氮处理产量数据 106 组,土壤全氮含量、缺氮处理和施氮处理产量数据 80 组,土壤有机质含量、缺氮处理和施氮处理产量数据 118 组,进而分别得到土壤碱解氮、全氮、有机质含量与缺氮处理相对产量配套数据 106、80、118 对。将我国大麦施氮试验文献中与土壤氮素丰缺指标研究相关的信息列于表 1。其中,土壤碱解氮、全氮和有机质含量范围依次为 36.0~233.0 mg/kg、0.5~2.6 g/kg、2.1~51.6 g/kg,缺氮处理相对产量范围为 20.7%~111.1%,施氮处理施氮量范围为 30~563 kg/hm<sup>2</sup>。

表 1 我国大麦施氮试验文献中与氮素丰缺指标研究相关信息

试验地点 与文献	品种	土壤类型	有机质 含量/ (g/kg)	全氮 含量/ (g/kg)	碱解氮 含量/ (mg/kg)	施肥量 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)/ (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 相对产量/ %
西藏达孜 <sup>[29]</sup>	—	灰褐土	16.6	—	153.8	104-0-0	4 611	2 155	46.7
西藏达孜 <sup>[29]</sup>	—	灰褐土	16.6	—	153.8	104-0-0	3 514	2 402	68.4
西藏达孜 <sup>[29]</sup>	—	灰褐土	16.6	—	153.8	104-24-0	3 915	1 935	49.4
西藏达孜 <sup>[29]</sup>	—	灰褐土	16.6	—	153.8	104-48-0	4 352	2 093	48.1
江苏江浦 <sup>[30]</sup>	苏啤 1 号	马肝土	23.4	1.6	190.0	225-49-68	4 425	3 342	75.5
宁夏银川 <sup>[31]</sup>	蒙克尔	灌淤熟化土	14.9	1.0	97.0	225-38-0	3 475	2 290	65.9

(续表)

试验地点 与文献	品种	土壤类型	有机质 含量/ (g/kg)	全氮 含量/ (g/kg)	碱解氮 含量/ (mg/kg)	施肥量 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)/ (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 相对产量/ %
宁夏银川 <sup>[31]</sup>	蒙克尔	灌淤熟化土	14.9	1.0	97.0	113-38-0	3 400	2 575	75.7
宁夏银川 <sup>[31]</sup>	蒙克尔	灌淤熟化土	14.9	1.0	97.0	338-75-0	3 500	2 450	70.0
西藏拉萨 <sup>[32]</sup>	藏青 320	砂壤土	—	1.0	86.4	300-0-0	4 533	3 642	80.3
宁夏银川 <sup>[33]</sup>	普采纽姆	草甸灰钙土	8.7	0.5	55.4	188-0-0	2 994	1 997	66.7
宁夏银川 <sup>[33]</sup>	普采纽姆	淡灰钙土	4.1	0.6	66.7	188-0-0	3 402	2 972	87.4
宁夏银川 <sup>[33]</sup>	普采纽姆	灌淤土	12.3	0.9	86.8	188-0-0	5 715	5 511	96.4
宁夏银川 <sup>[33]</sup>	普采纽姆	草甸灰钙土	8.7	0.5	55.4	188-188-0	3 062	1 812	59.2
宁夏银川 <sup>[33]</sup>	普采纽姆	淡灰钙土	4.1	0.6	66.7	150-188-0	7 235	3 221	44.5
宁夏银川 <sup>[33]</sup>	普采纽姆	灌淤土	12.3	0.9	86.8	150-188-0	6 180	5 783	93.6
贵州贵阳 <sup>[34]</sup>	舟麦 1 号	黄黏土	24.0	1.4	140.0	150-56-34	1 470	923	62.8
西藏林芝 <sup>[35]</sup>	春青稞	砂壤土	14.5	0.9	—	75-0-0	3 062	2 183	71.3
西藏林芝 <sup>[35]</sup>	春青稞	砂壤土	14.5	0.9	—	75-38-0	4 055	2 694	66.4
西藏林芝 <sup>[35]</sup>	春青稞	砂壤土	14.5	0.9	—	75-56-0	3 095	2 967	95.9
江苏盐城 <sup>[36]</sup>	苏引麦 2 号	—	2.1	—	135.3	45-9-38	4 575	2 625	57.4
江苏盐城 <sup>[36]</sup>	苏引麦 2 号	—	2.1	—	135.3	45-0-0	5 015	4 767	95.1
江苏盐城 <sup>[36]</sup>	苏引麦 2 号	—	2.1	—	135.3	338-20-60	3 240	1 767	54.5
江苏盐城 <sup>[36]</sup>	苏引麦 2 号	—	2.1	—	135.3	338-51-167	5 030	2 040	40.6
江苏射阳 <sup>[37]</sup>	西引 2 号	潮盐土	13.7	—	70.0	240-180-300	5 675	3 047	53.7
江苏射阳 <sup>[37]</sup>	西引 2 号	潮盐土	13.2	—	75.0	360-180-300	6 075	3 365	55.4
青海门源 <sup>[38]</sup>	北青四号	砂壤土	42.4	2.2	159.0	69-62-0	5 458	4 511	82.6
甘肃临潭 <sup>[39]</sup>	康青 3 号	栗钙土	22.8	1.6	—	105-0-0	3 504	2 870	81.9
甘肃临潭 <sup>[39]</sup>	康青 3 号	栗钙土	22.8	1.6	—	105-120-0	5 151	3 252	63.1
新疆石河子 <sup>[40]</sup>	甘啤 1 号	黏壤土	—	—	69.7	120-0-0	3 856	3 411	88.5
江苏盐城(盐都) <sup>[41]</sup>	苏啤 3 号	芦粟土	17.5	1.2	—	135-75-105	6 008	3 698	61.6
江苏盐城(盐都) <sup>[41]</sup>	苏啤 3 号	芦粟土	15.6	1.2	—	135-75-105	6 008	3 698	61.6
黑龙江建三江 <sup>[42]</sup>	垦啤 2 号	白浆土	20.4	—	153.5	68-0-0	5 708	4 417	77.4
黑龙江建三江 <sup>[42]</sup>	垦啤 2 号	白浆土	20.4	—	153.5	68-0-0	6 958	4 500	64.7
江苏响水 <sup>[43]</sup>	港啤 1 号	滨海潮盐土	20.5	—	74.0	225-0-0	6 857	4 306	62.8
江苏响水 <sup>[43]</sup>	港啤 1 号	滨海潮盐土	20.5	—	74.0	225-90-0	8 502	4 566	53.7
江苏响水 <sup>[44]</sup>	港啤 1 号	滨海潮盐土	20.5	—	74.0	225-0-0	17 478	10 300	58.9
江苏响水 <sup>[44]</sup>	港啤 1 号	滨海潮盐土	20.5	—	74.0	225-90-90	21 740	10 626	48.9
江苏南京 <sup>[45]</sup>	苏啤 3 号	黏土	26.0	—	98.4	225-150-120	6 490	3 360	51.8
江苏南京 <sup>[45]</sup>	单 2	黏土	26.0	—	98.4	225-150-120	6 180	3 310	53.6
江苏盐城 <sup>[45]</sup>	苏啤 3 号	壤土	17.1	—	62.9	225-150-120	7 060	3 450	48.9
江苏盐城 <sup>[45]</sup>	单 2	壤土	17.1	—	62.9	225-150-120	6 830	3 170	46.4
江苏南京 <sup>[45]</sup>	苏啤 3 号	黏土	30.2	—	89.7	225-150-120	6 290	4 440	70.6

(续表)

试验地点 与文献	品种	土壤类型	有机质 含量/ (g/kg)	全氮 含量/ (g/kg)	碱解氮 含量/ (mg/kg)	施肥量 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)/ (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 相对产量/ %
江苏南京 <sup>[45]</sup>	单2	黏土	30.2	—	89.7	225-150-120	6 020	4 080	67.8
江苏盐城 <sup>[45]</sup>	苏啤3号	壤土	19.6	—	70.6	225-150-120	6 300	4 690	74.4
江苏盐城 <sup>[45]</sup>	单2	壤土	19.6	—	70.6	225-150-120	6 220	4 720	75.9
黑龙江建三江 <sup>[46]</sup>	垦啤麦4号	草甸白浆土	26.0	1.3	135.3	83-68-30	5 525	4 415	79.9
江苏盐城 <sup>[47]</sup>	苏啤1号	脱盐潮土	—	—	73.4	563-0-0	14 127 <sup>#</sup>	5 493 <sup>#</sup>	38.9
江苏盐城 <sup>[47]</sup>	苏啤1号	脱盐潮土	—	—	73.4	375-0-0	19 273 <sup>#</sup>	9 187 <sup>#</sup>	47.7
江苏盐城 <sup>[47]</sup>	苏啤1号	脱盐潮土	—	—	73.4	375-0-0	21 127 <sup>#</sup>	5 930 <sup>#</sup>	28.1
江苏盐城 <sup>[47]</sup>	苏啤1号	脱盐潮土	—	—	73.4	188-0-0	21 920 <sup>#</sup>	5 300 <sup>#</sup>	24.2
青海湟源 <sup>[48]</sup>	北青3号	—	15.3	—	126.5	63-69-27	3 285	2 676	81.5
甘肃河西走廊 <sup>[49]</sup>	哈瑞特	壤土	8.0	1.8	—	375-150-0	4 688	2 759	58.9
甘肃河西走廊 <sup>[49]</sup>	哈瑞特	砂壤土	12.0	2.1	—	150-150-0	5 963	3 300	55.3
甘肃河西走廊 <sup>[49]</sup>	哈瑞特	沙土	7.0	1.2	—	150-150-0	2 846	1 291	45.4
青海门源 <sup>[50]</sup>	北青8号	栗钙土	16.2	2.0	186.0	67-63-49	4 302	2 923	67.9
甘肃民乐 <sup>[51]</sup>	甘啤4号	淡灰钙土	15.9	—	83.0	270-120-23	6 933	2 133	30.8
甘肃玉门 <sup>[52]</sup>	甘啤4号	砂壤土	22.0	1.8	—	338-135-30	6 720	4 418	65.7
江苏扬州 <sup>[53]</sup>	扬农啤6号	砂壤土	—	—	80.2	270-0-0	7 102	3 994	56.2
江苏扬州 <sup>[53]</sup>	扬农啤6号	砂壤土	—	—	83.1	210-0-0	6 349	3 947	62.2
黑龙江大庆 <sup>[54]</sup>	垦啤麦9号	风沙土	38.6	—	76.0	120-0-0	19 <sup>*</sup>	14 <sup>*</sup>	73.7
黑龙江大庆 <sup>[55]</sup>	垦啤麦9号	黑钙土	23.3	—	76.0	180-120-0	5 360	4 750	88.6
黑龙江大庆 <sup>[55]</sup>	垦啤麦9号	黑钙土	23.3	—	76.0	180-120-45	5 400	5 010	92.8
黑龙江大庆 <sup>[55]</sup>	垦啤麦9号	黑钙土	23.3	—	76.0	180-120-90	5 480	5 020	91.6
黑龙江双鸭山 <sup>[56]</sup>	垦啤2号	—	28.4	2.6	154.8	120-90-90	5 531	3 650	66.0
黑龙江北安 <sup>[56]</sup>	垦啤2号	—	23.9	2.1	135.2	120-90-90	5 610	4 009	71.5
江苏盐城 <sup>[57]</sup>	单2	潮盐土	22.4	1.4	119.0	210-75-75	6 381	2 718	42.6
西藏林芝 <sup>[58]</sup>	果洛	砂壤土	11.6	—	121.2	180-0-0	5 689	2 034	35.8
云南玉溪 <sup>[59]</sup>	特昆纳	水稻土	19.4	2.2	122.2	338-113-0	2 310	1 353	58.6
青海门源 <sup>[60]</sup>	门农1号	黑钙土	27.5	1.9	112.0	68-90-0	3 267	2 535	77.6
黑龙江友谊 <sup>[61]</sup>	垦啤麦2号	—	23.3	1.0	122.1	120-90-90	4 957	3 730	75.2
江苏扬州 <sup>[62]</sup>	扬饲麦3号	—	24.2	1.3	158.2	225-45-72	7 660	3 370	44.0
江苏扬州 <sup>[62]</sup>	港啤1号	—	24.2	1.3	158.2	225-45-72	7 570	3 271	43.2
江苏扬州 <sup>[62]</sup>	扬农啤2号	—	24.2	1.3	158.2	225-45-72	6 110	2 751	45.0
江苏扬州 <sup>[62]</sup>	Frankin	—	24.2	1.3	158.2	225-45-72	6 742	2 980	44.2
西藏山南 <sup>[63]</sup>	藏青320	壤土	28.8	—	101.0	57-34-21	3 406	2 813	82.6
西藏林芝 <sup>[64]</sup>	藏青320	高山草甸土	29.0	1.0	36.0	188-147-123	3 632	2 137	58.8
西藏林芝 <sup>[64]</sup>	品比13	高山草甸土	29.0	1.0	36.0	375-147-123	4 812	2 313	48.1
浙江海宁 <sup>[27]</sup>	浙88-18	水稻土	25.6	1.5	122.6	120-0-0	3 176	1 964	61.8

(续表)

试验地点 与文献	品种	土壤类型	有机质 含量/ (g/kg)	全氮 含量/ (g/kg)	碱解氮 含量/ (mg/kg)	施肥量 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)/ (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 相对产量/ %
西藏林周 <sup>[28]</sup>	—	—	18.0	—	96.0	225-150-150	4 790	3 551	74.1
西藏拉萨 <sup>[65]</sup>	藏青 320	砂壤土	24.6	1.7	131.0	138-52-86	3 690	1 440	39.0
西藏林周 <sup>[66]</sup>	藏青 320	—	24.4	0.8	85.0	105-54-63	5 595	2 795	50.0
青海玉树 <sup>[67]</sup>	北青 3 号	栗钙土	26.8	1.7	137.4	90-120-41	4 316	3 302	76.5
江苏滨海 <sup>[68]</sup>	苏啤 6 号	水稻土	19.2	1.3	—	263-72-45	7 253	3 452	47.6
上海崇明 <sup>[69]</sup>	花 22	盐渍土	27.4	1.7	153.0	338-120-150	6 851	1 899	27.7
西藏拉萨 <sup>[70]</sup>	藏青 2000	砂壤土	34.4	0.9	77.0	75-0-0	3 553	2 763	77.8
西藏拉萨 <sup>[70]</sup>	藏青 2000	砂壤土	34.4	0.9	77.0	225-45-0	3 140	2 530	80.6
西藏拉萨 <sup>[70]</sup>	藏青 2000	砂壤土	34.4	0.9	77.0	150-90-0	3 060	3 400	111.1
西藏拉萨 <sup>[70]</sup>	藏青 2000	砂壤土	34.4	0.9	77.0	150-135-0	4 043	2 540	62.8
西藏拉萨 <sup>[70]</sup>	藏青 2000	砂壤土	34.4	0.9	77.0	75-180-0	4 020	2 997	74.6
甘肃武威 <sup>[71]</sup>	甘啤 6 号	壤土	20.6	1.3	—	240-150-0	8 043	7 717	95.9
甘肃武威 <sup>[71]</sup>	甘啤 6 号	壤土	20.6	1.3	—	240-90-0	8 817	7 420	84.2
甘肃武威 <sup>[71]</sup>	甘啤 6 号	壤土	20.6	1.3	—	180-90-0	8 747	8 007	91.5
西藏曲水 <sup>[72]</sup>	藏青 320	—	23.0	0.8	97.0	231-314-108	6 405	1 323	20.7
西藏尼木 <sup>[73]</sup>	藏青 320	—	23.0	0.8	97.0	62-50-32	4 503	1 592	35.4
新疆塔城 <sup>[74]</sup>	甘啤 4 号	棕钙土	14.6	0.7	74.0	300-83-0	4 044	2 513	62.1
新疆塔城 <sup>[74]</sup>	甘啤 4 号	棕钙土	14.6	0.7	74.0	300-83-0	4 449	3 245	72.9
新疆塔城 <sup>[74]</sup>	甘啤 4 号	棕钙土	14.6	0.7	74.0	300-83-0	4 374	2 382	54.5
甘肃民乐 <sup>[75]</sup>	甘啤 6 号	栗钙土	35.1	2.0	138.8	150-113-0	5 734	3 434	59.9
河南驻马店 <sup>[76]</sup>	驻大麦 4 号	—	13.1	0.7	—	225-14-72	7 716	6 056	78.5
河南驻马店 <sup>[76]</sup>	驻大麦 5 号	—	13.1	0.7	—	225-14-72	6 393	4 609	72.1
新疆塔城 <sup>[77]</sup>	甘啤 7 号	棕钙土	13.5	0.6	65.0	104-138-20	4 289	1 775	41.4
上海崇明 <sup>[78]</sup>	花 22	盐渍土	9.5	1.1	84.3	338-90-113	8 300	3 784	45.6
云南玉龙 <sup>[79]</sup>	云大麦 2 号	水稻土	19.6	0.9	67.0	117-72-38	9 510	4 779	50.3
云南玉龙 <sup>[79]</sup>	云大麦 3 号	水稻土	19.6	0.9	67.0	117-72-38	10 662	4 975	46.7
江苏盐城 <sup>[80]</sup>	苏啤 7 号	脱盐潮土	25.6	—	74.2	300-225-0	6 236	4 190	67.2
江苏盐城 <sup>[80]</sup>	苏啤 7 号	脱盐潮土	25.6	—	74.2	225-225-0	7 926	4 336	54.7
江苏盐城 <sup>[80]</sup>	苏啤 7 号	脱盐潮土	25.6	—	74.2	225-225-0	7 454	4 509	60.5
江苏盐城 <sup>[80]</sup>	苏啤 7 号	脱盐潮土	25.6	—	74.2	225-225-0	6 893	4 676	67.8
青海格尔木 <sup>[81]</sup>	肚里黄	灰棕漠土	14.1	—	46.0	210-170-30	8 933	6 653	74.5
西藏拉萨 <sup>[82]</sup>	藏青 2000	砂壤土	19.1	1.2	103.0	150-0-0	8 480	4 460	52.6
西藏拉萨 <sup>[82]</sup>	藏青 2000	砂壤土	19.1	1.2	103.0	225-45-0	9 580	5 890	61.5
西藏拉萨 <sup>[82]</sup>	藏青 2000	砂壤土	19.1	1.2	103.0	225-90-0	9 210	4 790	52.0
西藏拉萨 <sup>[82]</sup>	藏青 2000	砂壤土	19.1	1.2	103.0	225-135-0	7 910	6 130	77.5
西藏拉萨 <sup>[82]</sup>	藏青 2000	砂壤土	19.1	1.2	103.0	75-180-0	7 270	5 790	79.6

(续表)

试验地点 与文献	品种	土壤类型	有机质 含量/ (g/kg)	全氮 含量/ (g/kg)	碱解氮 含量/ (mg/kg)	施肥量 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)/ (kg/hm <sup>2</sup> )	施氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	缺氮处理 相对产量/ %
西藏拉萨 <sup>[83]</sup>	藏青 2000	砂壤土	19.1	1.2	103.0	225-0-0	4 718	3 312	70.2
西藏山南 <sup>[84]</sup>	—	黏土	15.2	1.2	125.0	180-45-42	4 048	1 667	41.2
四川德格 <sup>[85]</sup>	康青 7 号	砂壤土	47.2	2.5	187.4	150-75-75	2 796	2 610	93.3
西藏隆子 <sup>[86]</sup>	黑青稞	黏土	15.3	1.1	124.0	60-30-42	6 167	3 000	48.6
西藏隆子 <sup>[87]</sup>	黑青稞	黏土	15.6	0.9	—	144-135-135	6 330	3 220	50.9
西藏隆子 <sup>[87]</sup>	黑青稞	黏土	15.6	0.9	—	144-135-135	6 000	3 500	58.3
江苏盐城 <sup>[88]</sup>	连啤 1 号	砂土	14.3	1.0	—	300-0-225	6 988	4 683	67.0
青海互助 <sup>[89]</sup>	昆仑 14 号	黑钙土	27.6	1.9	112.0	68-90-0	3 267	2 534	77.6
青海互助 <sup>[89]</sup>	昆仑 14 号	黑钙土	27.6	1.9	112.0	68-0-0	2 733	1 844	67.5
青海互助 <sup>[89]</sup>	昆仑 14 号	黑钙土	27.6	1.9	112.0	68-90-0	10 133	8 934	88.2
青海互助 <sup>[89]</sup>	昆仑 14 号	黑钙土	27.6	1.9	112.0	68-0-0	8 856	6 734	76.0
云南迪庆 <sup>[90]</sup>	迪青 7 号	砂壤土	51.6	—	233.0	207-96-60	3 300	2 280	69.1

注:\* 单位为 g/盆; # 为鲜叶产量; 缺氮处理相对产量=(缺氮处理产量/施氮处理产量)×100%。

2.2 我国大麦土壤氮素含量与缺氮处理相对产量回归方程

剔除部分明显不合理的离散数据对后,建立我国大麦土壤碱解氮、全氮、有机质含量与缺氮处理相对产量(缺氮处理/施氮处理)回归方程如式(3)、式(4)、式(5)、图1所示。我国大麦缺氮处理相对产量与土壤碱解氮、全氮和有机质含量均为直线相关;相对于回归直线,数据点较为离散;决定系数为

0.184 9 ~ 0.197 2, 相关系数为 0.430 0 ~ 0.444 1。

$$y_1 = 0.177 4 x_1 + 46.662 (r_1 = 0.433 8, n_1 = 80, P < 0.01); \tag{3}$$

$$y_2 = 13.90 x_2 + 47.748 (r_2 = 0.444 1, n_2 = 62, P < 0.01); \tag{4}$$

$$y_3 = 0.799 9 x_3 + 47.572 (r_3 = 0.43, n_3 = 108, P < 0.01)。 \tag{5}$$

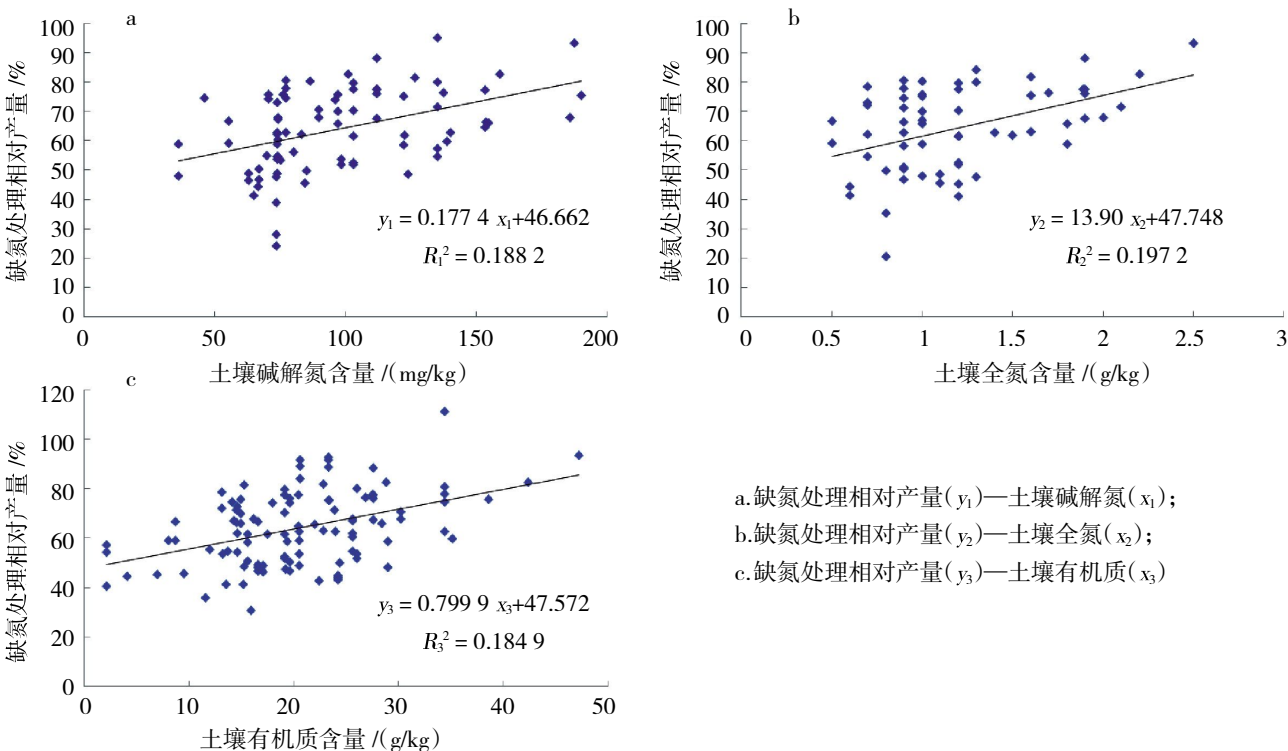


图1 我国大麦缺氮处理相对产量与土壤氮素含量相关性

2.3 我国大麦土壤氮素丰缺指标

借助式(3)至式(5)计算出缺氮处理相对产量100%、95%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%和10%对应的土壤碱解氮含量依次为300.7、272.5、244.3、187.9、131.6、75.2、18.8、-37.6、-93.9、-150.3、-206.7 mg/kg, 土壤全氮含量依次为3.76、3.40、3.04、2.32、1.60、0.88、0.16、-0.56、-1.27、-1.99、-2.71 g/kg, 土壤有机质含量依次为65.5、59.3、53.0、40.5、28.0、15.5、3.0、-9.5、-22.0、-34.5、-47.0 g/kg。舍弃明显不合理的负值, 得到我国大麦土壤碱解氮、全氮和有机质丰缺指标(表2)。其中:第1级和第2级丰缺指标皆为外推数据, 目前生产实践中极少出现;第7级亦较少出现。

2.4 我国大麦推荐施氮量

我国籽实大麦、干草大麦、青贮大麦推荐施氮量分别列于表3至表5。由表3可知, 当氮肥当季利

用率为30%~50%时, 目标产量3.00~7.50 t/hm<sup>2</sup>籽实大麦第1~7级土壤推荐施氮量分别为0、16~65、31~130、47~195、62~260、78~325、94~390 kg/hm<sup>2</sup>。由表4可知, 目标产量6.0~15.0 t/hm<sup>2</sup>干草大麦第1~7级土壤推荐施氮量依次为0、19~80、38~160、58~240、77~320、96~400、115~480 kg/hm<sup>2</sup>。由表5可知, 目标产量15~45 t/hm<sup>2</sup>青贮大麦第1~7级土壤推荐施氮量分别为0、17~84、34~168、50~252、67~336、84~420、101~504 kg/hm<sup>2</sup>。大麦推荐施氮量与土壤氮素丰缺级别线性负相关。对于丰缺级别而言, 数字越小, 级别越高。丰缺级别越高, 推荐施氮量越低, 直至为0。大麦推荐施氮量与目标产量线性正相关, 目标产量越高, 推荐施氮量越高。大麦推荐施氮量与氮肥当季利用率线性负相关, 氮肥当季利用率越低, 推荐施氮量越高。

表2 我国大麦土壤碱解氮、全氮和有机质丰缺指标

丰缺级别 / 级	7	6	5	4	3	2	1
缺氮处理相对产量 / %	< 50	50 ~ 59	60 ~ 69	70 ~ 79	80 ~ 89	90 ~ 99	> 99
碱解氮含量 / (mg/kg)	< <u>19</u>	<u>19</u> ~ 75	76 ~ 131	132 ~ 187	188 ~ <u>244</u>	<u>245</u> ~ <u>300</u>	> 300
全氮含量 / (g/kg)	< <u>0.2</u>	<u>0.2</u> ~ 0.8	0.9 ~ 1.5	1.6 ~ 2.3	2.4 ~ <u>3.0</u>	<u>3.1</u> ~ <u>3.7</u>	> <u>3.7</u>
有机质含量 / (g/kg)	< 3.0	3.0 ~ 15.4	15.5 ~ 27.9	28.0 ~ 40.4	40.5 ~ <u>52.9</u>	<u>53.0</u> ~ <u>65.4</u>	> <u>65.4</u>

注:带下划线者为外推数据。

表3 我国籽实大麦在不同目标产量以及不同氮肥当季利用率情形下不同丰缺级别土壤的推荐施氮量

目标产量 / (t/hm <sup>2</sup> )	氮肥当季利用率 / %	推荐施氮量 / (kg/hm <sup>2</sup> )						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
3.00	50	94	78	62	47	31	16	0
	45	104	87	69	52	35	17	0
	40	117	98	78	59	39	20	0
	35	134	111	89	67	45	22	0
	30	156	130	104	78	52	26	0
3.75	50	117	98	78	59	39	20	0
	45	130	108	87	65	43	22	0
	40	146	122	98	73	49	24	0
	35	167	139	111	84	56	28	0
	30	195	163	130	98	65	33	0
4.50	50	140	117	94	70	47	23	0
	45	156	130	104	78	52	26	0
	40	176	146	117	88	59	29	0
	35	201	167	134	100	67	33	0
	30	234	195	156	117	78	39	0

(续表)

目标产量 / (t/hm <sup>2</sup> )	氮肥当季利用率 / %	推荐施氮量 / (kg/hm <sup>2</sup> )						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
5.25	50	164	137	109	82	55	27	0
	45	182	152	121	91	61	30	0
	40	205	171	137	102	68	34	0
	35	234	195	156	117	78	39	0
	30	273	228	182	137	91	46	0
6.00	50	187	156	125	94	62	31	0
	45	208	173	139	104	69	35	0
	40	234	195	156	117	78	39	0
	35	267	223	178	134	89	45	0
	30	312	260	208	156	104	52	0
6.75	50	211	176	140	105	70	35	0
	45	234	195	156	117	78	39	0
	40	263	219	176	132	88	44	0
	35	301	251	201	150	100	50	0
	30	351	293	234	176	117	58	0
7.50	50	234	195	156	117	78	39	0
	45	260	217	173	130	87	43	0
	40	293	244	195	146	98	49	0
	35	334	279	223	167	111	56	0
	30	390	325	260	195	130	65	0

表4 我国干草大麦在不同目标产量以及不同氮肥当季利用率情形下不同丰缺级别土壤的推荐施氮量

目标产量 / (t/hm <sup>2</sup> )	氮肥当季利用率 / %	推荐施氮量 / (kg/hm <sup>2</sup> )						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
6.0	50	115	96	77	58	38	19	0
	45	128	107	85	64	43	21	0
	40	144	120	96	72	48	24	0
	35	165	137	110	82	55	27	0
	30	192	160	128	96	64	32	0
7.5	50	144	120	96	72	48	24	0
	45	160	133	107	80	53	27	0
	40	180	150	120	90	60	30	0
	35	206	171	137	103	69	34	0
	30	240	200	160	120	80	40	0
9.0	50	173	144	115	86	58	29	0
	45	192	160	128	96	64	32	0
	40	216	180	144	108	72	36	0
	35	247	206	165	123	82	41	0
	30	288	240	192	144	96	48	0
10.5	50	201	168	134	101	67	34	0
	45	224	187	149	112	75	37	0
	40	252	210	168	126	84	42	0
	35	288	240	192	144	96	48	0
	30	336	280	224	168	112	56	0

(续表)

目标产量 $/(t/hm^2)$	氮肥当季利用率 $/\%$	推荐施氮量 $/(kg/hm^2)$						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
12.0	50	230	192	154	115	77	38	0
	45	256	213	171	128	85	43	0
	40	288	240	192	144	96	48	0
	35	329	274	219	165	110	55	0
	30	384	320	256	192	128	64	0
13.5	50	302	259	216	173	130	43	0
	45	336	288	240	192	144	48	0
	40	378	324	270	216	162	54	0
	35	432	370	309	247	185	62	0
	30	504	432	360	288	216	72	0
15.0	50	288	240	192	144	96	48	0
	45	320	267	213	160	107	53	0
	40	360	300	240	180	120	60	0
	35	411	343	274	206	137	69	0
	30	480	400	320	240	160	80	0

表5 我国青贮大麦在不同目标产量以及不同氮肥当季利用率情形下不同丰缺级别土壤的推荐施氮量

目标产量 $/(t/hm^2)$	氮肥当季利用率 $/\%$	推荐施氮量 $/(kg/hm^2)$						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
15	50	101	84	67	50	34	17	0
	45	112	93	74	56	37	19	0
	40	126	105	84	63	42	21	0
	35	144	120	96	72	48	24	0
	30	168	140	112	84	56	28	0
20	50	134	112	90	67	45	22	0
	45	149	124	100	75	50	25	0
	40	168	140	112	84	56	28	0
	35	192	160	128	96	64	32	0
	30	224	87	149	112	75	37	0
25	50	168	140	112	84	56	28	0
	45	189	156	124	93	62	31	0
	40	210	175	140	105	70	35	0
	35	240	200	160	120	80	40	0
	30	280	233	187	140	93	47	0
30	50	202	168	134	101	67	34	0
	45	224	187	149	112	75	37	0
	40	252	210	168	126	84	42	0
	35	288	240	192	144	96	48	0
	30	336	280	224	168	112	56	0
35	50	235	196	157	118	78	39	0
	45	261	218	174	131	87	44	0
	40	294	245	196	147	98	49	0
	35	336	280	224	168	112	56	0
	30	392	327	261	196	131	65	0

(续表)

目标产量 $t/hm^2$	氮肥当季利用率 /%	推荐施氮量 $(kg/hm^2)$						
		第7级	第6级	第5级	第4级	第3级	第2级	第1级
40	50	269	224	179	134	90	45	0
	45	299	248	199	149	100	50	0
	40	336	280	224	168	112	56	0
	35	384	320	256	192	128	64	0
	30	448	373	299	224	149	75	0
45	50	302	252	202	151	101	50	0
	45	336	280	224	168	112	56	0
	40	378	315	252	189	126	63	0
	35	432	360	288	216	144	72	0
	30	504	420	336	252	168	84	0

### 3 讨论

#### 3.1 我国大麦土壤氮素丰缺指标

目前,有关大麦土壤氮素丰缺指标的研究未见报道。我国玉米<sup>[8]</sup>、小麦<sup>[9]</sup>、水稻<sup>[10]</sup>、燕麦<sup>[11]</sup>、甜菜<sup>[12]</sup>和谷子<sup>[16]</sup>缺氮处理相对产量 100%对应的土壤碱解氮指标范围为 150 ~ 600 mg/kg,本研究结果(301 mg/kg)在此范围之内。我国玉米<sup>[8]</sup>、小麦<sup>[9]</sup>、水稻<sup>[10]</sup>、燕麦<sup>[11]</sup>、甘蔗<sup>[13]</sup>、苹果<sup>[14]</sup>和谷子<sup>[16]</sup>缺氮处理相对产量 100%对应的土壤全氮指标范围为 1.8 ~ 5.0 g/kg,本研究结果(3.8 g/kg)在此范围内。我国玉米<sup>[8]</sup>、小麦<sup>[9]</sup>、水稻<sup>[10]</sup>和谷子<sup>[16]</sup>缺氮处理相对产量 100%对应的土壤有机质指标研究结果为 30 ~ 80 g/kg,本研究结果(66 g/kg)在此范围之内。综合考虑作物种类、自然区域、样本数量等因素,可以确认本大麦土壤氮素丰缺指标研究结果较为可信。

#### 3.2 我国大麦推荐施氮量

本文引用大麦施氮实验文献的施氮量为 30 ~ 563 kg/hm<sup>2</sup>(表 1)。本研究针对籽实、干草和青贮大麦的推荐施氮量依次为 0 ~ 390、0 ~ 480、0 ~ 504 kg/hm<sup>2</sup>;若排除生产实践中极少出现的丰缺级别第 1、2 级和第 7 级,相应推荐施氮量范围则依次缩小为 31 ~ 325、38 ~ 400、34 ~ 420 kg/hm<sup>2</sup>;当氮肥利用率为 40%时,相应推荐施氮量范围则依次进一步缩小为 20 ~ 244、24 ~ 300、21 ~ 360 kg/hm<sup>2</sup>;生产实践中占比最高的丰缺级别为第 5 级,在氮肥利用率 40%情形下,相应推荐施氮量精准范围依次为 78 ~ 195、96 ~ 240、84 ~ 252 kg/hm<sup>2</sup>。与诸位学者的施氮量数据进行印证,可以认定本推荐施氮量研究结果较为可靠。

### 4 结论

本研究尝试建立了我国大麦缺氮处理相对产量与土壤氮素含量回归方程,初步确定了我国大麦土壤氮素丰缺指标,给出了若干目标产量和氮肥利用率情形下不同氮素丰缺级别土壤的籽实、干草和青贮大麦推荐施氮量范围,依次为 0 ~ 390、0 ~ 480、0 ~ 504 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 参考文献:

- [1] GENG L, LI M D, ZHANG G P, et al. Barley: a potential cereal for producing healthy and functional foods[J]. Food Quality and Safety, 2022, 6: fyac012.
- [2] 龚 谨. 我国大麦进口增长的原因、冲击及贸易政策研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [3] 农业农村部畜牧兽医局, 全国畜牧总站. 中国草业统计(2021)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
- [4] 谭琳元, 李先德. 大麦进口关税政策调整对中国大麦产业的影响: 基于局部均衡模型的模拟分析[J]. 农业技术经济, 2020(7): 17-26.
- [5] BRAY R H. Soil-plant relations: I. The quantitative relation of exchangeable potassium to crop yields and to crop response to potash additions[J]. Soil Science, 1944, 58(4): 305-324.
- [6] 周鸣铮. 中国的测土施肥[J]. 土壤通报, 1987(1): 7-13.
- [7] 黄德明. 我国农田土壤养分肥力状况及丰缺指标[J]. 华北农学报, 1988, 3(2): 46-53.
- [8] 孙洪仁, 曾 红, 赵雅晴, 等. 中国玉米土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量[J]. 北方农业学报, 2017, 45(3): 40-49.
- [9] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国小麦土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 北方农业学报, 2018, 46(2): 41-46.
- [10] 孙洪仁, 张吉萍, 江丽华, 等. 中国水稻土壤氮素丰缺指标

- 与适宜施氮量[J]. 中国农学通报,2019,35(11):82-87.
- [11] 孙洪仁,曾红,刘江扬,等. 中国农牧交错带燕麦土壤氮素丰缺指标与适宜施氮量初步研究[J]. 北方农业学报,2017,45(5):22-27.
- [12] 孙洪仁,张吉萍,吕玉才,等. 中国北方甜菜土壤碱解氮丰缺指标与适宜施氮量研究[J]. 中国糖料,2019,41(2):14-17.
- [13] 钟培阁,孙洪仁,张吉萍,等. 中国南方甘蔗土壤全氮丰缺指标与适宜施氮量初步研究[J]. 中国糖料,2020,42(3):43-48.
- [14] 王彦,朱凯迪,孙洪仁,等. 中国苹果土壤养分丰缺指标与适宜施肥量初步研究[J]. 中国农学通报,2022,38(5):69-78.
- [15] 孙洪仁,王显国,卜耀军,等. 黄土高原紫花苜蓿土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量初步研究[J]. 草业学报,2022,31(4):32-42.
- [16] 朱凯迪,孙洪仁,张吉萍,等. 我国籽实和饲草谷子土壤氮素丰缺指标和推荐施氮量[J]. 草地学报,2022,30(8):2207-2216.
- [17] 吕志伟,孙洪仁,张吉萍,等. 中国棉花土壤有效磷丰缺指标与适宜施磷量研究[J]. 中国土壤与肥料,2022(2):197-206.
- [18] 孙洪仁,曹影,刘琳,等. 测土施肥土壤有效养分丰缺分级改良方案[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(19):1-5.
- [19] 孙洪仁,曹影,刘琳,等. “养分平衡-地力差减法”确定适宜施肥量的新应用公式[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(4):1-4.
- [20] 孙洪仁,曹影,刘琳,等. 测土施肥不同丰缺级别土壤的适宜施肥量[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(23):7-11.
- [21] 籍玉尘,杨建堂,徐本生. 啤酒大麦干物质积累和养分吸收分配规律的研究[J]. 河南农业大学学报,1987,21(2):232-236.
- [22] 谢志新. 大麦氮磷钾吸收动态初报[J]. 大麦科学,1989(2):29-36.
- [23] 彭正文,石纪成,黄小明,等. 氮肥施用量与分配对裸大麦产量和品质的影响及其机理研究[J]. 大麦科学,2000(2):28-32.
- [24] 高祥照,马常宝,杜森. 测土配方施肥技术[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [25] 陈初红,周鹤,任勃勃. 测土配方施肥“3414”试验肥料利用率的测算[J]. 西藏科技,2012(8):7-10,13.
- [26] 苏志富,罗来君. 啤酒大麦肥料运筹及精确施肥技术探讨[J]. 大麦与谷类科学,2014(1):31-32.
- [27] 唐旭,陈义,吴春艳,等. 大麦长期肥料效率和土壤养分平衡[J]. 作物学报,2013,39(4):665-672.
- [28] 徐友伟. 西藏林周县青稞平衡施肥研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
- [29] 庞广荣,周正大. 青稞氮磷化肥不同用量和追肥期的研究[J]. 西藏农业科技,1986(增1):24-28.
- [30] 陈秀瑾,金焱鑫,姚位民,等. 氮、磷、钾化肥不同配比与啤酒大麦产量和品质的关系[J]. 江苏农业科学,1989,17(2):15-18,40.
- [31] 邵生荣,党学斌,杨再林. 氮磷不同用量对大麦产量及品质的影响[J]. 宁夏农学院学报,1989,10(1):61-65.
- [32] 林珠班单,周春来,达娃拉姆. 春青稞氮素最佳施用量探讨[J]. 西藏农业科技,1990,12(增1):46-50.
- [33] 攸全. 宁夏黄河灌区施用氮磷化肥对啤酒大麦产量品质的影响[J]. 大麦科学,1990(4):30-34.
- [34] 钱晓刚. 大麦产量品质与肥料用量关系的初步研究[J]. 西南农业学报,1990(1):79-84.
- [35] 朱喜盈,冯海平,索朗欧珠,等. 春青稞的氮磷化肥配合比例研究[J]. 干旱地区农业研究,1991,9(1):17-23.
- [36] 孙兴祥,王景宏,刘有兄,等. 苏引麦2号氮磷钾化肥用量及运筹的研究[J]. 江苏农业科学,1995(5):40-42.
- [37] 周祥,辛海宁,孙兴祥. 滨海盐土地地区饲料大麦氮、磷、钾适宜用量及其互作研究[J]. 大麦科学,1997(1):27-29.
- [38] 邱绍军,罗旭东,王有魁. 北青四号青稞高产农艺措施产量数学模型研究[J]. 大麦科学,1997(3):16-21.
- [39] 李云祥,陈殿民. 甘南高寒地区青稞氮磷肥配施效应及效益研究[J]. 土壤通报,1998,29(1):21-22,28.
- [40] 孙云秀,王荣栋,柳霞. 不同氮磷配比对新疆春大麦产量和品质的影响[J]. 新疆农垦科技,2000,23(4):28-29.
- [41] 顾宏富,戴同广,吴忠良,等. 在芦苇土上不同氮肥用量对大麦产量的影响[J]. 大麦与谷类科学,2007(3):40-41.
- [42] 高原,李晓辉,郑艳铃,等. 不同施氮水平和密度对大麦垦啤2号的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(14):5821-5822.
- [43] 罗来君,孙中侠,严亚东,等. 啤酒大麦优化配方施肥试验研究[J]. 现代农业科技,2008(23):202-203.
- [44] 罗来君,宋光锋,孙中侠,等. 啤酒大麦优化施肥参数的探讨[J]. 大麦与谷类科学,2009(2):36-39.
- [45] 蔡剑. 氮钾肥对啤酒大麦籽粒产量和蛋白质形成的影响及其生理机制[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [46] 金立军,邵彦宾. 大麦“3414”肥料田间效应探讨[J]. 现代农业科学,2009,16(4):74-75.
- [47] 乔海龙,陈健,沈会权,等. 施氮量和种植密度对苏啤3号大麦鲜叶产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):680-684.
- [48] 蔡成勇,朱首军,周军. 湟源县青稞立地土壤肥力特性与配方肥研制方案[J]. 陕西林业科技,2009(2):53-57.
- [49] 周彦芳,刘强,张秀华. 啤酒大麦氮营养诊断及追肥推荐研究[J]. 现代农业科技,2009(6):141-143.
- [50] 陈香正. 门源青稞“3414”肥料试验[J]. 青海农林科技,2010(1):1-3.
- [51] 范宏伟,巴兰清,宋雄儒. 民乐县啤酒大麦配方施肥试验初报[J]. 甘肃农业科技,2010(12):22-24.
- [52] 慕自发. 玉门垦区啤酒大麦氮磷钾配施试验结果初报[J]. 甘肃农业,2010(1):77,80.

- [53] 倪艳云. 氮磷钾配比对啤酒大麦扬农啤6号产量与品质的影响[D]. 扬州:扬州大学,2010.
- [54] 周杰,侯雪坤. 氮钾配施对大麦产量和品质的影响研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2010,22(3):19-21.
- [55] 周杰. 氮钾对大麦养分吸收分配及产量和品质的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2010.
- [56] 刘双全,李玉影,姬景红,等. 黑土养分释放特性及大麦吸收养分动态变化规律研究[J]. 杂粮作物,2010,30(3):209-210.
- [57] 仰海洲,王升,叶仁宏,等. 啤酒大麦优化施肥参数的探讨[J]. 大麦与谷类科学,2010(4):33-37.
- [58] 胡单,杨永红. 不同施氮对冬青稞幼苗光合色素·生物量及产量的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(24):14561-14563,14585.
- [59] 肖靖秀,汤利,郑毅,等. 大麦/蚕豆间作条件下供氮水平对作物产量和大麦氮吸收累积的影响[J]. 麦类作物学报,2011,31(3):499-503.
- [60] 李月梅,高玉亭,杨文辉,等. 施肥对青海门源地区青稞产量及经济效益的影响[J]. 江苏农业科学,2011,39(1):116-117.
- [61] 刘双全,李玉影,姬景红,等. 不同施氮水平和方式对大麦养分吸收特性及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2012(12):30-33.
- [62] 徐寿军,刘志萍,张凤英,等. 氮肥水平对冬大麦产量、品质和氮肥利用效率的影响及其相关分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2012,33(1):66-71.
- [63] 卓玛. 西藏山南贡嘎县中低产田藏青320“3415”肥效试验初报[J]. 西藏科技,2012(2):3-5.
- [64] 刘国一,尼玛扎西,尼玛扎西,等. 不同施氮量对青稞产量的影响[J]. 西藏农业科技,2013,35(3):17-20.
- [65] 胡俊,陈初红,尼玛卓拉,等. 2010年拉萨市春青稞“3414”肥料效应试验报告[J]. 西藏农业科技,2013,35(2):20-22.
- [66] 李雪,赵润彪,张玉. 林周县春青稞“3414”肥料效应田间试验研究[J]. 西藏科技,2014(1):3-6.
- [67] 刘得国,张增艺,冯承彬,等. 玉树地区青稞“3414”肥效试验[J]. 中国农技推广,2014,30(3):36-38.
- [68] 刘永,迟金和,梁春玲,等. 配方施肥对滨海盐土啤酒大麦产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(4):53-56.
- [69] 王新其,李国梁,石建福,等. 氮肥运筹对大麦‘花22’产量及主要农艺性状的调控效应[J]. 上海农业学报,2014,30(5):44-50.
- [70] 马瑞萍,韦泽秀,卓玛,等. 氮磷配施对青稞生长发育及产量的影响[J]. 西南农业学报,2015,28(6):2577-2585.
- [71] 赵向田,司二静,汪军成,等. 播量和施肥对甘啤6号产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(11):1603-1608.
- [72] 李雪. 2012年曲水县春青稞“3414”肥料试验分析[J]. 西藏科技,2015(11):5-7.
- [73] 王颖,廖允成. 氮磷钾配施对尼木县春青稞产量的影响[J]. 陕西农业科学,2016,62(9):46-48.
- [74] 张金汕,董庆国,方伏荣,等. 种植密度和施氮量对啤酒大麦生长、产量及品质的影响[J]. 中国农业大学学报,2016,21(9):23-32.
- [75] 孙炳玲. 氮磷及密度对高寒干旱区啤酒大麦产量的影响研究[J]. 甘肃农业科技,2017(9):52-55.
- [76] 王树杰,冯辉,郝战宁,等. 氮肥水平对不同棱型大麦品种籽粒灌浆及产量的影响[J]. 作物杂志,2017(4):129-133.
- [77] 王仙,聂石辉,张金汕,等. 氮磷钾肥配施对旱田大麦农艺性状和产量的影响[J]. 新疆农业科学,2017,54(11):2028-2035.
- [78] 诸海焘,李国梁,施圣高,等. 沿海滩涂土壤大麦氮、磷、钾最佳施用量研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(20):80-82.
- [79] 鲁泽刚,周龙,杨丽梅. 不同施肥水平对大麦产量的影响及肥料效应[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(5):744-749.
- [80] 乔海龙,陈和,陈健,等. 施氮量和密度对大麦苏啤7号茎叶氮含量、产量及籽粒蛋白质的影响[J]. 浙江农业科学,2018,59(4):557-560.
- [81] 张建青,李猛,王琴. 不同施肥量对青稞产量的影响试验研究[J]. 陕西农业科学,2018,64(11):19-21.
- [82] 卓玛,曲航,马瑞萍,等. NP营养对藏青2000产量及籽粒营养品质的影响[J]. 西藏农业科技,2018,40(增1):20-25.
- [83] 卓玛,曲航,马瑞萍,等. N、P、K、Si营养对青稞产量及籽粒营养品质的影响[J]. 西藏农业科技,2018,40(增1):65-71.
- [84] 土旦次仁. 西藏隆子黑青稞“3414”肥料效应试验[J]. 西藏农业科技,2018,40(2):28-31.
- [85] 张翼,卡沙木他,扎西多吉. 德格县一熟区青稞“3414”肥效试验分析[J]. 四川农业科技,2019(8):45-46.
- [86] 付丹丹,谢永春,普布贵吉. 西藏黑青稞氮磷钾配施效果研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(7):101-105.
- [87] 马跃峰. 不同施氮量对黑青稞生理特性、养分吸收及产量的影响[D]. 拉萨:西藏大学,2021.
- [88] 王中军,林晶晶,王凯. 滨海地区中低肥力沙质土氮磷配施对啤酒大麦产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(20):120-123.
- [89] 李鸿芳. 不同肥料对青稞生长的影响[J]. 农家参谋,2022(17):67-69.
- [90] 周素婷,和玉珍,此里央宗,等. 不同肥料运筹对春青稞产量及农艺性状的影响[J]. 大麦与谷类科学,2022,39(6):44-49.

## Abundance–deficiency Index of Soil N and Recommended Nitrogen Fertilizer Application Rates for Grain and Forage Barley in China

YANG Xiaoke<sup>1</sup>, SUN Hongren<sup>1</sup>, WANG Xianguo<sup>1</sup>, ZHANG Yunlong<sup>1</sup>, DU Xueyan<sup>2</sup>, LI Linxia<sup>2</sup>, FENG Zejuan<sup>3</sup>, TAO Runzhi<sup>3</sup>

(1. College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Qinghai Forage Technology Extension Station, Xining 810016, China; 3. Inner Mongolia Zeyun Forage Co., Ltd., Hohhot 150102, China)

**Abstract:** To provide scientific basis for soil testing and N fertilizer recommendation of barley, an algorithm for scattered experimental data integration and the new applied formula based on the methods of nutrient balance and projected yield minus soil fertility yield were used to study the abundance-deficiency index (ADI) of soil N and the recommended nitrogen fertilizer application rate (RNFAR) for barley in China. The results show that the ADI of soil alkaline hydrolysis nitrogen for barley in China from the first to the seventh level are > 300, 245~300, 188~244, 132~187, 76~131, 19~75 and < 19 mg/kg, respectively. The ADI of soil total nitrogen from the first to the seventh level are > 3.7, 3.1~3.7, 2.4~3.0, 1.6~2.3, 0.9~1.5, 0.2~0.8 and < 0.2 g/kg, respectively. The ADI of soil organic matter from the first to seventh level are > 65.4, 53.0~65.4, 40.5~52.9, 28.0~40.4, 15.5~27.9, 3.0~15.4 and < 3.0 g/kg, respectively. When the nitrogen fertilizer use efficiency in current season (NFUEICS) is 30%~50% and the target yield of barley is 3~7.5 t/hm<sup>2</sup>, the ranges of the RNFAR for the 1~7 abundance-deficiency level from high to low are 0, 16~65, 31~130, 47~195, 62~260, 78~325 and 94~390 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. When the NFUEICS is 30%~50% and the target yield of barley is 6~15 t/hm<sup>2</sup>, the ranges of the RNFAR for the 1~7 abundance-deficiency level from high to low are 0, 19~80, 38~160, 58~240, 77~320, 96~400 and 115~480 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. When the NFUEICS is 30%~50% and the target yield of barley is 15~45 t/hm<sup>2</sup>, the ranges of the RNFAR for the 1~7 abundance-deficiency level from high to low are 0, 17~84, 34~168, 50~252, 67~336, 84~420 and 101~504 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. In this study, the recommended fertilization system of soil N for grain and forage barley in China was initially established, and it can lay a scientific foundation for soil testing and nitrogen fertilizer recommendation of barley in China.

**Key Words:** Barley; Soil testing and fertilizer recommendation; Soil nutrient; Abundance-deficiency index; Fertilizer application rate

(上接第 23 页)

## Evaluation and Correlation Analysis of Multiple Traits of Wheat Germplasm Resources in Huaibei Area of Jiangsu Province

PAN Liyuan, WANG Yongjun, LI Haijun, LI Lili, HOU Fu, LI Jing, SUN Suyang

(Jiangsu Xuhuai Area Huaiyin Institute of Agricultural Sciences / Huai'an Key Laboratory of Agricultural Biotechnology / Key Laboratory of Germplasm Innovation in Downstream of Huaihe River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Huai'an 223001, China)

**Abstract:** In order to analyze the genetic diversity of wheat germplasm resources and the difference of cultivated varieties from different ages, and to provide basis for the breeding and genetic basic research of wheat varieties, 1 098 wheat germplasm resources including germplasm materials and cultivated varieties were used. The variation analysis, correlation analysis, cluster analysis and single factor analysis were performed for 17 traits including growth stage traits (heading stage and flowering stage), plant type traits (plant height, ear length and subear length), grain traits (water content, hardness index, bulk density, flour yield and water absorption) and quality traits (crude protein content, wet gluten content, extensibility, stretch area, formation time, stability time and settling value). Phenotypic variation analysis showed that the coefficient of variation of subpanicle length was the largest (51.22%) in the agronomic traits, the coefficient of variation of stability time of quality traits was the largest (84.82%), and the coefficient of variation at heading, flowering and unit weight was small (2.63%, 1.98% and 1.69%). The correlation analysis results showed that the correlation coefficient between crude protein and wet gluten was the highest (0.98), and the correlation between plant type traits and grain quality traits was low, reaching a significant level. The results of cluster analysis showed that the population could be divided into four groups, among which 60.11% of the materials in Class I were derived from the varieties bred between 2015 and 2019. The cultivated varieties from 2001 to 2010 were evenly distributed in different groups. The difference analysis of germplasm materials and cultivated varieties in different ages showed that plant height, water absorption and settlement value were selected more, but the genetic improvement level of other traits was higher. These results indicate that this population is rich in genetic variation and can be used as a gene bank for genetic research and screening of excellent materials.

**Key Words:** Wheat; Germplasm resources; Multiple traits; Correlation